

www.treccani.it

Prontuario di Neuroscienze, Psicologia, Psichiatria, Psicosomatica,
Neurofarmacologia

Indice

[Mente](#) (1979)

[Mente](#) (1989)

[Il rapporto tra Mente e Cervello](#) (2010)

[Coscienza](#) (1975)

[Neuroscienze. Coscienza](#) (2007)

[Coscienza e autocoscienza](#) (2010)

[Inconscio](#) (1978)

[Psicanalisi](#) (1980)

[Psicoanalisi oggi](#) (2010)

[Psicologia](#) (1980)

[Psicologia](#) (2009)

[Psicologia analitica](#) (1980)

[Psicologia archetipica](#) (1980)

[Psicologia della forma](#) (1980)

[Psicologia genetica](#) (1980)

[Psicologia del comportamento](#) (1980)

[Comportamento](#) (1999)

[Comportamenti collettivi](#) (2010)

[Geni e Ambiente nello sviluppo del comportamento](#) (2010)

[Ansia, Depressione, Stress](#) (2009)

[Ansia e Depressione](#) (2010)

[Paura, Paure](#) (2009)

[Psicosomatica](#) (1980)

[Psicosomatica](#) (2000)

[Un nuovo approccio alla relazione psicosomatica](#) (2010)

[Ormoni e meccanismi dell'azione ormonale](#) (2007)

[Neuroni e sinapsi](#) (2007)

[I semafori della comunicazione nervosa: le sinapsi](#) (2010)

[Emisferi cerebrali](#) (1977)

[Neocorteccia](#) (2007)

[Neuroscienze](#) (1998)

[Neuroscienze](#) (2000)

[Neuroscienze](#) (2004)

[Scienza cognitiva](#) (2000)

[Comunicazione e Cognizione](#) (2009)

[La Coscienza e i suoi fondamenti biologici](#) (2007)

[Neuroscienze. Basi biologiche dei processi mentali](#) (2007)

[Neuroscienze. Basi biologiche dell'intelligenza](#) (2007)

[Neuroscienze. Basi biologiche delle emozioni](#) (2007)

[Neurobiologia dello sviluppo emotivo](#) (2010)

[Neurologia delle Emozioni](#) (2010)

[Meccanismi molecolari della Memoria](#) (2010)

[Specchio, neuroni](#) (2007)

[Neuroni specchio](#) (2010)

[Neuropsicologia Del Linguaggio](#) (2010)

[Neuroscienze. Basi fisiologiche dei processi decisionali](#) (2007)

[Libertà umana, causalità, Neuroetica](#) (2009)

[Neuroscienze E Fenomenologia](#) (2009)

[Neuroimaging](#) (2010)

[Neuroscienza Computazionale](#) (2010)

[Neurotrasmissione e neurotrasmettitori](#) (2007)

[Droghe endogene](#) (2010)

[La dipendenza dalle droghe](#) (2010)

[Psicofarmacologia](#) (1980)

[Psicofarmacologia](#) (1998)

[Neurofarmacologia](#) (2007)

[Effetto Placebo e Nocebo](#) (2010)

[Cibernetica](#) (1961)

[Cibernetica](#) (1975)

[Cibernetica](#) (1978)

Enciclopedia del Novecento (1979)

Mente

di John C. Eccles

SOMMARIO: 1. Introduzione. □ 2. Confronto fra le diverse teorie concernenti il rapporto cervello-mente. □ 3. Struttura della neocorteccia. □ 4. La struttura modulare della neocorteccia. □ 5. Il funzionamento modulare della neocorteccia. □ 6. Il collegamento fra il cervello e la mente. □ 7. Unità della coscienza e commessurotomia. □ 8. La persona. □ 9. Conclusioni.

1. Introduzione.

Il problema del rapporto mente-corpo, o, più propriamente, del rapporto mente-cervello, è il problema più grande e più intricato che ci si presenta quando cerchiamo di capire noi stessi in relazione al mondo della natura. La sua formulazione originale come problema del rapporto corpo-mente risale alla preistoria. Un'autorevole presentazione della storia del problema da quei tempi lontani fino a oggi è stata fatta da Popper nel cap. P5 di un recente libro (v. Popper e Eccles, 1977). Nei capp. P1 e P3 di questo libro sono riunite le critiche delle varie teorie materialistiche della mente. Nei capp. P4 ed E7 viene formulata un'ipotesi dualistico-interazionistica che deriva da Cartesio, ma che è sviluppata tenendo conto dei progressi della filosofia e della scienza dal XVII secolo a oggi. In particolare le recenti scoperte nell'ambito delle neuroscienze hanno trasformato la componente 'cervello' del rapporto mente-cervello, che aveva già sostituito il rapporto mente-corpo. Sappiamo adesso che le relazioni fra corpo e mente, quali che possano essere, si stabiliscono solamente attraverso la mediazione del cervello.

2. Confronto fra le diverse teorie concernenti il rapporto cervello-mente.

Per il nostro scopo presente è importante chiarire i termini del problema, in primo luogo esponendo brevemente la concezione dei tre mondi di Popper e in secondo luogo presentando un diagramma esplicativo (v. fig. 1) delle principali teorie, cosicché le teorie materialistiche della mente possano essere messe a confronto con la teoria dualistico-interazionistica proposta in questa sede.

1. Il 1° mondo è l'intero mondo materiale degli universi inorganico e organico, che include tutte le entità biologiche, anche i cervelli umani, e tutti i manufatti.
2. Il 2° mondo è il mondo che include non solo le nostre immediate esperienze percettive, visive, uditive, tattili, di dolore, di fame, di rabbia, di gioia, di paura, ecc., ma anche i nostri ricordi, fantasie, pensieri, progetti, e al centro di tutto ciò il nostro io, unico, soggetto delle nostre esperienze.
3. Il 3° mondo è il mondo della creatività umana, che comprende, per esempio, i contenuti oggettivi dei pensieri che stanno alla base delle produzioni scientifiche, artistiche e letterarie. Il terzo mondo è pertanto il mondo della cultura in tutte le sue manifestazioni, come è stato spiegato da Popper (v. Popper e Eccles, 1977, cap. P2).

Le teorie dominanti sul rapporto mente-cervello accettate oggi dai neuroscienziati sono puramente materialistiche, nel senso che attribuiscono completo dominio al cervello (v. Pribram, 1971; v. Rensch, 1971 e 1974; v. Barlow, 1972; v. Doty, 1975; v. Blakemore, 1977; v. Mountcastle, 1978; v. Edelman, 1978). Non si nega che la mente o coscienza esista, ma le si attribuisce un ruolo passivo identificandola con quelle esperienze mentali che accompagnano alcuni tipi di attività cerebrale - come per esempio la percezione della propria identità psiconervosa - e la si considera priva di ogni effettiva influenza sul cervello. Il complesso meccanismo nervoso del cervello funziona in modo determinato materialisticamente, indipendentemente da ogni forma di coscienza. Le esperienze del senso comune secondo le quali possiamo controllare, entro certi limiti, le nostre azioni o esprimere i nostri pensieri attraverso il linguaggio sono, si sostiene, illusorie. In realtà è raro che questa concezione sia espressa così apertamente e tuttavia corrisponde esattamente alla descrizione che ne abbiamo fatto, a dispetto di ogni tentativo, anche sofisticato, di dissimularla.

Nella fig. 1 il 1° mondo è diviso in un mondo 1f e in un mondo 1m infinitamente piccolo. In generale le teorie materialistiche sono quelle che asseriscono che gli eventi mentali non possono avere alcun reale effetto sugli eventi cerebrali nel 1° mondo - che il 1° mondo è chiuso a ogni possibile influenza esterna, come è postulato, invece, dalla teoria dualistico-interazionistica. Questa chiusura del 1° mondo è assicurata in quattro modi differenti nelle quattro varietà di materialismo illustrato nella fig. 1.

1. Il materialismo radicale asserisce che tutto è mondo 1f. Si nega o si ripudia l'esistenza degli eventi mentali, in quanto semplici illusioni: il problema del rapporto mente- cervello è un non problema.
2. Il pampsichismo asserisce che tutta la materia ha uno stato interno mentale o protopsichico; poiché questo stato è parte integrante della materia, non può avere alcun effetto su di essa. La chiusura del 1° mondo è salvaguardata.
3. Secondo l'epifenomenalismo gli stati mentali esistono in relazione ad alcuni eventi materiali, ma non hanno alcuna importanza causale. Anche in questo caso la chiusura del 1° mondo è salvaguardata.
4. La teoria dell'identità o teoria dello stato centrale o teoria psiconervosa afferma che gli stati mentali esistono come aspetto interiore di alcune strutture materiali che nelle formulazioni attuali sono limitate a strutture cerebrali come le cellule nervose. Questa postulata 'identità' può sembrare un modo di attribuire potere causativo agli eventi mentali, dato che le cellule nervose 'identiche' agli stati mentali hanno questo potere. Tuttavia il risultato di questa operazione è che gli eventi puramente materiali dell'attività nervosa bastano di per sé a fornire tutte le risposte date dalla 'coppia' mente-cervello: si preserva così la chiusura del 1° mondo.

A queste teorie materialistiche o parallelistiche si oppongono quelle 'dualistico-interazionistiche', rappresentate diagrammaticamente nella parte inferiore della fig. 1. L'assunto fondamentale di queste teorie è che la mente e il cervello sono entità indipendenti, in quanto il cervello appartiene al 1° mondo e la mente al 2° mondo, e che essi in qualche maniera interagiscono, come indicano le frecce nella fig. 2. Vi è quindi una frontiera, come è illustrato nella fig. 2, e attraverso questa frontiera si verificano interazioni in entrambe le direzioni, concepibili come un flusso di informazione, non di energia. Ci troviamo quindi di fronte alla straordinaria concezione secondo cui il mondo della materia-energia (1° mondo) non è completamente sigillato, come vuole un principio fondamentale della fisica, ma vi sono delle piccole 'crepe', in mancanza delle quali il 1° mondo sarebbe perfettamente chiuso.

Viceversa, la chiusura del 1° mondo è stata preservata con grande ingegnosit  in tutte le teorie materialistiche della mente. Io dimostrer  ora che questa non   la loro forza, ma la loro fatale debolezza (v. Popper e Eccles, 1977).

I materialisti danno grande rilievo all'apparente accordo fra le loro teorie sul rapporto cervello-mente e le leggi della natura che oggi conosciamo; che questo accordo sia illusorio   tuttavia dimostrato da due considerazioni di grande importanza.

In primo luogo nelle leggi della fisica o in quelle delle scienze che derivano dalla fisica - la chimica e la biologia - non v'  alcun riferimento alla coscienza o alla mente. Shapere (v., 1974) sostiene questo concetto

nelle sue dure critiche all'ipotesi pampsichistica di Rensch (v., 1974) e Birch (v., 1974), in cui si proponeva che la coscienza o protocoscienza fosse una proprietà fondamentale della materia. Indipendentemente dalla complessità dei meccanismi elettrici, chimici e biologici, le 'leggi naturali' non accennano in alcun modo all'emergere di questa strana entità non materiale, la coscienza o mente. Con ciò non si intende affermare che la coscienza non compaia nel corso del processo evolutivo, ma semplicemente che la sua comparsa non è conciliabile con le leggi naturali nella loro formulazione attuale. Per esempio, queste leggi non permettono di affermare che la coscienza compaia a uno specifico livello di complessità dei sistemi, come sostengono gratuitamente tutti i materialisti eccetto i pampsichisti. La loro convinzione che una coscienza primordiale sia presente in tutta la materia, presumibilmente anche negli atomi e nelle particelle subatomiche, non trova alcun fondamento nella fisica. Si possono anche citare le domande ossessive degli appassionati dei calcolatori. A quale stadio di complessità e di prestazione si può accettare di attribuire una coscienza a un calcolatore? Fortunatamente questa domanda carica di emotività non necessita di una risposta. Si può fare ciò che si vuole ai calcolatori senza timore di mostrarsi crudeli!

In secondo luogo, tutte le teorie materialistiche della mente sono in conflitto con l'evoluzione biologica. Dato che ciascuna di esse (pampsichismo, epifenomenalismo e teoria dell'identità) sostiene l'incapacità della coscienza di produrre effetti sul cervello e sul sistema nervoso, esse non sono assolutamente in grado di spiegare l'evoluzione biologica della coscienza, che è un fatto innegabile. È cioè innegabile il fatto che essa prima emerga e poi si sviluppi progressivamente con l'aumentare della complessità del cervello. Infatti, secondo la teoria dell'evoluzione, la selezione naturale permette che si sviluppino solo quelle strutture e quei processi che arrecano sostanziali vantaggi ai fini della sopravvivenza. Se la coscienza non produce effetti, il suo sviluppo non può essere spiegato dalla teoria dell'evoluzione. In base alla teoria dell'evoluzione biologica, la comparsa e lo sviluppo degli stati mentali e della coscienza potrebbero aver avuto luogo solo se essi determinassero effettive modificazioni negli eventi nervosi che si verificano nel cervello e di conseguenza modificazioni del comportamento. Ciò può avvenire solo se i meccanismi nervosi del cervello sono aperti alle influenze degli eventi mentali del mondo delle esperienze coscienti, in accordo col postulato fondamentale della teoria dualistico-interazionistica.

Infine la critica più efficace mossa alle teorie materialistiche della mente è diretta contro il loro postulato centrale secondo cui gli eventi della macchina nervosa del cervello forniscono una spiegazione necessaria e sufficiente della totalità dell'essere umano, sia dal punto di vista comportamentale sia da quello dell'esperienza cosciente. Per esempio la volontà di compiere un movimento deliberato è considerata come 'completamente determinata' da eventi che si verificano nella macchina nervosa del cervello, al pari di tutte le altre esperienze. Ma, come Popper afferma nella sua Compton Lecture del 1972: "Secondo il determinismo, ogni teoria,

incluso lo stesso determinismo, esiste a causa di una certa struttura fisica di chi la sostiene - probabilmente del suo cervello. Di conseguenza, noi ci inganniamo, e siamo fisicamente condizionati a ingannarci, ogni volta che crediamo che vi siano argomentazioni o ragioni che ci spingono ad accettare il determinismo. In altre parole, il determinismo fisico è una teoria, che, se è vera, è insostenibile, poiché deve spiegare tutte le nostre reazioni, incluse quelle che ci sembrano convinzioni basate su argomentazioni, in base a condizioni puramente fisiche. Condizioni puramente fisiche, incluso il nostro ambiente fisico, ci fanno dire o accettare tutto ciò che diciamo o accettiamo".

Questa è una efficace *reductio ad absurdum*. Tale critica si applica a tutte le teorie materialistiche. Siamo pertanto forzati ad accettare spiegazioni dualistico-interazionistiche del problema del rapporto cervello-mente, nonostante il loro straordinario assunto che vi sia un'effettiva comunicazione in entrambe le direzioni attraverso la frontiera mostrata nella fig. 2.

La teoria dualistico-interazionistica è necessariamente in conflitto con le leggi naturali attuali, e pertanto è nella stessa posizione 'illegale' delle teorie materialistiche della mente. Le differenze consistono nel fatto che questo conflitto è sempre stato ammesso e che si ritiene che il meccanismo nervoso del cervello funzioni in stretto accordo con le leggi naturali, se si eccettua la sua influenzabilità da parte del 2° mondo.

3. Struttura della neocorteccia.

È opportuno dare una descrizione molto semplice della struttura neuronica neocorticale e della maniera in cui i neuroni comunicano fra di loro formando la base della prestazione integrata del cervello al suo livello più alto.

Come è illustrato nel diagramma della fig. 2, l'assunto essenziale dell'ipotesi dualistico-interazionistica è il ruolo attivo attribuito alla mente autocosciente nella sua relazione con i meccanismi neuronici di regioni speciali del cervello. Gli emisferi cerebrali sono le parti del cervello che si sono evolute più recentemente: essi sono distinti dalla grande corteccia convoluta che ha uno spessore di circa 2,5 mm e un'area di circa 2.500 cm² (v. fig. 3). Una grande varietà di indagini sperimentali e di osservazioni cliniche ha consentito di stabilire che la neocorteccia è la parte del cervello specificamente coinvolta nelle esperienze coscienti; pertanto dobbiamo concentrarci sulla sua struttura e sul suo funzionamento quando cerchiamo di scoprire quelle proprietà che conferiscono al cervello il ruolo trascendente di fungere da legame con gli eventi mentali delle esperienze

coscienti. Nella fig. 2 regioni speciali della neocorteccia cerebrale sono rappresentate come cervello di collegamento, che presenta un'interfaccia rivolta verso l'insieme dei componenti del 2° mondo.

La corteccia cerebrale è composta di circa dieci miliardi di cellule nervose o neuroni, che sono le unità biologiche di base. Ciascuna di esse ha una zona centrale o corpo (soma) di diametro variabile da 1/100 a 1/50 di mm, branche ramificate (i dendriti) e un filamento sottile più lungo, l'assone, che trasporta messaggi o impulsi dal neurone agli altri neuroni: i più grandi e più numerosi neuroni della neo-corteccia hanno una forma piramidale e sono pertanto denominati cellule piramidali. Questi neuroni sono ammassati così strettamente che un neurone può essere osservato individualmente nelle sezioni istologiche solo quando è messo in evidenza col metodo di colorazione straordinariamente efficace scoperto da Golgi. Per esempio nella fig. 4A solo l'1% circa dei neuroni fu colorato, e si possono individuare parecchi neuroni con i loro dendriti ramificati e il loro sottile assone (fibra nervosa) che si proietta lontano dal centro del soma o corpo. La fig. 4B mostra una cellula piramidale con corte spine (s) sui dendriti, ma non sul soma (p) o sull'assone (ax). I dendriti sono troncati e si presentano in due varietà, quelli che nascono dal dendrite apicale (b) della cellula piramidale, e quelli che nascono direttamente dal soma (p).

Alla fine del sec. XIX, Ramón y Cajal, il grande neuro-anatomico spagnolo, avanza per primo l'ipotesi che il sistema nervoso sia costituito di neuroni, che sono cellule isolate, non connesse reciprocamente in qualche specie di sincizio, ma dotate ciascuna di una propria attività biologica indipendente: questa è la cosiddetta teoria del neurone. Un neurone riceve informazioni (da altri neuroni) per mezzo delle fini diramazioni degli assoni di altri neuroni che prendono contatto con la sua superficie e terminano in piccoli bottoni sparsi ovunque sul soma e sui dendriti, come indica la fig. 4C. Alla fine del XIX secolo Sherrington suggerisce che queste aree di contatto, cui dà il nome di sinapsi, siano siti specializzati di comunicazione. Alla sinapsi si stabilisce lo stretto contatto illustrato nella fig. 4, C e D, con una separazione costituita dalla fessura sinaptica larga circa 200 Å ($1\text{Å}=10^{-10}\text{ m}$).

La trasmissione nel sistema nervoso avviene tramite due meccanismi ben distinti: mediante brevi onde elettriche chiamate impulsi che viaggiano seguendo il principio tutto-o-nulla lungo le fibre nervose (assoni), spesso ad alta velocità, e attraverso le sinapsi. Gli impulsi sono generati da un neurone e scaricati lungo il suo assone quando esso è stato eccitato sufficientemente tramite le sinapsi. L'impulso viaggia lungo l'assone o fibra nervosa in tutte le sue diramazioni, raggiungendo alla fine i bottoni sinaptici che formano i contatti assonici con i somi e i dendriti degli altri neuroni. La fig. 4C mostra le due varietà di sinapsi, quella eccitatoria, a sinistra, e quella inibitoria, a destra. La prima induce il neurone ricevente a inviare un impulso lungo il suo assone, la seconda inibisce questa scarica. Vi sono due tipi di neuroni, quelli i cui assoni formano sinapsi eccitatorie e quelli i cui assoni formano sinapsi inibitorie. Non vi sono neuroni ambivalenti. Ciascun

neurone ha migliaia di sinapsi sulla sua superficie e scarica impulsi solo quando l'eccitamento sinaptico è molto più forte dell'inibizione (v. neurone e impulso nervoso; v. sinapsi: Fisiologia della sinapsi centrale e Fisiologia della sinapsi periferica).

In profondità rispetto alla corteccia cerebrale si trova la sostanza bianca, che è in gran parte composta dalle fibre nervose mieliniche che costituiscono le vie efferenti e afferenti da e alla corteccia cerebrale. Esse interconnettono ciascun'area della corteccia cerebrale ai livelli inferiori del sistema nervoso centrale o ad altre aree dello stesso emisfero (fibre di associazione) e dell'emisfero opposto (fibre commessurali). Vi sono circa 200 milioni di fibre commessurali nel corpo calloso, che è il sistema più esteso di connessione fra i due emisferi (v. emisferi cerebrali: Dominanza cerebrale e Interazioni interemisferiche cerebrali).

4. La struttura modulare della neocorteccia.

Sono passati oltre 20 anni da quando si osservò per la prima volta che la corteccia sensoriale è composta da una moltitudine di colonne distinte (v. fig. 5), disposte lungo l'intero spessore della corteccia con orientamento perpendicolare alla sua superficie (v. Mountcastle, 1957). Questa disposizione a colonne di unità funzionali caratterizza anche la corteccia visiva, la corteccia uditiva e la corteccia motoria. Vi sono le prove che anche le aree sensoriali secondarie e terziarie hanno una struttura a colonne. È stata prospettata l'ipotesi che abbia una struttura simile anche la grande porzione della neocorteccia (oltre il 95%) che non ha relazioni dirette con le afferenze sensoriali e con le efferenze motorie (v. fig. 3) e che va sotto il nome di corteccia associativa. Per verificare questa ipotesi Goldman e Nauta (v., 1977) hanno fatto microiniezioni di traccianti radioattivi (leucina ³H o prolina ³H) in varie aree della corteccia associativa della scimmia. È noto che questi amminoacidi sono captati dai neuroni e incorporati in proteine marcate che successivamente sono trasportate lungo gli assoni dei neuroni fino alle branche terminali. Non è necessario entrare nei dettagli di questo attendibile procedimento tecnico di marcatura radioattiva che serve per determinare la distribuzione degli assoni delle cellule piramidali di una piccola area corticale. Come ha osservato Szentàgothai (v., 1978), la marcatura radioattiva ha rilevato una modalità di distribuzione degli assoni di straordinaria importanza e del tutto inaspettata. Nella fig. 6 Szentàgothai (v., 1978) dà una rappresentazione diagrammatica del reperto straordinario che l'immensa lamina della neocorteccia è suddivisa in un mosaico di unità spaziali quasi separate. Si può sostenere la tesi che queste unità spaziali siano i moduli che formano gli elementi anatomici di base nel disegno funzionale della neocorteccia. Nella parte sinistra della fig. 6 sono mostrate dodici cellule

piramidali fittamente ammassate in un tale modulo o colonna, che ha una larghezza di circa 250 μm . Gli assoni di queste cellule piramidali si proiettano a tre altri moduli dello stesso emisfero e, dopo aver attraversato il corpo calloso, a due moduli dell'altro emisfero. Abbiamo così illustrato in termini semplici le proiezioni associative e callosali delle cellule piramidali di un modulo. La fig. 6 mostra molti particolari importanti. In primo luogo parecchie cellule piramidali di un modulo proiettano in maniera completamente sovrapposta ad altri moduli definiti nello stesso modo e aventi anch'essi una larghezza di circa 250 μm . Nella fig. 6 questa dimensione è già rappresentata dalla distribuzione delle diramazioni di una singola fibra di associazione per due moduli; la distribuzione sovrapposta è illustrata per 2 fibre associative e per 4 e 5 fibre callosali. In secondo luogo la proiezione callosale è diretta in gran parte, ma non interamente, a moduli simmetrici del lato opposto. Infine vi è reciprocità di connessioni callosali fra moduli simmetrici.

5. Il funzionamento modulare della neocorteccia.

Se vogliamo cercare di comprendere meglio come questa macchina neuronica funzioni, dobbiamo anzitutto tener presente che la fig. 6 è molto semplificata. In primo luogo vi sono circa 2.500 neuroni in un modulo largo 250 μm e almeno 500 di questi sono cellule piramidali. Sulla base del numero di fibre del corpo calloso, vi dovrebbero essere circa 50 cellule piramidali che proiettano fibre callosali da un modulo al lato opposto, invece delle sei rappresentate nella fig. 6. Se si considera che le fibre associative sembra che siano dieci volte più numerose di quelle callosali, vi dovrebbero essere 500 cellule piramidali che fungono da proiettori di fibre associative invece delle tre della fig. 6. Vi dovrebbe pertanto essere una convergenza di proiezioni da ciascun modulo molto più intensa di quella rappresentata nella fig. 6 e, probabilmente, anche una dispersione di proiezioni a un numero molto maggiore di moduli. Szentágothai (v., 1978) suggerisce che il numero delle connessioni convergenti e divergenti intermodulari ammonti a 50.

Ma, anche se si aggiungessero tutti questi elementi alla fig. 6, il diagramma darebbe un quadro della situazione delle connessioni valido per un solo istante. Se il modulo primario della fig. 6 è fortemente eccitato e vi è una potente scarica di impulsi da parte delle cellule piramidali che lo costituiscono, entro pochi millisecondi intensi segnali eccitatori raggiungono molti altri moduli tramite le proiezioni associative e callosali. Alcuni di questi moduli secondari a loro volta saranno eccitati fino a un livello sufficiente a produrre una scarica verso moduli terziari e questi a loro volta a moduli quaternari. Così in una frazione di secondo si realizza uno schema di propagazione dell'eccitamento che non è casuale, ma strettamente determinato dalle

proiezioni sequenziali dei moduli secondari, terziari, ecc., di questo esempio particolare (v. fig. 7). Vi sono approssimativamente 4 milioni di moduli nella neocorteccia dell'uomo e quindi vi sono immense possibilità di sviluppare schemi spazio-temporali anche ammettendo semplicisticamente che ciascun modulo funzioni come una unità ricevente ed emittente. Tuttavia, vi è certamente una graduazione delle risposte delle cellule piramidali in un modulo, come è dimostrato dall'ampia gamma delle loro frequenze di scarica osservata da molti ricercatori. Le caratteristiche speciali di un modulo corticale sono in primo luogo lo schema delle connessioni interne dei neuroni che lo costituiscono; in secondo luogo l'inibizione laterale che è prodotta da alcuni dei neuroni inibitori del modulo, e ne rende più precisi i limiti (v. Szentàgothai, 1978); in terzo luogo la graduazione dei segnali in uscita che è basata sia sul numero delle cellule piramidali indotte a scaricare impulsi, sia sulla frequenza di questi impulsi. L'ipotesi più semplice è che un modulo agisca come una unità fondamentale nella prestazione funzionale della neocorteccia e che il frazionamento del modulo non abbia significato a causa della completa sovrapposizione delle proiezioni delle cellule piramidali che lo costituiscono (v. fig. 6). Ciascun modulo agisce come una unità elaborando le afferenze convergenti dagli altri moduli, e, a sua volta, proietta in maniera divergente a molti altri moduli. Esso rappresenta pertanto i principi sherringtoniani della convergenza e della divergenza.

È stato anche proposto di prendere in considerazione delle subunità dei moduli fondamentali illustrati nella fig. 6. Per esempio, Mountcastle (v., 1978) postula un'unità molto più piccola, una minicolonna di circa 30 μm di diametro e Szentàgothai (v., 1978) avanza l'ipotesi di un estremo raffinamento dell'attività di un modulo per interazione fra i suoi interneuroni interni eccitatori e inibitori tale da conferire un alto grado di individualità dei segnali in uscita, perfino a livello della singola cellula piramidale. Io preferisco considerare l'intero modulo come una unità di elaborazione con molte uscite in parallelo, in modo che vi sia una efficace eccitazione sinaptica dei moduli ai quali esso proietta (v. fig. 6).

Si potrebbe obiettare che il modulo è un'unità troppo grossolana perché possa trattare e immagazzinare l'immensa quantità di informazioni necessarie per il funzionamento del cervello umano nel corso della vita. Questa obiezione rende attraente l'ipotesi delle minicolonne. Vi sono tuttavia due contro-obiezioni.

In primo luogo, a causa della completa sovrapposizione nella distribuzione delle afferenze associative e callosali in un modulo, vi è una mescolanza delle informazioni che convergono su di esso da momento a momento. È difficile immaginare come una frazione del modulo, quale la mini-colonna di Mountcastle, possa avere una qualsiasi azione selettiva. Sembra più probabile che la macchina neuronica dell'intero modulo elabori queste informazioni dando quindi origine a scariche di impulsi da parte delle cellule piramidali. L'intensità dell'eccitamento istante per istante costituisce un segnale che è dato dall'integrale delle scariche di impulsi, vale a dire dal numero delle cellule piramidali moltiplicato per la loro frequenza media di scarica.

Questo occasionale segnale in uscita è distribuito ai moduli successivi nella sequenza secondo la modalità divergente indicata nella fig. 6. Molti di questi moduli riceventi divengono ovviamente fuochi di convergenza di scariche emesse da parecchi altri moduli attivati nella stessa occasione, e quindi ciascuno raggiunge momentaneamente un'intensità di eccitamento variabile entro una vasta gamma di valori, che si riflette in una corrispondente scarica efferente e così via in successione.

In secondo luogo è evidente che i moduli possono generare un altissimo numero di schemi corrispondenti alle diverse prestazioni, pur funzionando globalmente, senza essere divisi in minicolonne. Secondo una stima approssimata per difetto vi potrebbero essere nella neocorteccia umana quattro milioni di moduli che generano gli schemi spazio-temporali che codificano tutte le prestazioni cognitive del cervello umano - tutte le sensazioni, tutti i ricordi, tutte le espressioni linguistiche, tutta la creatività, ecc. Possiamo chiederci: bastano quattro milioni di moduli per questo enorme compito? La sola risposta che posso dare è un paragone con le immense potenzialità degli 88 tasti di un pianoforte. Si pensi alle creazioni di grandi compositori come Mozart, Beethoven e Chopin: nel creare musica per pianoforte, i cui 88 tasti corrispondono ciascuno a una nota di altezza e qualità tonale invarianti, essi potevano utilizzare solo quattro parametri. Analogamente, quattro parametri sono utilizzati nel creare gli schemi di attività spazio-temporali nei quattro milioni di moduli della neocorteccia umana. Prenderò in considerazione questi quattro parametri uno per uno, indicandone le caratteristiche corrispondenti.

Il primo parametro è l'intensità; in musica corrisponde all'intensità sonora della nota, mentre nel modulo corrisponde all'integrale della scarica di impulsi lungo le vie in uscita dal modulo, come è stato descritto sopra. Mentre le note del piano si differenziano per l'altezza del suono, i moduli, che nell'analogia proposta sono i corrispettivi delle note, hanno ciascuno le proprie connessioni che determinano proprietà codificate relative sia alla modalità della percezione corrispondente, per esempio luce, colore o suono, sia a tutte le qualità percettive. Il secondo parametro è la durata della nota o della scarica di impulsi del modulo. Il terzo parametro è la sequenza delle note che costituiscono la melodia nella musica per piano; questa sequenza corrisponde allo schema temporale delle attività modulari nella neo-corteccia. Si può immaginare che questo schema modulare si realizzi tramite una trasmissione sequenziale da moduli ad altri moduli ad altri moduli ancora (v. fig. 7). Il quarto parametro è l'emissione simultanea di più note, un accordo, ovvero l'attivazione di più moduli nel cervello. In un accordo il massimo numero di note è dieci, mentre i moduli attivati simultaneamente possono essere migliaia. Penso che tutti riconosceranno che l'enorme numero di combinazioni musicali generate dagli 88 tasti del piano suggerisce una capacità virtualmente infinita da parte dei quattro milioni di moduli di produrre schemi spazio-temporali. Nella fig. 2 i moduli compaiono come 40 bande verticali. Se questo numero fosse aumentato di 50.000 volte, esso corrisponderebbe

approssimativamente al numero di moduli potenzialmente capaci di contribuire alle esperienze coscienti. Tuttavia si tenga presente che, come avviene con i tasti del pianoforte, le esperienze dipendono dalla combinazione dei quattro parametri elencati sopra.

Possiamo immaginare di illuminare i moduli per rappresentarne simbolicamente le intensità di attivazione. Usando questa analogia per le cellule nervose, Sherrington (v., 1940) ha fornito una suggestiva rappresentazione degli schemi del cervello attivo. Così, se potessimo vedere illuminati i moduli sulla superficie della neocorteccia (v. fig. 8), osserveremmo una struttura luminosa di 50 cm per 50 cm composta in ogni istante da moduli larghi 1/4 di mm, di tutti i gradi di intensità luminosa. Questa struttura cambierebbe istante per istante fornendo configurazioni luminose sempre diverse a seconda dell'illuminazione dei 4 milioni di moduli. Si pensi per analogia a uno schermo televisivo, sul quale l'immagine è composta da unità il cui numero massimo è un milione. Questo modo di rappresentare i moduli mediante uno schema luminoso dà una certa idea del compito di immensa difficoltà che si presenta alla mente nel derivare esperienze coscienti dai moduli neocorticali. Si può pensare che i moduli scuri o poco illuminati siano usualmente ignorati e che l'attenzione venga attirata dai moduli brillanti, o meglio dagli schemi di moduli brillanti.

6. Il collegamento fra il cervello e la mente.

Finora la descrizione del funzionamento dei moduli è rimasta sul piano puramente materialistico. Potrebbe spiegare, per esempio, le operazioni della macchina neuronica che trasformano le afferenze sensoriali in qualche forma di risposta motoria passando attraverso complicatissimi schemi spazio-temporali di moduli. Ma se seguiamo l'ipotesi dualistico-interazionistica dobbiamo porci la domanda: quale attività della macchina neuronica può essere 'decifrata' dalla mente autocosciente? Possiamo dire anzitutto che non è concepibile che la mente autocosciente sia collegata a singole cellule o a singole fibre nervose. Individualmente queste unità neuroniche sono troppo inattendibili e inefficienti. In base a ciò che sappiamo oggi sul modo di funzionare della macchina neuronica, dobbiamo porre l'accento sugli insiemi di neuroni (centinaia o migliaia) che cooperano nell'ambito di una qualche configurazione. Solo questi raggruppamenti possono essere attendibili ed efficaci. I moduli della neocorteccia sono appunto insiemi di neuroni. Entro certi limiti il modulo, con i suoi circa 2.500 neuroni di diversi tipi e con la sua organizzazione funzionale di eccitamento e inibizione a feedback e feedforward (v. Szentàgothai, 1978) ha una vita indipendente. Per ora sappiamo poco sulla dinamica interna di un modulo, ma possiamo congetturare che esso, con la sua organizzazione complessa e la

sua intensa attività, sia un componente del mondo fisico (1° mondo) in contatto sia emittente sia ricevente con la mente autocosciente (2° mondo). Nella fig. 2 i moduli sono indicati come bande verticali estese a tutto lo spessore della corteccia cerebrale. Si può inoltre supporre che non tutti i moduli della corteccia cerebrale godano della proprietà straordinaria di essere in contatto con il 2° mondo, tipica dei componenti del 1° mondo all'interfaccia con il 2° mondo. Per definizione i moduli con questa proprietà sono solamente quelli che costituiscono il cervello di collegamento e soltanto quando raggiungono il giusto livello di attività.

La fig. 8 presenta una illustrazione diagrammatica delle relazioni ipotetiche fra moduli 'aperti' e moduli 'chiusi' alla coscienza, viste da un osservatore che guardi dall'alto la superficie della corteccia. Per semplificare il diagramma, le colonne sono rappresentate come dischi separati e non strettamente contigui, come sono in realtà (v. Szentágothai, 1978). Inoltre si deve tener presente che la situazione normale, intensamente dinamica, è 'congelata' nel tempo. Per convenzione i moduli aperti sono rappresentati come cerchi bianchi e i moduli chiusi come cerchi neri; supponiamo inoltre che vi siano anche moduli parzialmente aperti. Si può fare l'ipotesi che la mente autocosciente sondi questo insieme di moduli, riuscendo a ricevere e a trasmettere solo da e a quei moduli che sono parzialmente o totalmente aperti. La complessità della situazione reale può essere afferrata se si calcola che il complesso dei moduli della neocorteccia dovrebbe essere rappresentato da una figura di dimensioni 200 volte maggiori in ogni direzione di quelle della fig. 8.

L'ipotesi più semplice sull'interazione mente-cervello è che la mente autocosciente possa esplorare l'attività di ciascun modulo del cervello di collegamento, o per lo meno di quei moduli che attirano la sua attenzione momentanea. È già stata avanzata l'ipotesi secondo cui la mente autocosciente ha la funzione di integrare le informazioni che essa stessa seleziona a partire dall'immensa quantità di dati strutturati che riceve dal cervello di collegamento - le attività modulari, secondo l'ipotesi qui presentata - per costruire le sue esperienze istante per istante. I moduli così selezionati costituiscono momentaneamente quella parte del 1° mondo che forma l'interfaccia con il 2° mondo, come mostra schematicamente la fig. 2. L'interfaccia è pertanto una regione che cambia continuamente entro l'ampia area del cervello di collegamento.

Le prove sperimentali indicano che si deve raggiungere un funzionamento modulare organizzato di grande complessità prima che vi sia una esperienza cosciente. Per esempio, una debole stimolazione elettrica ripetuta della corteccia somatoestesica dà origine a una percezione cosciente tattile, con un ritardo che può raggiungere il mezzo secondo (v. Libet, 1973). Come è stato descritto ampiamente altrove (v. Eccles, 1980, Lecture IV), Desmedt e Robertson (v., 1977) hanno dimostrato che la percezione di una debole stimolazione elettrica di un dito su cui si concentri l'attenzione, è associata a potenziali negativi e positivi ritardati fino a 0,5 s, diffusi ampiamente in entrambi gli emisferi, mentre questi potenziali ritardati non si riscontrano nel caso che manchi una specifica concentrazione. Per converso la volontà di compiere un movimento è associata a un

potenziale ad ampia diffusione (il potenziale di preparazione) che si estrinseca nell'arco di 0,8 s prima che abbia luogo un semplice movimento ed è presumibilmente generato da strutture di funzionamento modulare di immensa complessità (v. Kornhuber, 1974; v. Popper e Eccles, 1977, cap. E3; v. Eccles, 1980).

Risulta che nei Primati l'organizzazione delle proiezioni da un modulo agli altri moduli si stabilisce al più tardi entro pochi giorni dalla nascita (v. Goldman e Nauta, 1977). Se tutte le connessioni fra i moduli sono pertanto già formate prima che vengano usate, la spiegazione del mutamento di prestazioni della neocorteccia, che forma la base nervosa dell'apprendimento, può presentare delle difficoltà. Si farà perciò riferimento a un'ipotesi riguardante l'apprendimento (v. Eccles, 1979), secondo cui nel corso dell'apprendimento si determina un'ipertrofia delle sinapsi formate dalle fibre orizzontali sui dendriti apicali delle cellule piramidali nelle lamine più superficiali della corteccia cerebrale (lamine I e II). Si postula che l'ipertrofia di queste sinapsi in una configurazione specifica sia causata dalla selezione per congiunzione dovuta al simultaneo arrivo di un'afferenza specifica dell'ippocampo da un lato e di un'afferenza cortico-corticale dall'altro lato. In questo modo un certo numero di moduli adiacenti potrebbero venir uniti insieme più efficacemente e quindi vi potrebbe essere una modificazione nell'evoluzione dell'organizzazione modulare che potrebbe fornire la base della prestazione appresa dalla macchina neuronica. Nelle osservazioni con traccianti radioattivi di Goldman e Nauta (v., 1977) i moduli marcati mostrano sempre un aumento di radioattività nelle lamine I e II che potrebbe essere una prova di ipertrofia sinaptica. Sarebbe molto interessante se l'intensa radioattività osservata da Goldman e Nauta nelle lamine I e II si estendesse a chiazze a partire dal modulo marcato.

Dobbiamo considerare le modalità di interazione modulare tramite le cellule piramidali di moduli diversi. Ciascun modulo proietta a molti altri moduli e questi a loro volta proiettano a molti altri ancora. Queste interazioni danno quindi luogo a configurazioni lunghe e complesse. Io penso che la mente autocosciente agisca modificando leggermente alcuni di questi moduli, presumibilmente centinaia, e che i moduli reagiscano collettivamente a queste modificazioni che vengono trasmesse dai circuiti delle fibre di associazione e delle fibre callosali. Inoltre la mente auto-cosciente 'decifra' o percepisce continuamente le risposte che essa stessa provoca in questo modo. Un assunto fondamentale dell'ipotesi è che le relazioni fra i moduli e la mente autocosciente siano reciproche, poiché la mente autocosciente è sia attivante che ricevente, come indicano le frecce che attraversano nelle due direzioni la frontiera della fig. 2. Questa reciprocità di azione è in accordo con l'asserzione di Einstein: "È contrario al modo di pensare scientifico pensare che una cosa [...] possa agire ma non essere oggetto di azioni esterne".

Sviluppando ulteriormente l'ipotesi che alcuni moduli siano esposti all'azione del 2° mondo (la mente autocosciente) si può supporre che la mente autocosciente non si limiti a esaminare superficialmente il modulo, come si potrebbe immaginare se essa rilevasse semplicemente i campi di micropotenziali nell'area (v.

Pribram, 1971), ma lo 'sondi' in profondità, leggendo e influenzando le configurazioni dinamiche della prestazione neuronica. Si può supporre che tale sondaggio venga effettuato istante per istante su tutto l'insieme di moduli sparsi che elaborano informazioni che abbiano interesse immediato (attenzione) per la mente autocoscienze rispetto alla sua prestazione integrativa.

Quando consideriamo l'intera e dettagliata struttura dei moduli, moltiplicando per 200 le dimensioni della minuscola area corticale rappresentata nella fig. 8, è difficile comprendere come la mente autocosciente possa collegarsi con una struttura spazio-temporale di così grande complessità. Questa difficoltà è attenuata da tre considerazioni. In primo luogo si deve pensare che la nostra mente autocosciente ha imparato a svolgere i suoi compiti fin dall'infanzia, in quel processo che si chiama colloquialmente 'imparare a usare il proprio cervello'. In secondo luogo, attraverso la concentrazione dell'attenzione, la mente autocosciente seleziona dall'insieme totale di configurazioni modulari quegli aspetti che si accordano ai suoi interessi del momento. In terzo luogo la mente autocosciente è impegnata a estrarre 'significati' da tutto ciò che legge. Ciò è ben illustrato dalla sua interpretazione di figure ambigue e impossibili, come i cubi di Necker.

Vi sono alcune analogie fra l'ipotesi modulare qui descritta e il suggerimento di Mountcastle (v., 1978) secondo cui i moduli uniti insieme in blocchi disposti in parallelo e in serie compongono dei 'sistemi distribuiti'. Questi sistemi collegano l'attività nervosa generata internamente con la funzione entrata-uscita del sistema nervoso. Mountcastle propone che essi "forniscano un meccanismo oggettivo di consapevolezza" del tutto analogo a quello ipotizzato dalla teoria dell'identità psiconervosa. Similmente Szentàgothai (v., 1978) conclude che "le configurazioni dinamiche 'potrebbero' fornire una spiegazione scientifica delle funzioni superiori del cervello, inclusa la stessa coscienza". Anche Edelman (v., 1978) suggerisce una simile spiegazione della coscienza in base all'identità psiconervosa. Questi recenti tentativi di formulare una soluzione del problema del rapporto mente-cervello in accordo con la chiusura del 1° mondo non sono altro che versioni, espresse in maniera vaga, del materialismo promissQrio criticato da Popper ed Eccles (v., 1977). Questi tentativi possono essere sottoposti alle stesse obiezioni che sono state sollevate più sopra contro forme meno sofisticate della teoria dell'identità psiconervosa. Tutte queste teorie falliscono di fronte al compito impossibile di derivare un mondo mentale da un mondo materiale di circuiti neuronici. Al contrario, il dualismo-interazionismo postula l'esistenza sia di un mondo mentale sia di un mondo materiale e concerne principalmente la loro interazione. Recentemente Granit (v., 1977) e Thorpe (v., 1978) hanno fornito contributi molto interessanti e importanti circa il ruolo dell'intenzionalità nel comportamento degli animali superiori. Non sembrano esservi dubbi sul fatto che i Vertebrati superiori, gli Uccelli e i Mammiferi, mostrino comportamenti effettivamente basati sull'intenzionalità e sull'intuizione e ciò fa pensare che abbiano

esperienze coscienti. Ma è presumibile che questa coscienza differisca grandemente dall'autocoscienza umana, come hanno sostenuto Popper ed Eccles (v., 1977, Dialogo II).

7. Unità della coscienza e commessurotomia.

Secondo un'esperienza universale esiste un'unità mentale che si percepisce soggettivamente come una continuità attraverso il tempo. È la base del concetto del sé. Weiss (v., 1969) esprime bene questo concetto parlando della "[...] unità che è la mia più grande esperienza: l'esperienza che anche se so che io cambio continuamente - tutte le molecole cambiano, ogni cosa in me viene sostanzialmente modificata - v'è nondimeno la mia identità, la mia coscienza di essere essenzialmente lo stesso di 20 anni fa. Per quanto io possa essere cambiato, la continuità della mia identità è rimasta inalterata".

È un fatto, tuttavia, che abbiamo due emisferi cerebrali, sulle cui funzioni specifiche e differenziali si è sviluppato un dibattito di immensa portata (v. emisferi cerebrali). Storicamente la disputa si può far risalire all'individuazione dei centri del linguaggio nell'emisfero cerebrale sinistro (v. fig. 3) da parte di Broca e Wernicke, sulla base della localizzazione anatomica delle lesioni producenti afasia. Successivamente è stata pubblicata un'enorme quantità di dati riguardanti gli effetti di lesioni cliniche sulle funzioni cerebrali, non soltanto in relazione al linguaggio, ma anche in relazione, per esempio, alle aprassie prodotte dalle lesioni del lobo parietale destro. Purtroppo le lesioni cliniche di solito non sono ben circoscritte e quindi non forniscono indicazioni precise per la localizzazione della funzione disturbata. Un progresso notevole fu realizzato da Gordon Holmes che studiò sistematicamente le ferite da proiettile nel corso della prima guerra mondiale per definire la localizzazione topografica della rappresentazione del campo visivo nel lobo occipitale.

Informazioni assai importanti sulle funzioni dei vari lobi dei due emisferi (v. fig. 3) sono state ottenute dalla Milner e da altri studiando il comportamento di pazienti sottoposti a lesioni circoscritte per scopi terapeutici (v. Popper e Eccles, 1977, cap. E6). Tuttavia le prove di gran lunga più importanti per la questione dell'unità della coscienza provengono dagli studi effettuati da Sperry e collaboratori su pazienti cui era stato sezionato il grande fascio di fibre nervose, circa 200 milioni, che unisce i due emisferi cerebrali (v. fig. 9). Si deve considerare che in questo caso le connessioni dei due emisferi con le regioni inferiori del cervello rimangono intatte. Si deve inoltre considerare che i due emisferi lavorano congiuntamente in tutte le attività cerebrali del soggetto prima dell'operazione e che ciascun emisfero mantiene il ricordo dei numerosi anni di collaborazione con l'altro emisfero.

È una fortuna che la sezione del corpo calloso e l'abolizione dell'immenso numero di connessioni formate dai 200 milioni di fibre produca nei pazienti deficit apparentemente così modesti che nulla di significativo fu scoperto prima che Sperry applicasse i suoi metodi d'esame altamente differenziali. Le prestazioni generali del corpo nella locomozione, nel mantenere la postura eretta, nel tuffarsi e nel nuotare, nel sonno e nella veglia restano coordinate, poiché le connessioni crociate ai livelli sottocorticali dell'encefalo non sono alterate dalla commessurotomia. Nel cap. E5 del libro di Popper e Eccles (v., 1977) si trova una descrizione abbastanza esauriente di tutte le prove differenziali atte a verificare le prestazioni emisferiche dopo la commessurotomia. Possiamo dire sommariamente che l'emisfero sinistro (parlante) mantiene capacità linguistiche poco alterate, conserva una buona memoria del passato, unita a un buon livello intellettuale e a una vita emotiva non molto disturbata. Tuttavia esso è carente in tutti i compiti spaziali e costruttivi. Al contrario l'emisfero destro possiede capacità linguistiche assai limitate mentre dispone di un considerevole vocabolario uditivo, poiché può comprendere ordini e collegare parole udite o lette alle immagini corrispondenti. Un altro dato sorprendente è che l'emisfero destro risponde ai verbi altrettanto appropriatamente che ai nomi che indicano azioni. Nonostante tutte queste manifestazioni di comprensione del linguaggio, l'emisfero destro è praticamente incapace di esprimersi sia oralmente sia per scritto. Tuttavia, in contrasto con l'emisfero sinistro, esso è molto efficiente in tutti i compiti spaziali e costruttivi e dimostra anche una grande abilità nel riconoscere stimoli globali.

Quando si sono messi a punto metodi di indagine più sofisticati, che hanno permesso di effettuare analisi protratte anche per due ore consecutive, è apparso chiaro che l'emisfero destro è in grado di fornire risposte coscienti a un livello superiore di quello di qualsiasi primate non umano. Ci si renderà conto che non esiste una prova indubbia dell'esistenza della coscienza, tuttavia si concorda generalmente sul fatto che gli animali superiori, gli Uccelli e i Mammiferi, mostrano un comportamento cosciente quando agiscono intelligentemente ed emotivamente e sono capaci di apprendere reazioni appropriate. Se si accettano questi criteri non si può mettere in dubbio che l'emisfero destro abbia una coscienza. La domanda difficile è se l'emisfero destro sia autocosciente, cioè se conosca se stesso. Secondo quanto affermano Sperry e altri (v., 1979), "L'autocoscienza sembra essere, sulla base delle prove attuali, ottenute principalmente negli esperimenti di autoriconoscimento allo specchio, un attributo quasi esclusivamente umano. Sembra assente negli animali inferiori ai Primati, e fra questi ultimi è presente in maniera limitata nelle scimmie antropomorfe. Nel bambino l'autocoscienza fa la sua comparsa relativamente tardi nel corso dello sviluppo, manifestandosi per la prima volta intorno ai 18 mesi di età. Pertanto l'autocoscienza può essere considerata come uno stadio relativamente avanzato, sia ontogeneticamente sia filogeneticamente, della consapevolezza

Sperry e altri (v., 1979), descrivono le ricerche da loro effettuate su due pazienti commessurotomizzati, per studiare determinati aspetti dell'autocoscienza e della consapevolezza sociale in genere dell'emisfero destro. Una grande varietà di fotografie di persone, di oggetti familiari e di scene, in diversi raggruppamenti, veniva presentata al campo visivo sinistro del paziente e quindi esclusivamente all'emisfero destro (v. fig. 9). Il soggetto riusciva sempre a identificare la fotografia familiare fra le altre fotografie, ma trovava difficoltà a specificare che cosa rappresentasse, e gli sperimentatori dovevano adottare un sistema di suggerimento fornendo varie informazioni prima che l'identificazione da parte dell'emisfero destro potesse essere espressa a parole, presumibilmente dall'emisfero sinistro. La loro conclusione a favore di una approssimativa uguaglianza dei due emisferi nella capacità di identificazione può essere criticata, perché basata su una interpretazione che sopravvaluta abbondantemente le risposte del soggetto, come risulta dai protocolli sperimentali. Nondimeno vi sono prove considerevoli in favore di una limitata autocoscienza dell'emisfero destro.

Questi test per verificare l'esistenza della mente e dell'autocoscienza stanno su un piano percettivo ed emozionale relativamente semplice. Possiamo ancora dubitare che l'emisfero destro abbia un'esistenza completamente autocosciente. Per esempio, è capace di fare piani e di preoccuparsi per il futuro, di prendere decisioni e di esprimere giudizi in base a un sistema di valori? Queste sono qualifiche essenziali della persona umana, secondo quanto si intende generalmente (v. Strawson, 1959; v. Popper e Eccles, 1977, sezioni 31 e 33). Consideriamo ora il rapporto fra questi dati e l'unità dell'esperienza consapevole di sé.

Come ha sottolineato De Witt (v., 1975) le ricerche di Sperry e collaboratori sugli effetti della commessurotomia hanno posto problemi molto importanti, per i quali sono state offerte molteplici interpretazioni. Sperry (v., 1976), Bogen (v., 1969) e Gazzaniga (v., 1971) propongono che vi siano due menti autocoscienti, cioè che la commessurotomia divida in due la mente, anche la mente auto-cosciente, nonostante normalmente vi sia una sola persona. Bogen (v., 1969) asserisce: "Una delle caratteristiche più ovvie e fondamentali del cervello è quella di essere doppio. Vari tipi di prove, derivate specialmente dalle emisferectomie, hanno chiaramente indicato che un emisfero è sufficiente a far sussistere la personalità o la mente. Possiamo quindi concludere che l'individuo con due emisferi intatti ha la capacità di avere due menti distinte [...] ciascuno di noi ha due menti in una persona".

In alternativa a questo punto di vista MacKay (v., 1978) ed Eccles (v., 1979) sostengono l'idea che con la commessurotomia si separi una mente cosciente che è associata all'emisfero destro, mentre l'emisfero sinistro mantiene una mente autocosciente pressoché intatta cui è associata l'essenza della persona.

8. La persona.

Consideriamo ora brevemente il modo in cui un embrione e poi un bambino diventano una persona. È una storia che tutti noi abbiamo vissuto, ma che abbiamo per molti aspetti dimenticato. Il bambino nasce con un cervello completamente formato in tutti i dettagli della sua struttura, ma che deve ancora ovviamente crescere fino a raggiungere il peso di circa 1,4 kg, tipico dell'età adulta. Le cellule nervose, le unità che compongono il cervello, sono già quasi tutte presenti. Tutte le più importanti connessioni con la periferia e fra una parte e l'altra dell'encefalo sono già pronte per l'uso.

Imparare a parlare grazie a una esposizione anche minima a stimoli verbali è parte della nostra eredità biologica. Questa capacità ha una base genetica, ma non si può parlare di geni del linguaggio. D'altra parte i geni forniscono le istruzioni per la costituzione delle aree speciali della corteccia cerebrale responsabili del linguaggio (v. fig. 3), nonché di tutte le strutture sussidiarie implicate nella vocalizzazione.

La filosofia del 3° mondo di Popper costituisce la base per esplorare ulteriormente il modo in cui un bambino diviene una persona. Tutto il mondo materiale, che comprende anche i cervelli umani, fa parte del 1° mondo della materia-energia. Il 2° mondo è il mondo di tutte le esperienze coscienti (v. fig. 2) e il 3° mondo è il mondo della cultura che include specificamente il linguaggio. Alla nascita il bambino possiede un cervello umano ma le sue esperienze del 2° mondo sono molto rudimentali e il 3° mondo gli è sconosciuto. Il bambino e anche l'embrione umano devono essere considerati esseri umani, ma non persone.

La nascita e lo sviluppo dell'autocoscienza (2° mondo), in seguito alla continua interazione con il 3° mondo, è un processo assolutamente misterioso, che può essere assimilato a una doppia struttura (v. fig. 10) che sale e cresce grazie a un efficace sistema di connessioni incrociate. La freccia verticale indica il trascorrere del tempo dalle prime esperienze del bambino fino al pieno sviluppo dell'adulto. Da ciascuna posizione nel 2° mondo una freccia porta, attraverso il livello corrispondente del 3° mondo, a un livello più alto e più ampio che rappresenta simbolicamente una crescita culturale dell'individuo. Reciprocamente le risorse culturali dell'io (3° mondo) influiscono retroattivamente sul 2° mondo elevando la coscienza dell'io stesso a un livello superiore e più ampio (2° mondo). E così ciascuno di noi si è sviluppato progressivamente in un processo di autocreazione. Quanto maggiori sono le risorse culturali dell'individuo, tanto più aumenta la sua autocoscienza. Ciò che noi siamo dipende dal tipo di 3° mondo in cui siamo stati immersi e da quanto efficacemente abbiamo utilizzato le opportunità di sviluppare le potenzialità del nostro cervello. Il cervello è necessario ma non sufficiente per l'esistenza e l'esperienza del 2° mondo, come è indicato nella fig. 2, che è

un diagramma dualistico-interazionistico in cui le frecce indicano il flusso di informazioni attraverso l'interfaccia fra il cervello, che appartiene al 1° mondo, e l'io cosciente, che fa parte del 2° mondo.

Vi è un caso recente che illustra tragicamente l'idea rappresentata nella fig. 10. Una bambina, Genie, fu privata di tutte le influenze del 3° mondo dal padre psicotico: fu confinata in isolamento in una stanzetta, non udì una parola e ricevette un minimo di assistenza dall'età di 20 mesi fino a 13 anni e 8 mesi. Alla fine di questo periodo di terribili privazioni ella era ovviamente un essere umano, ma non una persona: occupava lo scalino più basso della scala rappresentata nella fig. 10. Da allora sono ormai passati otto anni, e grazie all'aiuto sollecito della dott.ssa Curtiss (v., 1977) Genie ha risalito lentamente la scala dell'evoluzione della personalità. La privazione linguistica ha seriamente danneggiato il suo emisfero sinistro, ma l'emisfero destro coopera a una sia pur ridotta prestazione linguistica. Nonostante l'enorme ritardo con cui ha avuto accesso al 3° mondo, Genie è diventata una persona dotata di autocoscienza, di emozioni e di eccellenti capacità manuali e di riconoscimento visivo. Possiamo così valutare quanto sia necessario il 3° mondo per lo sviluppo della persona. Il cervello si costituisce in base a istruzioni genetiche (la natura), ma lo sviluppo della persona dipende dall'ambiente del 3° mondo (l'educazione). Per Genie v'è stato un intervallo di oltre 13 anni fra natura ed educazione.

È utile concepire il cervello come uno strumento, il nostro strumento, che ci serve e ci accompagna per tutta la vita. Esso ci procura, in quanto persone coscienti, le linee di comunicazione da e per il mondo materiale (1° mondo), che comprende sia i nostri corpi sia il mondo esterno, ricevendo le informazioni provenienti dall'immenso sistema sensorio costituito da milioni di fibre nervose. Queste scaricano impulsi nel cervello che elabora le informazioni in configurazioni codificate che noi decifriamo istante per istante derivandone tutte le nostre esperienze - percezioni, pensieri, idee, ricordi.

9. Conclusioni.

Riassumiamo brevemente l'ipotesi avanzata. La mente autocosciente è impegnata attivamente a decifrare le informazioni provenienti dai numerosi moduli di collegamento che si trovano per lo più nell'emisfero cerebrale dominante. La mente autocosciente seleziona i moduli secondo l'attenzione e l'interesse, e integra istante per istante i dati prescelti in maniera tale da conferire unità anche alle esperienze più transitorie. Inoltre la mente autocosciente agisce sui moduli modificandone le configurazioni dinamiche spazio-temporali. Pertanto, secondo la nostra ipotesi, la mente autocosciente esercita una funzione superiore di interpretazione e di

controllo. Una componente chiave dell'ipotesi è che l'unità dell'esperienza cosciente sia fornita dalla mente autocosciente e non dai meccanismi nervosi delle aree di collegamento dell'emisfero cerebrale. Finora non è stato possibile sviluppare una teoria neurofisiologica che spieghi come eventi cerebrali diversi vengano sintetizzati in modo che vi sia un'esperienza cosciente unitaria a carattere globale o gestaltico. Gli eventi cerebrali restano disparati, poiché consistono essenzialmente nelle singole azioni di innumerevoli neuroni i quali, a loro volta, sono riuniti in moduli e pertanto partecipano agli schemi spazio-temporali di attività.

La rigorosa concezione dualistico-interazionistica sviluppata in questo articolo mi ha portato ad avanzare congetture sui concetti più progrediti attualmente disponibili concernenti la struttura e il funzionamento della neocorteccia. Ho cercato di descriverli il più semplicemente possibile. Come possiamo tuttavia aspettarci di trovare una facile soluzione all'enorme problema che ci sta dinanzi, il problema del rapporto cervello-mente? Non mi vanto di aver offerto una soluzione, ma penso di aver indicato lo schema generale entro cui questa soluzione possa essere cercata. In qualche maniera misteriosa il cervello umano si è evoluto assumendo proprietà di ordine del tutto diverso rispetto a qualsiasi altro oggetto naturale.

Al vertice delle proprietà trascendenti del cervello umano io porrei inizialmente l'interazione con un altro mondo non materiale (il 2° mondo). La comparsa dell'autocoscienza è un mistero che concerne ogni persona con il suo io cosciente e unico. Il fatto che nella neocorteccia non siano state identificate proprietà strutturali o fisiologiche che distinguano chiaramente un cervello umano dal cervello di una scimmia antropomorfa è una misura della nostra ignoranza. L'enorme differenza di prestazioni difficilmente può essere attribuita al semplice fatto che il cervello umano possiede un numero di moduli triplo rispetto a quello della scimmia. Nutriamo la speranza che stia per cominciare una nuova era scientifica, nella quale la struttura e il funzionamento della neocorteccia umana saranno studiati intensamente con le tecniche più progredite, illuminate da una superba immaginazione creativa.

I nostri antenati con la loro immaginazione creativa hanno costruito il mondo della cultura e della civiltà (3° mondo) che ha rivestito un ruolo fondamentale nell'arricchire la formazione di ciascuno di noi come persone portatrici di cultura e di valori. La comparsa dell'io unico individuale sfugge all'analisi scientifica, come ho sostenuto altrove. La mia tesi è che dobbiamo riconoscere che l'io unico è il risultato di una creazione soprannaturale di ciò che in senso religioso si chiama anima.

Spero di aver gettato un po' di luce sul problema grande e misterioso del cervello umano e della persona. Ciascuna persona deve essere considerata primariamente un essere unico autocosciente che interagisce con il suo ambiente - specialmente con altre persone - per mezzo della macchina neuronica del cervello. Ho sviluppato il punto di vista dualistico-interazionistico su questo rapporto mente-cervello, perché, come Popper

e io abbiamo sostenuto, tutte le spiegazioni monistico-materialistiche sono semplificazioni erranee. Certamente le soluzioni del problema non saranno nè semplici nè di carattere dottrinario.

Mente

Enciclopedia del Novecento I Supplemento (1989)

di John C. Eccles

SOMMARIO: 1. Introduzione. 2. La coscienza. 3. I micrositi sinaptici come operatori probabilistici. 4. La possibilità che un evento mentale non materiale agisca a livello dei micrositi cerebrali secondo un meccanismo analogo a quello dei campi di probabilità della meccanica quantistica. 5. Verifiche delle teorie sul rapporto mente-cervello. 6. Il problema del rapporto mente-cervello. 7. Conclusioni generali.

1. Introduzione.

A prima vista si riscontra, fra i filosofi, un notevole consenso a sostegno di una filosofia della mente monistico-materialistica, ma un esame più approfondito rivela una vasta gamma di opinioni al riguardo. D'altronde le concezioni dei filosofi sono andate mutando nel corso degli ultimi decenni, a mano a mano che si emergeva dalla lunga notte scura del behaviorismo. Per rendersi conto di questo mutamento graduale basta seguire il destino di certi tabù verbali. Allo zenit (o piuttosto al nadir!) dell'influenza del provocatorio libro di Ryle (v., 1949), *The concept of mind*, parole come 'mente', 'coscienza', 'pensieri', 'intenzioni', 'opinioni' non erano permesse. Nell'intento di esorcizzare lo spettro cartesiano estirpandolo dalla macchina cervello-corpo, tutte le parole che avessero un vago sapore di dualismo cartesiano divennero parole 'sporche', inammissibili in un discorso filosofico raffinato. Fra queste oscenità verbali spiccavano quattro parole inglesi di quattro lettere: mind (mente), self (sé), soul (anima) e will (volontà).

Le opinioni dei filosofi che si considerano monisti-materialisti o fisicalisti si distribuiscono lungo un ampio arco di posizioni e spesso uno stesso filosofo, col trascorrere del tempo, passa da una posizione a un'altra. È interessante il fatto che Armstrong (v., 1968 e 1981) abbia mutato significativamente le proprie concezioni nel

periodo intercorso fra le pubblicazioni dei suoi due libri; la stessa cosa è capitata a Dennett (v., 1969 e 1981). Si può percepire il venir meno dell'influenza di Ryle nel corso del ventennio 1960-1980 attraverso il mutamento nell'uso delle parole da parte di questi due filosofi.

Rappresenta un'autentica ossessione per i filosofi l'idea di doversi sbarazzare del concetto di homunculus, il piccolo uomo che sta nel cervello, un residuo di dualismo cartesiano. Dennett (v., 1969, p. 190), per esempio, pensa di dover prendere in considerazione ciò che una persona fa e non la sua mente, per evitare di pervenire a prospettive cartesiane. Ma che cos'è una persona in questo contesto? Nella misura in cui tentiamo di sottoporre il problema del rapporto mente-cervello a un'analisi scientifica, dobbiamo spingere lo sguardo al di sotto della persona intesa come entità globale, fino a giungere agli eventi neurali che si verificano nel cervello e, in ultima analisi, ai più remoti micrositi delle attività sinaptiche.

2. La coscienza.

Nel cap. 4 del suo libro, *The nature of mind*, Armstrong (v., 1981) fornisce un meditato resoconto filosofico dell'esperienza di coscienza. Suona strana l'affermazione che una persona del tutto priva di coscienza possenga una mente dotata di conoscenze e di opinioni, che non sono definitivamente perdute, ma soltanto latenti. Eppure spesso accade che in queste condizioni riusciamo a risolvere un problema o a scoprire come esprimere una qualche idea in modo appropriato. Tutto ciò affiora alla nostra coscienza nel momento in cui si desta. Armstrong interpreta questo fenomeno come una prestazione di una coscienza minimale, perché un qualcosa di mentale sta effettivamente avvenendo. Costituiscono una classe speciale di attività mentali associate alla percezione quelle attività che insorgono quando ci si desta dal sonno e dai sogni e si diventa consapevoli dell'ambiente circostante. In questo caso la coscienza minimale si tramuta in coscienza percettiva, che sembra caratterizzare lo stato di parziale consapevolezza o, meglio, lo stato di non-attenzione. Tuttavia non si tratta ancora di uno stato di piena coscienza, che consiste in una percezione del mentale. Una tale percezione 'interna' si chiama, tradizionalmente, 'introspezione' o 'consapevolezza introspettiva'. Possiamo quindi chiamare questo terzo tipo di coscienza 'coscienza introspettiva': si tratta di "una consapevolezza, simile alla percezione, degli stati attuali e delle attività della nostra mente [...]. Dal momento che l'introspezione è a sua volta un'attività mentale, può anch'essa divenire oggetto di consapevolezza introspettiva". Ho voluto citare testualmente queste affermazioni di Armstrong, che sono pienamente consone alle mie opinioni, perché, altrimenti, avrei potuto dare l'impressione di aver interpretato tendenziosamente quanto egli ha scritto.

La coscienza introspettiva è ciò che può essere chiamato 'autocoscienza' (v. Popper ed Eccles, 1977, dialogo II). Quando si presta un'intensa attenzione a una qualche esperienza percettiva, nella consapevolezza così intensificata entra in gioco la coscienza introspettiva. Questo intervento dell'autocoscienza si verifica anche nei confronti di altri stati mentali, come quelli elencati sotto il titolo 'sensi interni' nella fig. 8: sensazioni, ricordi, pensieri, intenzioni. Noi postuliamo che tutti questi stati e queste attività, di cui siamo introspettivamente consapevoli, abbiano una base unitaria nel sé, che è un'entità individuale continua. Questa unificazione nel sé di diversi stati e attività mentali colti introspettivamente è della massima importanza, perché ci offre l'opportunità di esaminare in maniera coerente il modo in cui il nostro sistema di valori può essere integrato nelle nostre decisioni. Quindi, come sostiene Armstrong, "la coscienza introspettiva emerge, pienamente vigile, tipicamente in situazioni 'problematiche', in situazioni che non si possono superare con comportamenti standard, di routine". È strano che, dopo queste argomentazioni e conclusioni mentalistiche, Armstrong affermi che "un fisicalista deve considerare gli stati e le attività oggetto di introspezione alla stregua di stati fisici [...] di un cervello".

La coscienza introspettiva implica un'intensa attenzione rivolta alle attività mentali in esame; pertanto Armstrong ipotizza che essa svolga un ruolo importante nel ricordo degli eventi. Si può in linea di massima convenire sul fatto che gli eventi cui non si presta attenzione non si ricordano; in particolare i ricordi degli eventi forniscono la base della storia passata del sé. Ciò spinge Armstrong ad affermare, addirittura, che "senza la coscienza introspettiva non saremmo consapevoli della nostra esistenza fino al momento attuale, il nostro sé non sarebbe presente a se stesso. [...] Possiamo quindi capire perché la coscienza introspettiva risulti in definitiva una condizione imprescindibile perché possa esistere un qualcosa di mentale o persino un qualcosa in generale".

Possiamo quindi chiederci: come stanno le cose per quel che riguarda gli animali superiori, che dimostrano in maniera evidente di possedere una consapevolezza cosciente (v. Griffin, 1981 e 1984)? È sufficiente attribuir loro una coscienza minimale e una coscienza percettiva? Non vi è quasi alcuna prova che gli animali posseggano una coscienza introspettiva o un'autocoscienza, ma sembrano ben dotati di facoltà mentali quali percezioni, sensazioni, ricordi, intenzioni, pensieri, e molte specie hanno una capacità ben sviluppata di ricordare eventi passati. Io suggerirei di postulare che essi abbiano una coscienza percettiva più sviluppata, simile a quella che Armstrong considera 'di transizione' alla coscienza introspettiva.

Secondo Dennet (v. 1969, p. 99) "la caratteristica principale della mente, il 'fenomeno' che più di qualsiasi altro sembra rappresentare la quintessenza di ciò che è 'mentale' e non fisico, è la coscienza". Eppure Dennet sottopone la coscienza ad analisi, nel tentativo di mostrare che essa non è una caratteristica singola della mente, ma una congerie di caratteristiche molteplici e incompatibili. L'intento di Dennet è di scacciare "il

piccolo uomo che sta nel cervello", che non è altro che l'entità indipendente del sé dell'interazionismo dualistico, tornata alla ribalta dopo che Ryle ne aveva esorcizzato il fantasma estirpandolo dalla macchina corpo-cervello. Dennett critica il metodo introspettivo, che è viziato dal preconconcetto cartesiano dell'infallibilità del soggetto che riferisce le proprie esperienze interne. Comunque egli scinde la coscienza in due componenti: la consapevolezza in senso intenzionale, in particolare delle percezioni, e la coscienza di un qualche vago residuo, neppure collegata ai pensieri. Ma in che cosa consistono il pensare e il ragionare se non in 'attività conscie della mente', attività di cui siamo consapevoli? Dice bene Hebb (v., 1980) a proposito del funzionamento inconscio della mente: "Per chiunque la propria mente è un qualcosa di estraneo, di creativo, di ignoto: un vero mistero".

Popper (v., 1982, p. 122) dice che l'origine della vita e l'emergere della coscienza animale sono miracoli e che un terzo grande miracolo è l'emergere della mente umana e della ragione.

Questo articolo illustra un tentativo di spiegare, al di là del determinismo e degli schemi indeterministici della meccanica quantistica, il fatto che noi siamo in grado di agire deliberatamente e razionalmente.

3. I micrositi sinaptici come operatori probabilistici.

La nostra indagine concerne il modo in cui funziona la corteccia cerebrale al più remoto microlivello, sicché ci occuperemo in particolare delle sinapsi spinali scoperte nel 1957 da E. G. Gray (v., 1982) e schematizzate nella fig. 4D del precedente articolo mente. Quasi tutte le sinapsi eccitatorie corticali hanno la forma riportata nella figura citata; vi sono circa 1014 sinapsi del genere nella corteccia cerebrale umana. Il bottone appare come un rigonfiamento terminale dell'assone (la fibra presinaptica) e contiene le vescicole sinaptiche in parte connesse con le proiezioni presinaptiche dense, che sporgono dalla membrana presinaptica nella regione contrapposta alla spina sinaptica, situata al di là della fessura sinaptica (larga circa 20 nm).

Un'analisi strutturale più spinta, resa possibile, in particolare, dalla tecnica del criodecapaggio di Akert e altri (v., 1972 e 1975), ha consentito di tracciare uno schema semplificato di una sinapsi spinale; questo schema è riportato nella fig. 1, dove la sinapsi è disegnata in prospettiva e parzialmente 'scoperchiata' per rivelarne le strutture più profonde. La disposizione delle vescicole sinaptiche e delle proiezioni presinaptiche dense, che nella fig. 4D del precedente articolo mente appariva relativamente libera, si rivela invece estremamente regolare a un'analisi più approfondita: nell'ingrandimento in alto a sinistra della fig. 1 è mostrato

l'impacchettamento preciso delle vescicole sinaptiche disposte in configurazione esagonale, alternate alle proiezioni presinaptiche dense a configurazione triangolare. Questa struttura composta si chiama 'griglia vescicolare presinaptica' e la si può considerare dotata di proprietà paracristalline (v. Akert e altri, 1975; v. Triller e Korn, 1982). I bottoni delle sinapsi cerebrali hanno un'unica griglia vescicolare presinaptica, come indicato nella fig. 1.

Tramite le tecniche più avanzate è stato possibile studiare l'influenza di una singola fibra presinaptica su un neurone. La fibra, in genere, si ramifica, in modo da fornire parecchi bottoni a un unico neurone, non come illustrato nella fig. 4D del precedente articolo mente, dove è stato raffigurato un solo bottone. Quando è stimolata, la fibra eccitatoria esercita un'azione eccitatoria, che mostra un'ampia fluttuazione di ampiezza del potenziale eccitatorio post-sinaptico (PEPS), registrato a livello intracellulare. Ai fini di questo articolo è sufficiente sapere che, tramite una sofisticata tecnica di analisi delle fluttuazioni, Jack e altri (v., *The components...*, 1981) hanno dimostrato che un impulso presinaptico evoca la scarica di una singola vescicola da un bottone probabilisticamente, con probabilità pari, in genere, a circa 0,33. Questo numero varia ampiamente nei diversi bottoni a partire da quasi 0, ma resta sempre minore di 1. L'originale studio probabilistico sui bottoni eccitatori di un motoneurone è stato riefettuato da Korn e Faber (v., 1986), con un procedimento analitico diverso, nel caso dei bottoni inibitori di una cellula di Mauthner di pesce e, più recentemente, nel caso dei bottoni eccitatori delle cellule piramidali di una corteccia cerebrale primitiva, l'ippocampo di mammifero (Andersen e Redman, contributo non pubblicato).

Dato che le sinapsi del cervello dei Mammiferi (v. Akert e altri, 1972 e 1975) nonché della cellula di Mauthner (v. Triller e Korn, 1982) sembrano possedere tutte la medesima struttura di base, schematizzata nella fig. 1, si può ipotizzare che la probabilità di emissione quantica (vescicolare) sia una proprietà olistica della griglia vescicolare presinaptica di un bottone. In effetti questa probabilità non è fissa per uno stesso bottone: con un trattamento fisiologico e/o farmacologico può essere aumentata o diminuita (v. Jack e altri, *Modifications ...*, 1981; v. Hirst e altri, 1981; v. Korn e Faber, 1986).

Si conoscono solo valori approssimati del numero di vescicole sinaptiche inserite in una griglia vescicolare presinaptica. In genere sembra che questo numero vari fra 30 e 50, almeno secondo le indicazioni di Akert e altri (v., 1972 e 1975). Triller e Korn (v., 1982) forniscono un numero variabile fra 44 e 83 nel caso dei bottoni delle cellule di Mauthner. Pertanto solo una piccolissima parte delle vescicole sinaptiche di un bottone (che sono circa 10.000) è inserita nella zona attiva della griglia vescicolare presinaptica; tutte le altre sono disposte liberamente all'interno del bottone (v. fig. 4D del precedente articolo mente; v. fig. 1).

La fig. 2A illustra bene l'impacchettamento delle molecole di trasmettitore all'interno di una vescicola sinaptica, il movimento della vescicola fino alla griglia vescicolare presinaptica e il suo aggancio a una proiezione presinaptica della griglia presinaptica. Infine nella fig. 2B sono illustrate l'adesione della vescicola alla membrana presinaptica, sotto l'effetto degli ioni Ca^{2+} , e la liberazione di tutte le molecole di trasmettitore nella fessura sinaptica. L'intimo contatto fra la vescicola e la membrana presinaptica (v. fig. 2B, 2) è illustrato anche nella parte sinistra della fig. 1, dove sono raffigurate due piccole protuberanze e una vescicola evidentemente pronta a scaricarsi; nella parte destra della stessa fig. 1, invece, si possono vedere, in seguito alla rimozione delle vescicole e delle proiezioni dense, i siti di attacco delle vescicole (sav), disposti in configurazione esagonale, come evidenziato anche nell'ingrandimento a destra.

4. La possibilità che un evento mentale non materiale agisca a livello dei micrositi cerebrali secondo un meccanismo analogo a quello dei campi di probabilità della meccanica quantistica.

In un suo recente libro il fisico quantistico H. Margenau (v., 1984) ha avanzato l'ipotesi che un evento mentale non materiale, come, per esempio, l'intenzione di muoversi, possa influenzare eventi neurali a livello dei micrositi senza violare le leggi di conservazione della fisica. (Si tenga presente che esistono due distinte accezioni del termine 'quanto': la prima usata nell'ambito della fisica quantistica, la seconda nelle neuroscienze, per indicare l'unità di trasmissione sinaptica, la vescicola sinaptica). Secondo Margenau (ibid., p. 96) "nel caso di sistemi fisici molto complicati, come il cervello, i neuroni e gli organi di senso, i cui componenti sono abbastanza piccoli da essere governati da leggi quantistiche probabilistiche, l'organo fisico è sempre pronto a subire un gran numero di cambiamenti possibili, a ognuno dei quali è associata una probabilità definita; se avviene un cambiamento che richiede energia, o più o meno energia di un altro, l'organismo complesso la fornisce automaticamente. Pertanto, anche se la mente ha qualcosa a che fare con il cambiamento in questione, ovvero anche se esiste un'interazione mente-corpo, non è necessario che sia la mente a fornire energia". In conclusione Margenau sostiene (ibid., p. 97): "La mente può essere considerata alla stregua di un campo, nel senso fisico - normalmente inteso - del termine. Ma si tratta di un campo non materiale, il cui corrispettivo più prossimo, in termini analogici, è forse un campo di probabilità. Tale campo non può essere paragonato ai più semplici campi non materiali, che necessitano della presenza di materia (il flusso idrodinamico o acustico) [...] né occupa necessariamente una posizione definita nello spazio. Inoltre,

per quanto ne sappiamo finora, non è un campo di energia in senso fisico, nè si deve postulare che contenga energia, per spiegare tutti i fenomeni noti di interazione fra mente e cervello".

I 'micrositi', il cui ruolo abbiamo incominciato a discutere in via ipotetica nel capitolo precedente, non hanno ancora un'identità precisa, ma gli argomenti esposti in precedenza suggeriscono che, in virtù del meccanismo probabilistico di emissione vescicolare, le griglie vescicolari presinaptiche siano perfettamente adatte a costituire i bersagli degli eventi mentali non materiali, come, per esempio, l'intenzione di eseguire un qualche movimento. Non stiamo ipotizzando che gli eventi mentali promuovano l'attività sinaptica tramite un'azione eccitatoria esercitata o sugli elementi presinaptici o su quelli postsinaptici, come suggerito nel precedente articolo mente (cap. 6). Al contrario, secondo l'ipotesi dei micrositi, gli eventi mentali si limitano ad alterare la probabilità di emissione vescicolare, che però è provocata da un impulso presinaptico. Un evento mentale eserciterebbe la propria azione sulla griglia vescicolare presinaptica paracristallina, la quale agisce in maniera globale nel controllare la probabilità di emissione di una vescicola dalla configurazione multivescicolare.

Il primo quesito da porsi concerne le dimensioni dell'effetto che un campo probabilistico quantistico può produrre. Più in particolare bisogna chiedersi se la massa della vescicola sinaptica sia tanto grande da non rientrare nell'intervallo di applicazione del principio di indeterminazione di Heisenberg. Margenau (v., 1977, p. 384) ha adattato la nota disequazione di Heisenberg al caso di calcoli inerenti a situazioni non atomiche:

Formula

In base a opportuni calcoli si può attribuire alla massa (m) di una vescicola sinaptica di 40 nm di diametro il valore di $3 \times 10^{-17}g$. Se si assume pari a 1 nm l'indeterminazione Δx relativa alla posizione della vescicola nella griglia vescicolare presinaptica, allora Δv , l'indeterminazione relativa alla velocità, risulta di 3,5 nm al ms, valore prossimo al giusto ordine di grandezza. La membrana presinaptica (v. figg. 1 e 2) è spessa circa 5 nm e il tempo di emissione di una vescicola è di parecchie decine di millisecondi (v. Katz e Miledi, 1965).

Questo calcolo, tuttavia, si basa sul presupposto che la vescicola sinaptica si muova liberamente, il che certamente non avviene quando essa si trova inserita nella griglia vescicolare presinaptica (v. fig. 1). Dato che la griglia è una struttura paracristallina, potrebbe interagire attraverso speciali relazioni di risonanza con un influsso mentale che agisse in maniera analoga a un campo di probabilità. La meccanica quantistica delle strutture microcristalline potrebbe costituire un valido supporto concettuale per la comprensione del modo in cui funziona la griglia vescicolare presinaptica. L'influsso mentale postulato si limiterebbe ad alterare la probabilità di emissione di una vescicola già situata a ridosso della membrana (v. fig. 2B), provocando

l'apertura di un canale attraverso la doppia parete ($2 \times 5\text{nm}$) delle membrane contrapposte, per il passaggio di una massa di soli 10-18 g circa.

In conclusione si può affermare che i calcoli fatti sulla base del principio di indeterminazione di Heisenberg mostrano che la probabilità di emissione di una vescicola dalla griglia vescicolare presinaptica potrebbe verosimilmente essere modificata da un'intenzione mentale che agisse in maniera analoga a un campo di probabilità quantistico.

Il secondo quesito riguarda l'ordine di grandezza dell'effetto, che consiste semplicemente in un cambiamento della probabilità di emissione di una singola vescicola (v. fig. 1). Questo evento è di parecchi ordini di grandezza troppo piccolo per modificare gli schemi dell'attività neuronica, persino in piccole aree del cervello. Comunque vi sono molte migliaia di bottoni simili su una cellula piramidale della corteccia cerebrale. Secondo l'ipotesi dei micrositi il campo di probabilità dell'intenzione mentale è ampiamente distribuito non solo sulle sinapsi di un singolo neurone, ma anche su quelle di molti altri neuroni che svolgono funzioni simili. Il prossimo capitolo è dedicato a questo argomento, con speciale riferimento alla risposta fornita dal cervello all'intenzione mentale di compiere un movimento volontario.

5. Verifiche delle teorie sul rapporto mente-cervello.

Possiamo chiederci se sia possibile effettuare verifiche sperimentali di previsioni fatte sulla base dell'ipotesi dualistico-interazionistica, da una parte, e della teoria dell'identità, dall'altra (v. mente, fig. 1). Un semplice diagramma (v. fig. 3A) illustra le caratteristiche essenziali della teoria dell'identità. Secondo Feigl (v., 1967), l'identità fra 'mentale' e 'nervoso' si ha soltanto nel caso di neuroni o di sistemi di neuroni appartenenti ai centri cerebrali superiori, specie alla corteccia cerebrale. Questi neuroni potrebbero essere chiamati 'neuroni degli eventi mentalinervosi' (EMN), mentre gli altri neuroni del cervello, e in particolare i neuroni localizzati sui percorsi di 'entrata' e di 'uscita', non sarebbero che semplici 'neuroni degli eventi nervosi' (EN) (v. fig. 3A). In base alla teoria dell'identità si potrebbe prevedere che i neuroni EMN siano peculiari, in quanto, in speciali circostanze, la loro attività coinciderebbe (ecco l'identità) con eventi mentali. Ma naturalmente questa attività si verificherebbe in risposta a stimoli provenienti da altri neuroni, EMN o EN, non essendo in alcun modo determinata o modificata dagli eventi mentali. In ciò consiste la 'chiusura' del mondo fisico, cui abbiamo accennato precedentemente (v. Popper ed Eccles, 1977).

In effetti sono stati scoperti sperimentalmente, nella corteccia cerebrale, sistemi di neuroni che potrebbero essere costituiti da neuroni EMN, essendo specificamente connessi con stati mentali intenzionali o con stati di attenzione. Le ricerche che hanno portato a questa scoperta sono state condotte su individui addestrati a 'pensare silenziosamente' in un modo particolare.

La fig. 4 mostra la posizione dell'area motoria supplementare (AMS) dell'emisfero cerebrale sinistro nella parte mediale della corteccia frontale, immediatamente davanti all'area motoria dell'arto inferiore ed estendentesi in profondità sulla faccia mediale. Tramite una tecnica basata sull'uso di Xenon radioattivo, Roland e altri (v., 1980) hanno registrato il flusso ematico regionale (FECr) in un emisfero cerebrale collegato con ben 254 contatori Geiger atti a registrare l'esatta configurazione spaziale della radioemissione indotta dall'iniezione di una piccola quantità di Xenon radioattivo nell'arteria carotide interna. È ormai appurato che un qualsiasi incremento regionale del FECr costituisce un segnale attendibile di un aumento dell'attività neuronica nell'area in questione. Il soggetto era stato addestrato a eseguire una complessa sequenza di movimenti con le dita per tutta la durata (45 s) del conteggio Geiger.

La fig. 5A mostra, come prevedibile, una forte attivazione delle aree controlaterali motoria e sensitiva relative al pollice e alle altre dita, accompagnata, però, da un'attivazione altrettanto forte e bilaterale dell'AMS. La supremazia dell'AMS è evidenziata nella fig. 5B, che si riferisce al caso in cui il soggetto non esegue materialmente alcun movimento, ma si limita a espletare mentalmente il compito motorio appreso, operazione definita 'pensiero silente'. In queste condizioni sperimentali si è registrato, relativamente alla sola AMS e su entrambi i lati, un aumento del 20%, altamente significativo, dell'attività neuronica. Il soggetto si trovava in una condizione di riposo assoluto, con occhi e orecchie chiusi. In questo caso l'incremento del FECr indica un aumento dell'attività neuronica dell'AMS sotto l'influsso di un'intenzione mentale concepita dal soggetto. Evidentemente l'intenzione mentale attiva un enorme insieme di neuroni, essenziali, naturalmente, per provocare il movimento desiderato.

Per mezzo di un microelettrodo inserito nel cervello è stato possibile studiare le risposte di singoli neuroni dell'AMS di una scimmia mentre eseguiva un movimento volontario (v. fig. 6, A e C; v. Brinkman e Porter, 1979). Si è così registrato un aumento della frequenza di scarica di molti neuroni, circa 50 ms prima della scarica dei neuroni motori corticali, che alla fine hanno provocato il movimento voluto, come puntualmente segnalato dall'elettromiogramma (v. fig. 6B; v. i contributi di Eccles del 1982).

Motivi di ordine etico vietano di eseguire un esperimento del genere su un soggetto umano; comunque anche le registrazioni di campi elettrici e magnetici, effettuate nell'uomo tramite elettrodi applicati allo scalpo

durante l'esecuzione di movimenti volontari ripetitivi (v. Deecke e Kornhuber, 1978), indicano che i neuroni dell'AMS costituiscono la sede di una forte attivazione da parte dell'intenzione mentale.

Secondo l'ipotesi dei micrositi, la griglia vescicolare presinaptica offre all'intenzione mentale l'opportunità di cambiare 'a scelta' la probabilità dell'emissione sinaptica. Ciò varrebbe per tutto il complesso delle sinapsi spinali attivate a un dato momento, probabilmente addirittura migliaia, dato che ce ne sono circa 10.000 su una singola cellula piramidale corticale (v. Szentágothai, *The neuron ...*, 1978). Un influsso mentale analogo a un campo di probabilità potrebbe esercitare un'influenza globale sulle sinapsi di un appropriato neurone, aumentando o diminuendo le probabilità dell'emissione vescicolare indotta dagli impulsi in arrivo (v. Margenau, 1984). In tal modo l'efficacia di un'intenzione mentale dipenderebbe dall'integrazione degli eventi probabilistici che si verificano nelle numerose griglie vescicolari presinaptiche di quel neurone.

Per determinare un qualche movimento volontario, come piegare un dito, l'intenzione mentale deve scegliere le giuste cellule piramidali su cui agire modificandone la probabilità di emissione vescicolare. Questa scelta sarebbe effettuata sulla base dell'inventario, appreso, delle cellule dell'AMS responsabili di un particolare movimento. Perché questa scelta sia efficace è necessario che esista uno sbarramento sinaptico di fondo su quelle cellule, in quanto tutto ciò che l'intenzione mentale può fare è modificare la probabilità di emissione vescicolare delle sinapsi attivate. Tanji e Kurata (v., 1982) hanno dimostrato l'ampia convergenza di inputs sensoriali sulle cellule dell'AMS. Tutti i bottoni attivati possono essere considerati siti ove ha luogo la modificazione della probabilità di liberazione vescicolare, provocata dall'intenzione mentale.

Questo può sembrare un metodo alquanto rozzo per iniziare un movimento volontario, ma bisogna considerare che noi abbiamo la capacità di effettuare, a volontà, una immensa gamma di movimenti e ciò richiede una strategia oltremodo complessa con cui selezionare neuroni dell'AMS individuandoli nel contesto di circa 108 cellule piramidali associate in - forse - 30.000 moduli. Tutto ciò di cui abbiamo esperienza diretta è come iniziare mentalmente il movimento specifico. È fondamentale che l'intenzione mentale provochi l'attivazione di blocchi di neuroni dell'AMS nella giusta sequenza temporale per i diversi muscoli implicati nell'atto motorio (v. Brinkman e Porter, 1979 e 1983). Secondo la spiegazione più semplice queste cellule dell'AMS proiettano alle altre aree corticali e sottocorticali in modo che i programmi motori appresi risultino incorporati nell'attivazione finale delle cellule piramidali motorie che scaricano lungo il tratto piramidale.

Riepilogando si può affermare che, per stabilire la validità dell'ipotesi dei micrositi, basta che essa riesca a render conto della capacità di un evento mentale non materiale di mutare la probabilità dell'emissione vescicolare da un singolo bottone facente capo a una cellula piramidale corticale. Se ciò può avvenire nel caso di un singolo bottone, può avvenire anche nel caso di numerosi bottoni facenti capo a quel neurone: tutto il

resto avviene di conseguenza, in accordo con le teorie neurofisiologiche del controllo motorio. La chiusura del 1° mondo è stata così violata e tramite un'intenzione mentale noi siamo veramente in grado di effettuare movimenti a volontà.

La fig. 7A illustra una notevole scoperta di Roland (v., 1981): quando il soggetto umano si concentrava mentalmente su un dito cui stava per essere applicato uno stimolo tattile appena percettibile, si verificava un aumento del FECr nell'area tattile del dito del giro postcentrale della corteccia cerebrale, nonché nell'area prefrontale mediana. Questi aumenti dovevano essere stati determinati dall'attenzione mentale, dato che nessuno stimolo tattile era stato applicato durante la registrazione. Quindi la fig. 7A costituisce una chiara dimostrazione del fatto che l'atto mentale dell'attenzione può attivare appropriate regioni della corteccia cerebrale. Analogo risultato si ottiene nel caso che il soggetto presti attenzione alle proprie labbra in attesa di un contatto, ma ovviamente l'area somatosensitiva attivata in questo caso è quella relativa alle labbra.

Il fatto che l'attenzione provochi un incremento della risposta elettrica cerebrale a uno stimolo tattile esercitato su un dito è stato dimostrato da Desmedt e Robertson (v., 1977). In una ricerca molto ingegnosa essi scoprirono che, toccando il dito su cui il soggetto fissava la propria attenzione, si determinava un grande aumento dei potenziali tardivi evocati N 140 e P 500, rispetto ai controlli eseguiti con lo stimolo tattile delle altre dita (cui il soggetto non prestava attenzione). Tutto ciò può essere correlato con l'incremento del FECr prodotto dall'attenzione nell'area tattile relativa al dito (v. fig. 7A). In entrambe queste ricerche si è potuto constatare come un evento mentale, l'attenzione, abbia prodotto risposte neuroniche selettive.

Un risultato analogo si ottiene nel caso in cui il soggetto sia impegnato nella semplice attività di contare (mentalmente) o nell'eseguire (sempre mentalmente) altre operazioni aritmetiche, in uno stato di completo rilassamento, con occhi e orecchie chiusi; in tali condizioni si è riscontrato un incremento del FECr in molte aree corticali, ma non nelle aree sensitive o motorie primarie (v. Roland e Friberg, 1985). Nel caso dell'operazione aritmetica consistente nell'eseguire mentalmente successive sottrazioni del numero 3 a partire da 50, si è verificato un incremento del FECr in una fascia mediale della corteccia frontale, posta davanti all'AMS, e anche in altre aree della corteccia prefrontale di ambedue gli emisferi, nonché nei giri sopramarginale e angolare di entrambi i lobi parietali (v. fig. 7B). In questo caso gli schemi sono più complessi di quelli relativi alla rappresentazione mentale di un movimento (v. fig. 5B). A schemi ancora più complicati hanno dato luogo le esecuzioni di altri esercizi, quali la memorizzazione di una sequenza di parole prive di senso e la raffigurazione mentale dell'atto di percorrere un tracciato.

È prevedibile che in futuro si giungerà a constatare che le innumerevoli operazioni mentali di cui siamo capaci attivano un numero talmente elevato di regioni specifiche della corteccia cerebrale da far sì che la maggior

parte della neocorteccia sia sottoposta all'influenza mentale del pensiero (v. Ingvar, 1985). Naturalmente finora non esiste alcun criterio per dimostrare un'influenza diretta. Le aree attivate direttamente possono influenzare a loro volta altre aree, come nel caso dell'AMS (v. fig. 5B) che attiva la corteccia motoria (v. fig. 5A).

L'ipotesi dei micrositi, secondo cui eventi mentali non materiali altererebbero la probabilità di emissione vescicolare dalle griglie vescicolari presinaptiche, può spiegare tutte queste influenze esercitate dalle operazioni mentali. Viceversa i sostenitori della teoria dell'identità dovrebbero postulare che l'attività dei neuroni EMN (v. fig. 3A) fosse generata esclusivamente per via neuronica e fosse spiegabile come risposta a inputs provenienti o da neuroni EN o da altri neuroni EMN appartenenti ai centri cerebrali superiori. In tal modo la chiusura del 1° mondo del cervello viene conservata al prezzo inaccettabile di negare l'azione promotrice svolta da processi mentali quali le intenzioni e l'attenzione, azione illustrata nelle figg. 5, 6 e 7. La differenza fra la teoria dell'identità e l'ipotesi dei micrositi è cruciale; secondo quest'ultima, infatti, i neuroni EMN riceverebbero, oltre agli inputs provenienti da altri neuroni EMN e dai neuroni EN, anche un input proveniente autonomamente da eventi mentali (EM), rappresentato dalle frecce aggiuntive che compaiono nella fig. 3B. Diversa sarebbe la risposta dei neuroni EMN in assenza di eventi mentali quali l'intenzione, l'attenzione o il pensiero silente (v. figg. 5B e 7, A e B).

6. Il problema del rapporto mente-cervello.

Per formulare più precisamente l'ipotesi dualistica dell'interazione mente-cervello, bisogna premettere che il mondo degli eventi mentali (2° mondo) ha un'esistenza altrettanto autonoma quanto quello della materia-energia (1° mondo) (v. fig. 8). Va detto che il solo mezzo di cui disponiamo per conoscere il 1° mondo sono i nostri organi di senso. Gli organi di senso ci forniscono i dati percettivi su cui si basano le nostre azioni, i nostri pensieri e i nostri ricordi, e quindi i dati su cui si fondano tutte le attività umane, comprese la scienza e la tecnologia. L'ipotesi interazionistica qui presentata non ha niente a che vedere con questi problemi ontologici, ma riguarda soltanto il modo in cui gli eventi mentali agiscono sugli eventi neurali; in altre parole concerne la natura delle frecce che compaiono nella fig. 8, puntate verso il basso, attraverso la frontiera (interfaccia) fra 1° e 2° mondo. Secondo l'ipotesi dei micrositi l'influenza mentale modifica la probabilità di emissione vescicolare da un bottone attivato, attraverso un meccanismo analogo a quello seguito dai campi di probabilità della meccanica quantistica.

Dato che si postula che gli eventi mentali possano influenzare soltanto eventi neurali indotti da impulsi presinaptici a sottostare al meccanismo probabilistico di emissione quantica (vescicolare), è prevedibile che l'efficacia degli eventi mentali sarebbe ridotta a zero se fosse ridotta a zero l'attività presinaptica di fondo. In tal caso si verificherebbe una perdita di coscienza irreversibile, a meno che non si verificasse una netta ripresa della scarica degli impulsi nella corteccia cerebrale. Un esempio di questo stato è il coma 'vigile', che sopraggiunge allorché un trauma che colpisce il mesencefalo blocca il sistema reticolare attivante (v. Hassler, 1978; v. Eccles, 1980, p. 160). In effetti è possibile che il ruolo principale del sistema reticolare attivante sia quello di fornire una base di impulsi eccitatori alla corteccia cerebrale, predisponendo un'enorme quantità di emissioni vescicolari probabilistiche, che costituiscono i bersagli dei campi quantici probabilistici di influenza mentale.

Sicché possiamo supporre che gli eventi mentali interagiscano in maniera globale con gli eventi neurali relativi a schemi spazio-temporali di attività della corteccia cerebrale (v. Eccles, How..., 1982). Persino in un singolo modulo corticale, con i suoi 3.000 neuroni circa, dev'esserci un'incessante intensa attività dinamica di complessità inimmaginabile. Benché conosciamo per grandi linee la struttura nervosa di un modulo (v. mente, fig. 5: v. Szentàgothai, The neuron ..., 1978 e 1983), finora lo studio della fisiologia relativa non ha fatto grandi progressi. Tutto ciò che possiamo congetturare è che eventi mentali agenti come un campo nel modo postulato da Margenau (v., 1984) siano in grado di modificare l'attività spazio-temporale di un modulo alterando la probabilità di emissione in molte migliaia di sinapsi attive. Ciò non implica alcuna violazione di leggi di conservazione.

Ci si può chiedere come faccia la scimmia a erigere l'immensa barriera sinaptica che dà luogo all'attività neuronica illustrata nella fig. 6, A e C, che, a sua volta, attraverso i complessi circuiti ben noti, determina l'atto motorio desiderato. L'unica risposta possibile è che questa 'prestazione' rappresenta la tappa finale di una lunga sequenza di sedute di addestramento. L'apprendimento motorio è essenziale per poter eseguire tutte le azioni che implicano una certa competenza, dipendenti dalla corteccia cerebrale, e ciò vale in particolare per le azioni umane (v. Eccles, 1986). Una memoria di un qualche tipo è necessaria per tutte le esperienze e le azioni coscienti.

Un'ultima considerazione a proposito delle frecce che, nella fig. 8, sono dirette verso l'alto, dalla corteccia cerebrale alla mente, per esempio quelle dirette verso la 'percezione' nella parte sinistra della figura. È possibile che la scarica di una vescicola da una griglia vescicolare presinaptica causi un evento mentale tramite un'onda di probabilità quantistica diretta in verso opposto? Dato l'altissimo numero di emissioni vescicolari che avverrebbero nelle aree percettive della corteccia cerebrale, potrebbe verificarsi una sommazione di moltissimi eventi mentali 'unitari' fino al raggiungimento della soglia percettiva.

7. Conclusioni generali.

Un'osservazione di carattere generale è che tutte le ipotesi finora avanzate nel tentativo di fornire una qualche spiegazione di come le esperienze coscienti derivino da, o siano collegate con, eventi neurali si sono concentrate sull'estrema complessità degli eventi neurali che hanno luogo nella corteccia cerebrale attiva; di tal fatta sono le ipotesi avanzate da Feigl (v., 1967) e da Sperry (v., 1976), secondo cui gli eventi mentali sono proprietà configurazionali olistiche del processo cerebrale. Mountcastle (v., 1978) ha elaborato il concetto di 'sistemi distribuiti': sistemi "composti da numerosissimi elementi modulari associati reciprocamente in blocchi disposti in parallelo e in serie", che si pensa forniscano un meccanismo obiettivo di consapevolezza cosciente. Edelman (v., 1978) ha suggerito l'ipotesi che "il cervello elabori selettivamente i segnali sensoriali e le informazioni contenute nella propria memoria in maniera fasica (ciclica) e rientrante, capace di generare le condizioni necessarie per gli stati consci". Szentàgothai (v., *The local ...*, 1978) ha prospettato la possibilità di spiegare scientificamente le funzioni superiori del cervello, compresa anche la coscienza, in termini di "sovrastrutture" determinate da "modelli dinamici". Secondo Eccles (v., *How ...*, 1982) "l'influenza mentale si esercita su un sistema dinamico, estremamente complesso, di neuroni interagenti".

L'alternativa opposta a queste ipotesi 'nebulari' è quella qui proposta, vale a dire l'ipotesi secondo cui il luogo fondamentale dell'azione esercitata sul cervello da eventi mentali non materiali è costituito da singoli microsititi, le griglie vescicolari presinaptiche dei bottoni, ognuna delle quali libera le singole vescicole, in risposta a un impulso presinaptico, in maniera probabilistica. È questa probabilità che si suppone modificata da un'influenza mentale agente in modo analogo a un campo di probabilità quantistico, nella maniera descritta precedentemente. Il modo in cui l'azione efficace a livello dei microsititi viene amplificata dai circuiti nervosi convenzionali dipende dai complessi circuiti presi in considerazione (v. Feigl, 1967; v. Sperry, 1976; v. Mountcastle, 1978; v. Edelman, 1978; v. Szentàgothai, *The local...*, 1978; v. Eccles, *How ...*, 1982). L'ipotesi dei microsititi può essere considerata un tentativo di avviare uno studio scientifico del 'circuito riflettente' di Creutzfeldt (v., 1979), considerato il tramite fra il cervello e il mondo simbolico autonomo della mente (il 2° mondo di Popper ed Eccles: 1977). In contrasto con le ipotesi 'nebulari', l'ipotesi dei microsititi lancia una sfida unica nel suo genere alla neurobiologia molecolare.

Il rapporto tra Mente e Cervello

XXI Secolo (2010)

di Luigi Scoppola

Il rapporto tra mente e cervello

La questione della relazione tra mente e cervello si presenta, fin dalle origini della cultura occidentale, come centrale nell'analisi del soggetto umano. Sul tema si sono sviluppate nel tempo diverse teorie, alcune delle quali si ripropongono nel dibattito attuale. Negli ultimi decenni, infatti, lo sviluppo delle neuroscienze e le avanzate conquiste nella ricerca computazionale stanno proponendo ulteriori nuovi contributi allo studio della relazione mente-cervello, ma gli aspetti soggettivi dell'attività psichica mantengono la questione aperta a diverse prospettive scientifiche e filosofiche.

Da un punto di vista lessicale i termini cervello e mente sono considerati quasi sinonimi. Eppure, se il significato del primo è immediatamente individuabile nell'organo fisico posto nella cavità cranica, la parola mente manca di un correlato oggettivo univoco e si riferisce all'insieme delle attività cognitive di ogni essere vivente che sia dotato di coscienza, pensiero, linguaggio. A rendere complessa la definizione della mente ha contribuito per millenni la parziale sovrapposizione di questa con il concetto di anima, intesa come entità immortale ed esclusiva dell'individuo umano. Solo in epoca moderna, e nel contesto della ricerca scientifica, la concezione del mentale si è svincolata da una visione animistica e la ricerca sulle facoltà del pensiero umano si è sviluppata in una sostanziale continuità con quella sul mondo biologico. Le riflessioni sulle conquiste della genetica e della biologia evuzionistica sollecitano a cercare soluzioni che integrino la mente nei processi naturali, accogliendo il rapporto tra cultura e natura. Eppure nel dibattito sulla questione mente-cervello resta irrisolto un problema epistemologico di fondo che trae origine dalla divisione tra due storiche tendenze del pensiero filosofico, quella unitaria e quella dualistica: la prima negatrice di nette distinzioni fra corpo e anima (o mente), ammettendo quindi la possibilità di ricondurre tutte le attività umane alle strutture fisiologiche dell'organismo; la seconda impegnata a distinguere e contrapporre corpo e anima (o spirito o mente) come due realtà ontologicamente diverse e separabili.

Teorie della mente

Ci limiteremo a segnalare come tra il 19° e il 20° sec. la tradizionale distinzione tra approccio unitario e approccio dicotomico abbia assunto nuove caratteristiche.

Il fondatore della psicoanalisi Sigmund Freud sviluppò intorno agli anni Novanta del 19° sec. una teoria della mente fondata sulla ricerca neurofisiologica da lui condotta e descritta in un saggio sulla psicologia scientifica del 1895 dal titolo *Entwurf einer Psychologie* (trad. it. in *Opere 1892-1899*, 2° vol., 1968). Successivamente superò la concezione rigorosamente fisica del riduzionismo unitario, sostenendo che una localizzazione anatomica dell'esperienza cosciente o la descrizione del meccanismo di attivazione di determinate serie di neuroni, con i metodi di indagine allora possibili, non erano in grado di spiegare le complessità delle dinamiche psichiche. D'altro canto, l'approccio psicoanalitico è intrinsecamente unitario, in quanto considera la mente come un'entità dinamica intimamente connessa e fondata sui processi corporei. Nel pensiero freudiano l'Io è, originariamente, un Io corporeo e il concetto di pulsione e la teoria della sessualità presentano implicazioni biologicamente determinate che sono innate e spingono all'azione.

Come era prevedibile, tuttavia, in un'epoca di entusiasmo scientifico il diffondersi delle intuizioni freudiane sulle caratteristiche del funzionamento della mente e, soprattutto, la teoria dell'inconscio sollevarono difese e opposizioni nel mondo scientifico ed emersero così nuove tendenze che tornavano implicitamente a proporre la dicotomia cartesiana tra *res cogitans* e *res extensa*, concentrandosi su quest'ultima con un approccio unitario riduzionistico.

Si ricorda, tra l'altro, che nel 19° sec. vi era la tendenza a ricondurre tutti i termini e le asserzioni che fanno riferimento a condizioni dello stato mentale ad asserzioni che sono deducibili dall'osservazione del comportamento. Gli psicologi statunitensi John B. Watson e Burrhus F. Skinner hanno il merito di aver scoperto la prevedibilità e la controllabilità dei comportamenti umani attraverso la gestione degli stimoli antecedenti e di quelli conseguenti dell'ambiente esterno, che l'organismo riceve prima di attuare un comportamento o dopo che il comportamento è stato posto in essere. Il comportamentismo esprime la forma di funzionalismo più diffusa e implica il rifiuto più netto della psicologia introspettiva e del soggettivismo. La mente, secondo i comportamentisti, si conosce solo attraverso la descrizione del comportamento della persona.

Negli anni Sessanta e Settanta del 20° sec. la teoria del funzionalismo, sviluppata da Hilary Putnam e Jerry A. Fodor, sosteneva la realizzabilità multipla degli eventi mentali per la quale uno stesso evento può realizzarsi in stati neurocerebrali diversi. Ciò comporterebbe che tale realizzazione possa compiersi in stati e luoghi che

presentano caratteristiche fisiche e chimiche completamente diverse da quelle neurofisiologiche. Ne seguirebbe che gli stati mentali sarebbero come un software che può essere utilizzato in hardware differenti. In termini funzionalistici gli stati mentali vengono visti come una mediazione causale tra input sensoriali e comportamenti di un individuo. Il funzionalismo sostiene che la possibilità di spiegare i comportamenti in relazione a stati interni è legata esclusivamente a elementi fisici.

Nello stesso periodo il cognitivismo si concentrò sulle modalità con le quali un'informazione viene recepita attraverso i sistemi senso-percettivi e quindi elaborata e immagazzinata al fine di renderla disponibile per un'ulteriore utilizzazione. Secondo tale tipo di approccio nel cervello sono presenti tre diversi livelli: il primo e il secondo sono rigorosamente legati a processi neurochimici, il terzo farebbe riferimento alla psicologia del senso comune, che si basa sulla spiegazione delle condotte di altre persone cui vengono attribuite le nostre stesse credenze. La psicologia cognitiva è una scienza multidisciplinare, che si avvale dei metodi, degli apparati teorici e dei dati empirici di numerose altre discipline, tra le quali: la psicologia, la linguistica, le neuroscienze, le scienze sociali e della comunicazione, la biologia, l'intelligenza artificiale e l'informatica, la matematica, la filosofia e la fisica. Il cognitivismo è anch'esso una forma di funzionalismo e sostituisce il comportamentismo, individuando e localizzando alcuni centri specifici del funzionamento della mente e descrivendone i sistemi neurofisiologici che sono competenti sui modelli operativi della relazione corpo-cervello-mente.

Dagli anni Ottanta del 20° sec. le teorie della mente hanno proposto nuovi vertici osservativi. Il filosofo statunitense John R. Searle ha rovesciato l'ottica funzionalista e sottolineato la presenza di un legame tra gli aspetti intrinsecamente semantici del linguaggio e l'intenzionalità degli atti linguistici (*The rediscovery of the mind*, 1992; trad. it. 1994).

Egli sostiene che stati fisici e stati mentali sono esattamente coincidenti e che la differenza tra i due stati è solamente di carattere epistemico e riconducibile a livelli diversi di descrizione. Si parla dunque di sistemi neuronali e di sinapsi in un contesto biologico e di stati mentali in contesti psicologici o culturali. La dicotomia tra mentale e biologico sarebbe superabile attraverso una visione di complementarità tra stati mentali e stati fisici per la quale i primi sono emergenti rispetto ai secondi. La coscienza viene a dipendere causalmente dagli stati neurofisiologici senza però ridursi nel suo essere ontologico allo stato fisico. Secondo Searle le esperienze che un individuo realizza in prima persona possono essere considerate epistemologicamente soggettive, ma sono allo stesso tempo anche oggettive in quanto esistenti, operanti, comunicabili e valutabili. Una particolare considerazione è dovuta al 'darwinismo neurale' di Gerald M.

Edelman, che sostiene una teoria adeguata a spiegare la mente così come si manifesta negli esseri umani; le basi di tale teoria sono nella realtà biologica, negli aspetti evolutivi e funzionali del sistema nervoso e nella vita mentale dell'individuo. L'elemento che caratterizza la vita è la memoria, indispensabile per conoscere e apportare cambiamenti nell'organismo funzionali a superare le sfide dell'ambiente. L'esperienza e l'apprendimento vanno di pari passo con il mutamento organico ed evolutivo e sono essenziali per l'adattamento.

Edelman ha messo a punto una teoria biologica della mente da lui denominata darwinismo neurale o teoria della selezione dei gruppi neuronici (TSGN), proposta per la prima volta nel 1987. Edelman ha iniziato la sua ricerca muovendosi dall'osservazione delle molteplici variazioni dovute ai processi epigenetici riscontrabili nel sistema nervoso e, in particolare, nelle fini ramificazioni neuronali. Il gruppo neuronale è il nucleo centrale della TSGN. Esso è costituito da centinaia o migliaia di neuroni fortemente interconnessi tra loro. Su tale variabilità agisce la selezione che ha tre diversi momenti: sviluppo, esperienza e rientro. Mappe di gruppi neuronali si organizzano sulla base degli stimoli provenienti dal mondo esterno per dare luogo a repertori secondari. Questa struttura di mappe è alla base del funzionamento della memoria, la quale va intesa come processo di ricategorizzazione dell'esperienza. Ne consegue che il sistema nervoso può essere definito come un sistema di riconoscimento che ha il compito di classificare e categorizzare l'intera esperienza sensoriale, per costruire gradualmente nella mente un modello adeguato del mondo circostante. Le esperienze hanno la capacità di allertare gran parte del cervello, in particolare quelle aree interessate alla categorizzazione e alla reazione all'evento. Si pone pertanto la possibilità che con l'esperienza una nuova classe di eventi divenga progressivamente capace di attivare dei sistemi di valore.

La TSGN riguarda l'organizzazione iniziale dell'anatomia del cervello durante la fase di sviluppo. La successiva selezione di schemi di risposta nel corso dell'esperienza costituisce il fenomeno del rientro, cioè il processo di scambio di segnali fra mappe che dà origine a funzioni specifiche del comportamento. Edelman sostiene che è proprio di ogni individuo andare incontro nell'arco della vita a una selezione continua di cellule o di gruppi di neuroni che fanno parte di una mappa o di altre presenti nel cervello. Ne consegue che le funzioni cerebrali si formano secondo un processo interattivo e selettivo continuo che dà luogo a uno schema di gruppi neuronici di ulteriore complessità.

In base a ciò Edelman sostiene che ogni percezione è un atto creativo. Il cervello ha inoltre la caratteristica di poter creare esso stesso mappe di nuove mappe e quindi dare luogo a una segnalazione rientrante capace di modificare e affinare l'esperienza stessa. Di notevole interesse appare il modello della gruppalità che è

presente nel funzionamento delle reti neurali. Le gruppaltà, infatti, hanno la possibilità di realizzarsi attraverso strutturazioni di sistemi e di sottosistemi che portano in sé stessi un principio ordinatore specifico di ogni singola funzione. Nel corso di tale ulteriore organizzazione le reti che si costituiscono in gruppi neuronali vanno incontro a momenti di ulteriore sviluppo in estensione oppure di riduzione, in rapporto, quest'ultima, al fenomeno di amputazione di 'rami secchi'. Esistono valori innati e indispensabili per costruire un mondo che è personale e composto di significati e di riferimenti.

La coscienza di ordine superiore libera l'individuo dalla schiavitù del qui e ora e gli consente di riflettere e analizzare i propri sentimenti, di attingere alla cultura e alla storia e di raggiungere un nuovo ordine evolutivo e una nuova struttura mentale.

Secondo Edelman le scene della coscienza primaria per diventare consapevoli vengono ulteriormente sottoposte al processo di ricategorizzazione che consente la memorizzazione. Esisterebbero due tipi di memoria: una primaria che, attraverso una 'autoelevazione semantica', darebbe luogo a una memoria secondaria di natura superiore.

Lo psicobiologo italiano Alberto Oliverio, nel trattare le basi biologiche della memoria, sostiene che quella a breve termine sarebbe il risultato di un processo di assemblamento funzionale temporaneo di cellule nervose che stabiliscono connessioni reciproche. Qualora il processo si protragga a lungo darebbe luogo alla produzione di nuove e stabili connessioni sinaptiche tra neuroni. Nel caso del potenziamento a lungo termine dell'attività elettrica sinaptica si determina, infatti, una modifica strutturale dei neuroni conseguente ad alterazioni enzimatiche e proteiche che a loro volta trasformano la struttura neuronale di base (il citoscheletro) e stimolano la formazione di connessioni sinaptiche. «Le variazioni delle caratteristiche del circuito nervoso permettono così di registrare l'informazione all'interno di reti neurali. [...] Secondo questa teoria, la mente dipende dall'esistenza di reti in grado di autoorganizzarsi [...]. Da questi cambiamenti della rete neurale deriva l'apprendimento» (Oliverio 2004, p. 231). Il ricordare non implica una semplice fotografia, la memoria viene influenzata in primo luogo dall'emozione, la quale determina importanti modificazioni somatiche che hanno il ruolo di consolidare le esperienze.

Natura dell'emozione

Un notevole contributo alla conoscenza del rapporto tra mente e cervello viene dallo studio di pazienti che hanno subito lesioni fisiche cerebrali.

Il neurologo portoghese Antonio R. Damasio riferisce su un caso clinico, noto nella letteratura neurologica, che ha fornito l'occasione per alcune importanti considerazioni fisiopatologiche (The Descartes' error: emotion, reason, and the human brain, 1994; trad. it. 1995). Si tratta di Phineas P. Gage che, nel 1848, era caposquadra di una impresa di costruzioni e mentre lavorava alla costruzione di una ferrovia fu incidentalmente colpito da una sbarra di ferro che attraversò la scatola cranica per fuoriuscire dall'altra parte. Il rapporto tra lesioni cerebrali e menomazione dell'esperienza emozionale emerse chiaramente dalla relazione neurologica che consentì di individuare con precisione la zona della lesione cerebrale. L'apparente esiguità dei sintomi neurologici, tra i quali era compresa anche la perdita della vista dall'occhio sinistro, si confrontò con un clamoroso cambiamento della personalità. Non vi era più alcun rispetto delle convenzioni sociali, le decisioni erano prese indipendentemente dal proprio interesse, non vi era preoccupazione per il futuro, non un sistema di valori; ma l'attenzione, il linguaggio, la memoria e l'intelligenza erano apparentemente integri. Era presente una lesione delle corteccie prefrontali mentre era conservata l'integrità delle regioni cerebrali deputate al linguaggio e alla funzione motoria (la corteccia motoria e premotoria e l'area di Broca); intatte apparivano anche le corteccie sulla faccia laterale del lobo frontale.

Damasio riferisce inoltre su un caso di meningioma a rapida evoluzione localizzato nell'area mediana del cervello, al di sopra delle cavità nasali e del tetto dell'orbita. Dopo la rimozione chirurgica il paziente presentò un clamoroso cambiamento di personalità: non era più affidabile, si impegnava di meno nelle sue azioni, si imbarcava in operazioni finanziarie rischiose e non era più in grado di decidere o di svolgere un programma. Era compromesso il suo libero arbitrio ed era sopraggiunta la mania del collezionismo. Attraverso tecniche diagnostiche strumentali si evidenziò che erano stati lesi entrambi i lobi frontali e non era più operante larga parte delle corteccie frontali sul lato destro. Il paziente era in condizione di sapere ma non di sentire.

Damasio nega la dicotomia emozione-ragione: la ragione è guidata dalla valutazione emotiva delle conseguenze dell'azione, l'emozione ha la proprietà di influenzare i processi decisionali. La vita mentale si realizzerebbe attraverso il meccanismo dell'utilizzazione di informazioni derivanti dalle strutture nervose preposte all'elaborazione delle risposte affettivo-emotive e allo stesso tempo in relazione con i contenuti della memoria, che riemergono nel momento dell'esperienza.

Per descrivere il legame esistente tra mentale e somatico, Damasio introduce il concetto di 'marcatore somatico'. Tipica, per es., la risposta cardiovascolare a un evento emotivamente coinvolgente con la comparsa di tachicardia, elevazione dei valori pressori e sintomi disfunzionali riferibili anche ad altri apparati.

Inoltre, Damasio sostiene che nel corso di un'emozione sono presenti attivazioni intercorrenti tra diverse regioni cerebrali sia attraverso la via ematica sia attraverso quella neurale (The feeling of what happens. Body and emotion in the making of consciousness, 1999; trad. it. Emozione e coscienza, 2000). Lo studio del caso Gage ha permesso a Damasio di individuare nell'area della corteccia frontale la funzione di mediare gli aspetti emotivi e cognitivi del comportamento. Ulteriori ricerche confermano che la coloritura emotiva propria di una decisione allo stato nascente si pone in relazione con le memorie emotive relative a pregresse esperienze.

Il neurobiologo francese Joseph LeDoux si è attivamente interessato ai rapporti tra struttura cerebrale ed eventi emozionali: l'emozione «può essere definita come il processo attraverso cui il cervello determina o computa il valore di uno stimolo» (2002; trad. it. 2002, p. 286). Può anche essere ritenuta come uno stato mentale accompagnato a variazioni fisiologiche dell'organismo conseguenti ad attivazione del sistema nervoso autonomo, che dà luogo a manifestazioni somatiche tipiche di ogni stato emozionale. Quando i sistemi neurali agiscono in un animale dotato di consapevolezza, si producono sentimenti emotivi coscienti quale, per es., la paura. Le emozioni sono occasionali, non possono essere comandate, sono sempre in rapporto a stimoli esterni e non è possibile esercitare alcun controllo diretto sulla risposte emotive. Inoltre, una volta che sono state provate, divengono il movente di comportamenti futuri per dettare le soluzioni operative al ripresentarsi di emozioni della stessa classe di appartenenza.

Più attento alla struttura dell'emozione lo psicoanalista cileno Ignacio Matte Blanco che, nel saggio sulla biologia dell'inconscio (The unconscious as infinite sets. An essay in bi-logic, 1975; trad. it. 1981), sostiene che questa è per sua natura un fenomeno psicofisico. Nelle sue componenti sono presenti due diversi insiemi di fenomeni: sensazione-sentimento e pensiero. La componente sensazione-sentimento comprende a sua volta due tipi di fenomeni, quelli che spingono all'azione e quelli sperimentati come stato corporeo. Matte Blanco sostiene la grande importanza che assume la relazione tra emozione e pensiero, ritenendo che non possa esistere un pensiero che non abbia un legame con l'esperienza emotiva. Anzi, questa precede il pensiero e ne è 'madre'.

A questo proposito Oliverio (2004) sostiene ancora che alcuni aspetti delle emozioni abbiano un carattere innato. Mentre le strutture corticali del cervello sono prevalentemente implicate nelle attività cognitive, le strutture sottocorticali sarebbero responsabili di comportamenti istintuali connotati da vari contenuti emotivi, in particolare il sistema limbico sarebbe coinvolto in quelle emozioni che fanno parte del sistema genetico. Secondo altri l'amigdala sarebbe coinvolta nella paura e lo stimolo ansiogeno verrebbe convogliato verso il

talamo, registrato poi nella corteccia sensoriale e quindi diretto verso l'ippocampo per essere memorizzato. Un'esperienza emotiva duratura di paura ha sempre una retroazione sul corpo. Il corpo è essenziale per un'esperienza emotiva perché fornisce le sensazioni che danno all'emozione il suo sapore immediato.

LeDoux sostiene che «quando siamo alle prese con un'emozione, vuol dire che sta accadendo qualcosa di importante, forse una minaccia alla nostra vita, e molte risorse cerebrali sono chiamate a occuparsi del problema. Le emozioni sono turbini di attività che mirano tutte allo stesso obiettivo» (The emotional brain. The mysterious underpinnings of emotional life, 1996; trad. it. 1998, p. 309). L'esperienza clinica e chirurgica ha dimostrato, per es., quanto la stimolazione di determinate zone del cervello, in occasione di interventi chirurgici, dia luogo sia a espressioni facciali sia a sentimenti di tristezza, scoppi di pianto immotivato e stato di grande melanconia.

Coscienza ed esperienza di sé

Il problema della coscienza non è univoco. Le neuroscienze al momento attuale non sono in grado di fornire dati sui meccanismi interni del cervello tali da poter spiegare il funzionamento della coscienza e come essa abbia la qualità di emergere dall'attività bioelettrica dei neuroni. Ciò che è possibile attendersi dalla ricerca è l'individuazione nelle strutture del cervello dei correlati neurofisiologici di ciascuna esperienza mentale. Nella consapevolezza che non potrà mai trattarsi di un'equivalenza che abbia il valore di una simmetria funzionale tra struttura neuronale e pensiero.

La Mind science foundation di Sant'Antonio (California) ha sponsorizzato un vivace dibattito, svoltosi presso l'Oxford University nel 2006, su quali siano i migliori correlati della coscienza. Questo dibattito (Koch, Greenfield 2007) dimostra che ogni percepito cosciente è associato a una specifica coalizione di neuroni che hanno un comportamento altrettanto specifico. La coalizione dipende dalla presenza di circuiti di attivazione nel tronco cerebrale e nel talamo. Questi gruppi neuronali specifici sarebbero i mediatori o gli artefici di distinte esperienze coscienti. I neuroni sono parte integrante di vaste reti e solo in quel contesto possono generare la coscienza.

Allo stesso tempo il contributo di altri ricercatori (Parnia 2007) ha messo in evidenza che la coscienza e la mente, in condizione di sospensione della circolazione cerebrale che si determina durante l'arresto cardiaco, continuano a funzionare, mentre si riscontra che l'attività elettrica del cervello è cessata. L'anestesia rinforza l'inibizione sinaptica e riduce l'eccitazione, gli anestetici alterano la proprietà emergente del cervello.

È stato dimostrato che un'enorme popolazione di neuroni tra il talamo e la corteccia scarica transitoriamente e coordinatamente, stabilendo una complementarità di azione tra loro. Tale lavoro di concerto alimentarebbe la coscienza. Reti di neuroni ad ampio raggio si disfano e si riformano in condizioni di coalizione esclusiva per ogni istante di attività. La possibilità di ulteriori avanzamenti della ricerca è legata alla disponibilità di apparecchiature capaci di produrre un'immagine del cervello attraverso la risonanza magnetica funzionale (brain imaging) a tempi brevissimi di risposta, tali da rendere sempre più rispondente l'immagine rilevata all'evento mentale che è in corso di attuazione, fino a trovare la perfetta corrispondenza tra loro.

Tuttavia, al momento attuale la ricerca non ha raggiunto la dimostrazione di come si abbinino simultaneamente fenomeni cerebrali a esperienze soggettive: le associazioni neuronali non creano la coscienza ma sono solo un indice dei gradi di coscienza. Le neuroscienze cercano di comprendere la modalità con cui il cervello condiziona e plasma la mente e in tal senso la posizione filosofica della relazione mente-cervello si confronta con quella neuroscientifica fondata su dati dimostrabili di realtà.

La struttura dell'emozione porta in sé stessa una componente somatica interattivamente e inestricabilmente congiunta con contenuti psichici non definibili e molte volte privi di un comune senso logico. Essa è caratterizzata dalla copresenza e dalla simultaneità di azione di queste due componenti fondamentali.

Memoria

In questi ultimi anni i neuroscienziati e gli psicoanalisti hanno dimostrato interesse per lo studio interdisciplinare della memoria in quanto elemento indispensabile per l'organizzazione strutturale della coscienza e dell'inconscio.

LeDoux (2002) sostiene che le esperienze lasciano il loro segno nel cervello attraverso il registro della memoria, la quale è un prodotto dell'attività sinaptica presente e operante nei circuiti neuronali.

Per la maggior parte delle persone la memoria è la capacità di ricordare coscientemente e di richiamare alla mente ciò che è accaduto nei giorni, nelle settimane o negli anni precedenti. Tale memoria viene definita memoria esplicita o dichiarativa. Tutti i meccanismi dell'esperienza sono da ricondurre a un processo di selezione interna realizzato nella mente mediante una continua costruzione e decostruzione di sinapsi legate al succedersi di esperienze e di condizionamenti provenienti da eventi esterni.

La sinapsogenesi è un fenomeno presente tutta la vita che si estingue solo con la morte. Subito dopo la loro nascita i neuroni cominciano a separarsi, seguendo il loro destino di andare a far parte del rombencefalo, del mesencefalo, del proencefalo e di varie parti del tubo neurale. Questo processo di ordinamento viene assicurato da un particolare tipo di geni (detti omeotici) che controllano e assicurano lo sviluppo dell'ordinamento neuronale.

L'apprendimento è un processo che consiste nel richiamare nella mente quanto, attraverso l'esperienza e la memoria, è transitato nel sistema neuronale. La teoria del neodarwinismo considera parte integrante della coscienza il processo di adattamento sinaptico all'esperienza in rapporto a eventi di sottrazione e di utilizzo di nuove reti neuronali. Il biochimico Eric R. Kandel (2005; trad. it. 2007) sottolinea l'importanza della plasticità neuronale in rapporto al processo di ramificazione degli assoni e di formazione di nuove sinapsi nel corso sia dello sviluppo sia delle fasi successive di apprendimento. La plasticità sinaptica neuronale è presente lungo l'intero percorso delle vie neuronali fino alle implicazioni molecolari presenti nel funzionamento della memoria. La maggior parte delle strutture cerebrali è in grado di apprendere dall'esperienza, l'apprendimento è infatti una qualità propria delle sinapsi e partecipa alle qualità modali di funzionamento dei circuiti neuronali.

Secondo gli psicologi innatisti tutte le capacità umane sono presenti nel cervello, che è fortemente interconnesso, ma restano in attesa di essere selezionate in rapporto alle esperienze di crescita e agli stimoli che vengono dal mondo esterno.

Attaccamento, apprendimento e sviluppo sono aspetti della stessa realtà: i geni, l'ambiente, la selezione e l'istruzione contribuiscono alla strutturazione del cervello e alla formazione del Sé che emerge dal prodotto delle connessioni sinaptiche. Se la plasticità neuronale perinatale con il tempo si arresta, le sinapsi non cessano di modificarsi.

I circuiti cerebrali acquisiscono la loro funzione sulla base dell'attività neurale suscitata dall'ambiente. Altrettanto accade per la memoria la quale, in rapporto alle fasi dello sviluppo, assumerà le caratteristiche di memoria implicita, cioè relativa a esperienze precoci di vita mentale e di relazione con sé stessa e con l'ambiente, immagazzinate in epoca precedente alla comparsa della coscienza. Tale memoria ha sede nell'ippocampo e nelle regioni perippocampali ed è in connessione con i centri corticali olfattivi. I sistemi che funzionano in modalità implicita contribuiscono potentemente ai tratti più caratteristici della persona. La

corteccia prefrontale consente un modulo di processamento specializzato per l'uso del linguaggio, e l'emergenza dell'istanza cognitiva è alla base di una radicale alterazione della struttura del cervello. È infatti lo strutturarsi del linguaggio che conferisce al cervello le sue peculiari proprietà. Il linguaggio, secondo LeDoux (2002), 'impresiosisce' la memoria di lavoro e rende unica la coscienza umana. La nostra consapevolezza cosciente dipenderebbe dalla nostra interpretazione linguistica delle personali esperienze di vita. È noto che il consolidamento del processo di memorizzazione avviene durante il sonno, e soprattutto in questa fase ha luogo la lenta interposizione delle informazioni delle reti neuronali in sede corticale. È stato sperimentalmente dimostrato che nell'ippocampo dei ratti durante il sonno avviene una ripetizione del pattern neurale, come se gli animali stessero sognando i luoghi che avevano esplorato in una fase cosciente, facendo pertanto riferimento a situazioni che nel sogno sono precluse alla coscienza.

Un aspetto importante della memoria riguarda la modulazione dei ricordi da parte dell'emozione. In questo ambito le strutture del sistema limbico giocano un ruolo critico: esistono numerose connessioni tra nuclei sottocorticali e corteccia che consentono a questa un doppio ruolo nei processi comportamentali. Da un lato la corteccia svolge complesse astrazioni in quanto sede di un'elevata attività mentale, dall'altro riceve informazioni dai recettori sensoriali e dai nuclei del sistema limbico e del prosencefalo che sono addetti al controllo degli stati interni e delle emozioni.

La memoria non ha un'unica sede cerebrale ma si situa in diversi nuclei e aree sottocorticali che sono tra loro interagenti. La possibile localizzazione di alcune funzioni non implica che esse dipendano da un'unica regione o che esse rispondano a un rigido determinismo. Si può infatti sostenere che molte delle nostre attività cognitive non si basano su semplici procedure di tipo logico-deduttivo, ma anche e soprattutto su forme di apprendimento tacito in cui possono interferire le implicazioni del corpo, delle emozioni e di altri fattori.

Malattia sinaptica

La psichiatria del 21° sec. (Hyman 2000) si pone numerosi problemi circa la complessità del cervello e la sua interazione con il mondo esterno, ossia quale ne sia la struttura, quale sia l'evoluzione di un processo fisiopatologico che dà luogo a sintomi clinici e inabilità, quale rapporto esista tra psicoterapia e cambiamento dell'assetto neuronale nella considerazione che, dal momento in cui in una terapia si propone una esperienza di apprendimento, questa implichi dei cambiamenti nelle connessioni sinaptiche. Si è potuto dimostrare che anche la psicoterapia, in associazione o meno con i farmaci, produce dei cambiamenti strutturali a livello neuronale. Gli stati mentali sono spiegabili facendo riferimento a complessi pattern di elaborazione delle

informazioni che sono in parte presenti all'interno di determinati circuiti neuronali e in parte nell'interconnessione tra circuiti diversi. Le modificazioni delle connessioni sinaptiche e non delle molecole sono alla base della malattia mentale. Circuiti cerebrali ed esperienze psicologiche non sono cose distinte ma due modi diversi di descrivere la medesima cosa. Talvolta la psicoterapia agisce laddove la farmacoterapia fallisce.

La questione fondamentale non è se la malattia mentale abbia effettivamente un'origine neurale in natura, ma piuttosto conoscere la natura del cambiamento neurale che è presente nei pazienti con problemi psichiatrici.

Gli stati mentali non sono costituiti da molecole isolate o da combinazioni di esse, ma è il pattern di trasmissione all'interno dei circuiti più che le singole molecole a definire tali stati. La psichiatria biologica dà importanza allo stato dei circuiti neuronali, in quanto esisterebbero dei farmaci 'intelligenti' che dalla via orale si dirigerebbero verso i circuiti difettosi. I farmaci avrebbero la capacità di normalizzare in modo selettivo le proprietà chimiche dei circuiti interessati. La psicofarmacoterapia ha certamente compiuto grandi progressi negli ultimi cinquant'anni e molti sono i farmaci oggi disponibili. Il vero problema consiste nel saper dare i farmaci adatti in relazione alle condizioni neuronali che si accompagnano a un determinato fenomeno. LeDoux conclude dicendo che «un'importante sfida per il campo delle neuroscienze è rappresentata dalla scoperta di come manipolare il cervello in modo che pazienti con disturbi mentali possano, da soli o con l'aiuto di un terapeuta, cercare di ripristinare la coesione sinaptica del Sé» (2002, p. 428), anche se il termine manipolazione non può non suscitare alcune perplessità.

Neuroscienze e psicoanalisi

Le acquisizioni recenti delle neuroscienze richiamano nuove attenzioni sull'originaria proposta scientifica di Freud che, nella sua attività di ricercatore e di clinico, si rivolge allo studio della mente partendo da un'attenta e rigorosa osservazione del malato. Freud propone un metodo scientifico, derivato dalla ricerca istologica e anatomo-clinica, per indagare sulla struttura del sistema nervoso e porre interrogativi e proposte nuove sul modello di funzionamento della mente. La psicoanalisi nasce infatti dalla neurologia e ha la finalità di prendersi cura della persona e del disagio mentale che quella persona porta con sé. Allo stesso tempo è una disciplina scientifica fondata sulla premessa dell'esistenza nella mente umana di un mondo inconscio il quale ha una propria logica e che è possibile indagare partendo dall'osservazione psicologica e clinica. Fin dall'inizio del proprio percorso di ricerca, Freud era convinto che nelle varie forme di nevrosi e di isteria non fosse possibile localizzare il disturbo in una sede specifica del cervello. In *Entwurf einer Psychologie* aspirava

a «rappresentare i processi psichici come stati quantitativamente determinati di particelle materiali identificabili, al fine di renderli chiari e incontestabili» (1895; trad. it. 1968, p. 201). Allo stesso tempo avanzava l'ipotesi che i disturbi della persona facessero riferimento a schemi funzionali ricorrenti in grado di assumere un significato patologico specifico. L'apparato mentale appare a Freud come un sistema di relazioni funzionali che deve trovare in qualche modo una propria struttura nei tessuti cerebrali. È del 1926 la nota affermazione: «Data l'intima connessione che vi è fra ciò che distinguiamo in fisico e psichico, dobbiamo ammettere che verrà un giorno in cui [...] si apriranno nuove vie conducenti dalla biologia somatica e dalla chimica fisiologica alla fenomenologia delle nevrosi [...] l'abisso che separa il corporeo dallo psichico continua a sussistere per la nostra esperienza e per i nostri sforzi pratici» (Hemmung, Symptom und Angst; trad. it. in Opere 1924-1929, 10° vol., 1978, p. 398). Traccia così il disegno futuro della psicoanalisi, nel convincimento della necessità di aprire un dialogo tra psicoanalisi e neuroscienze.

Al momento attuale tale dialogo può passare attraverso il confronto e/o la sovrapposizione tra loro di modelli dinamici specifici fondati sull'interazione delle singole parti, prescindendo dall'individuazione di sedi specificamente deputate. Il funzionamento mentale può essere studiato nell'interazione per gruppi di vari sistemi funzionali tra loro organizzati nei tessuti del cervello. Quando si usa in fisiologia l'espressione funzione di un organo si tende a limitare il campo all'aspetto funzionale specifico di quel determinato organo, ma è anche necessario considerare quanto tale singolo aspetto si integri con altri dello stesso tipo e quindi come la funzione di quel dato organo tenda a superare i limiti stessi che le vengono attribuiti per comprendere anche qualità funzionali che sono in comune con altri organi. Per es., la funzione emodinamica del cuore si integra con la funzione respiratoria negli scambi gassosi che sono propri dell'alveolo polmonare e sono contemporaneamente condizionati dal fattore circolatorio che garantisce il flusso di sangue nel polmone. Allo stesso tempo possiamo considerare l'influenza della psiche, che a livello conscio o inconscio esercita il controllo di quella funzione. Si può concludere che i sistemi neuronali assumono una specificità di funzione in quanto sono integrati con altri sistemi. L'attività psichica appare necessariamente integrata con tutti i sistemi che garantiscono la vita. Questa concezione sistemica ripropone il concetto di mente, definito da Searle come proprietà emergente, non soltanto in quanto emergente dal sistema neurale ma anche da un più ampio sistema biologico che coinvolge numerosi altri sistemi tra loro interagenti. La psicoanalisi offre una chiave di lettura che è utilizzabile per molti eventi vitali nei quali è riscontrabile l'interazione circolare di molteplici causalità.

Freud ha sempre fondato le origini del mentale nel somatico. Basti ricordare quanto ha scritto nelle sue opere sulla natura degli istinti, l'Io corporeo, l'organizzazione della sessualità, le perversioni, le afasie, l'isteria,

l'ipocondria. Particolare interesse hanno destato nella cultura psicoanalitica i rapporti esistenti tra memoria e modelli biologici della mente.

Lo psicoanalista statunitense Arnold H. Modell considera del tutto coerente la teoria della memoria formulata da Edelman, secondo la quale questa non è isomorfa all'esperienza ma consiste in una ricostruzione dinamica legata al contesto e stabilita per mezzo di categorie. Tale teoria appare confrontabile con il concetto freudiano di *Nachträglichkeit*, per il quale «la ripetizione di categorie affettive dolorose è una modalità cognitiva essenziale. In questo processo l'apparato motorio del paziente [...] evoca le risposte affettive del terapeuta per trovare una 'corrispondenza' percettiva, allo scopo di costituire una categoria affettiva» (A.H. Modell, *Other times, other realities. Toward a theory of psychoanalytic treatment*, 1990; trad. it. *Per una teoria del trattamento psicoanalitico*, 1994, p. 70).

D'altra parte già il modello edelmaniano della mente fa riferimento all'inconscio freudiano e certamente offre molte aperture a un dialogo con la psicoanalisi, per es. quando si sostiene che «esistono meccanismi inconsci che interrompono e interferiscono con il corso dei pensieri, che noi consideriamo invece chiari e manifesti» (G.M. Edelman, *Bright air, brilliant fire. On the matter of the mind*, 1992; trad. it. *Sulla materia della mente*, 1993, p. 227).

Ma l'inconscio cui si riferiscono i neuroscienziati è di natura diversa da quello freudiano, che è presente e strutturato fin dai primi momenti dell'ordinamento mentale con caratteristiche proprie dell'inconscio stesso e secondo leggi definite che non fanno riferimento a strutture neuronali. Fenomeni di natura diversa, opposta e associata possono essere compresi sotto questo termine. Nella visione neuropsicologica della memoria un'impronta sensoriale creata da un avvenimento esterno può fissare nel cervello una traccia (memoria) priva di ricordi (inconscio cognitivo), e allo stesso tempo un ricordo può rimanere inconscio non quando è dimenticato, bensì quando l'individuo non riesce a recuperarlo e a gestirlo (inconscio psicoanalitico). In altre parole, l'inconscio cognitivo non sa di sapere, mentre l'inconscio freudiano cerca di non sapere. Facile potrebbe apparire la possibile confusione dei due termini tra loro.

Secondo il modello psicoanalitico i processi mentali di cui il soggetto non è consapevole possono essere tali perché rimossi dalla coscienza oppure perché riferibili a epoche dello sviluppo mentale nelle quali non era ancora raggiunta la capacità rappresentazionale della mente. Conseguentemente, tali contenuti non potevano essere oggetto di rimozione ma piuttosto rimanevano inevitabilmente relegati come memorie arcaiche che non sono reperibili dalla coscienza anche se presenti nella mente. I lattanti che ricevono cure adeguate dalla madre

o da un'altra persona costituiscono con questa un legame di attaccamento, che talvolta considera anche oggetti sostitutivi come il prototipo di tutti i successivi legami.

Mentre in passato la psicoanalisi poneva una netta distinzione tra istinti, passioni, eros e affetti, da un lato, e logos, scienza, religione e verità assoluta, dall'altro, oggi, più genericamente, riassume tale distinzione in termini di emozione e pensiero, tenendo conto dei livelli arcaici di funzionamento della mente, caratterizzati da una larga presenza di affetti ed emozioni, che, come tali, vengono ritenuti la cerniera tra il somatico e lo psichico. L'attività neuronale è considerata indispensabile per la formazione delle idee.

Fenomeni psicosomatici

Una considerazione a parte merita la visione attuale delle manifestazioni psicosomatiche.

Il termine psicosomatica è certamente un'espressione ambigua invalsa nella cultura psicologica e medica. È stato usato per definire una realtà teorico-clinica che fa riferimento al problema mente-cervello. Se gli orientamenti epistemologici si spingono verso la considerazione dell'unità indistinguibile dell'essere sé, il termine, al contrario, ne sottolinea la scissione e appare sempre appropriato limitarne l'uso. Infatti, l'edizione del 2000 del Diagnostic and statistical manual of mental disorders IV per indicare complessivamente questo genere di manifestazioni usa l'espressione somatoform disorders.

Da un punto di vista psicodinamico la psicoanalisi, seguendo il pensiero di Freud, pone una distinzione originaria tra due diverse direttrici con le quali interpretare il disagio psicosomatico.

La prima fa riferimento al meccanismo della conversione somatica, per il quale i sintomi somatici sarebbero l'espressione simbolica di un conflitto psichico vietato alla coscienza ma rimosso e convertito (non si sa bene come) in sintomo fisico.

La seconda direttrice fa riferimento alla nevrosi attuale per la quale i sintomi somatici non assumono alcun valore espressivo. Tali sintomi, al contrario, sono indicativi di una risposta automatica a un segnale d'allarme legato a uno stato di impotenza biologica e psichica che fa riferimento a un'epoca iniziale di sviluppo psichico del lattante, dal quale non è stata ancora raggiunta la capacità di astrazione e di simbolizzazione. Tale condizione di incapacità resta abitualmente presente nella mente ma rimossa dalla coscienza per tutto l'arco della vita e si riattualizza nella circostanza di dover fronteggiare nuove esperienze, vissute analogamente a

quelle sofferenze precoci che la mente infantile non è stata in grado di elaborare. Questa seconda condizione di sofferenza si manifesta attraverso l'uso di modalità somatiche legate alla memoria neuronale. Gli ulteriori sviluppi dell'osservazione psicoanalitica e i recenti contributi che vengono dalle neuroscienze tendono sempre più a confermare l'attuale validità della seconda direttrice di riferimento.

Clinicamente possiamo oggi considerare ogni disagio come un'alterazione intrinseca del rapporto tra emozione e pensiero e ritenere che il problema psicosomatico propriamente detto sia correlabile a una patologia degli affetti e a una impossibilità di articolazione di questi con il pensiero. Ne segue che il disagio psicosomatico non è pensabile dalla persona che ne è affetta ma si concretizza come il precipitato di più fattori tra loro interagenti, esterni e interni, biologici, psicologici e intersoggettivi. Questi fattori si costituiscono in un'esperienza di sofferenza vissuta dalla persona e genericamente riferita a organi o sistemi funzionali di per sé indenni. Tale esperienza porta in sé quelle tracce di sofferenze precoci che sono rimaste più o meno nascoste (aree lacunari) in un livello di strutturazione della mente nel quale non è distinguibile il somatico dallo psichico e dall'intersoggettivo. La possibilità di individuare tali aree di sofferenza primaria è resa clinicamente possibile attraverso l'uso di metodologie di intervista che studiano le proprietà linguistiche delle espressioni verbali utilizzate dal paziente nell'enunciazione del proprio disagio.

Questa realtà clinica relativa a una sofferenza della relazione mente-cervello rimanda a modalità arcaiche di funzionamento della mente proprie dei primi mesi di vita. Il neonato, confrontandosi con le sollecitazioni che provengono dal mondo esterno, può essere spinto a ritrovare nella propria mente le tracce mnemoniche delle passate esperienze somatiche e riattualizzare pertanto i percorsi mentali che si sono costituiti in rapporto a situazioni di soddisfacimento e di insoddisfazione, di pieno e di vuoto, di caldo e di freddo ecc., attraverso cui rievocare e portare alla mente il contenuto dell'esperienza stessa e in qualche modo ritrovare il percorso di un'esperienza compensativa.

A tal proposito alcune prospettive di interpretazione possono giungere dalle recenti acquisizioni nel campo delle neuroscienze. Si è messo in evidenza che il cervello umano è dotato di un sistema di neuroni specchio (Rizzolatti, Sinigaglia 2006), localizzato nelle regioni parieto-motorie del cervello, nell'area di Broca e in larga parte della corteccia premotoria e del lobo parietale inferiore. A opera di tale sistema l'osservazione di un'azione prodotta da un altro induce nel cervello dell'osservatore l'attivazione dello stesso circuito nervoso deputato a controllarne l'esecuzione e quindi si produce l'automatica simulazione (denominata simulazione incarnata) della stessa azione nel cervello di colui che sta osservando l'evento, come accade, per es., nel

cervello del bambino che sta osservando la madre. Tutto ciò avviene grazie alla presenza di reti neurali che si costituiscono nel corso della relazione con il mondo esterno (madre o altri oggetti).

Il rapporto di transfert che il paziente può stabilire con il proprio analista, nel corso di un'esperienza psicoterapeutica, induce nel paziente stesso un cambiamento che è conseguente all'esperienza emozionale realizzatasi tra i due protagonisti. Infatti tale relazione, come sopra riferito, porta con sé una componente di pensiero, di tipo prevalentemente inconscio, che si intreccia con le risposte neuroendocrine, specifiche di quella esperienza emozionale. Il rispecchiamento (operato anche dai neuroni specchio) di tali contenuti dalla mente del terapeuta nella mente del paziente induce in quest'ultimo un'esperienza trasformativa sul piano mentale, che si accompagna, nel corso del rapporto terapeutico, a una trasformazione dell'assetto neuronale. Allo stesso tempo la somministrazione di un farmaco, se condotta tenendo presente il ruolo della relazione medico-paziente, oltre a determinare modificazioni della neurochimica sinaptica, offre un sostegno al paziente sul piano dell'esperienza del disagio, grazie a un cambiamento dell'esperienza di autopercepirsi nel proprio corpo e di essere sé.

La difficoltà che il pensiero occidentale ha avuto nel concettualizzare il corpo trova riscontro nell'impossibilità che ognuno ha di afferrare la propria immagine corporea. La percezione del proprio corpo è sempre mediata dall'immagine che gli altri hanno del corpo altrui. Anche l'immagine del corpo riflessa nello specchio non è mai fedele, perché non è sovrapponibile, essendo simmetrica. È lo sguardo dell'altro che dà forma alla propria immagine corporea, che si costruisce e si decostruisce nel continuo rapporto che l'io ha con il mondo esterno. Appare evidente quanto sia ambiguo il senso comune che fa percepire il corpo come un'entità immutabile e autoreferenziale, mentre esso è inafferrabile. È un costrutto simbolico che nasce dal rapporto conflittuale del soggetto con la cultura e la storia del suo tempo. Una riprova della difficoltà che il soggetto ha a immaginare il proprio corpo si ha nel momento in cui esso è malato, perché è proprio attraverso la malattia che si prende maggiormente coscienza del corpo e lo si percepisce come qualcosa di estraneo e ostile.

La prospettiva psicoterapeutica è quella di «far dialogare senza sforzo alcuno il concetto neurologico di 'marcatori somatici' di Antonio R. Damasio [...] con quello psicoanalitico [...] di 'fantasie difensive precoci' di Eugenio Gaddini [...] [cioè] forme rudimentali del pensiero come registrazioni mnestiche di cambiamenti di stati corporei» (Argentieri 2001, p. 148). Infine, per quanto si riferisce al problema del rapporto tra cervello e mondo interno, lo psicoanalista Mark Solms e il neuropsicologo Oliver Turnbull, in un loro contributo (2002; trad. it. 2004), così concludono: «Prima di poter controllare le teorie, dobbiamo stabilire i correlati

neurologici dei concetti metapsicologici che sono a fondamento delle teorie psicoanalitiche» e, si potrebbe aggiungere, di tutte le teorie che affrontano il problema mente-cervello, cioè di rendere oggettivabile ciò che fa parte di una esperienza soggettiva legata al proprio mondo interno.

Il problema della relazione mente-cervello non è risolto né è risolvibile al momento attuale. Appare necessariamente legato ai percorsi evolutivi della specie e dell'individuo, confrontati con le continue nuove acquisizioni delle neuroscienze e con lo sviluppo della tecnica psicoanalitica, che tende ad applicare i fondamenti della propria teoria al trattamento e alla prevenzione del disagio mentale, considerato alla luce dell'interazione esistente tra i tre sistemi fondamentali dell'essere sé che sono appunto biologici, psicologici e intersoggettivi.

In questa rinuncia a una descrizione definitiva e completa del problema, resta valida la riflessione di Pietro Calissano che considera «le attività mentali come proprietà emergenti [...] che pur essendo il frutto esclusivo dell'attività dei neuroni, non ne sono una semplice e diretta espressione funzionale. [...] Le conoscenze che si vanno [...] acquisendo sulle proprietà dei singoli neuroni prospettano una complessità funzionale tale da rendere ancora più imprevedibili funzioni globali come quelle mentali» (2007, p. 374).

La formulazione di proprietà emergente dal cervello resta un concetto che al momento non può rispondere ai quesiti che la teoria freudiana ha lasciato aperti sulla natura dei processi mentali e sulle caratteristiche degli aspetti inconsci, poiché mentre l'esistenza dell'inconscio freudiano come proprietà fondamentale della mente è innegabile, al tempo stesso non può trovare una validazione da parte della ricerca scientifica. Il termine emergente porta in sé un'attribuzione di indefinitezza che ben si addice al 'problema mente-cervello'.

Coscienza

Enciclopedia del Novecento (1975)

di Hans Wagner, Donald O. Hebb, Carlo Loeb

Coscienza

di Hans Wagner

Sommario: 1. Introduzione. 2. Le difficoltà specifiche della teoria della coscienza: a) difficoltà dovute alla pluralità dei metodi; b) difficoltà dovute alla specifica struttura della coscienza; c) principali problemi e controversie. 3. Passi verso la soluzione dei problemi principali: a) la funzione biologica della coscienza; b) la struttura della coscienza non mentale degli animali; c) l'unità psicofisica e la totalità degli esseri viventi; d) conscio, inconscio, subconscio. 4. La coscienza mentale: a) le quattro capacità fondamentali della coscienza mentale; b) l'uomo tra coscienza non mentale e coscienza mentale. 5. La coscienza collettiva. 6. Due problemi specificamente filosofici intorno alla coscienza. 7. Osservazione conclusiva.

1. Introduzione

Una trattazione del problema della coscienza che rispecchi lo stato odierno della ricerca scientifica deve senza dubbio essere centrata sugli aspetti filosofici. Deve però, nello stesso tempo, misurarsi anche con la natura peculiare e i risultati principali dello studio psicologico della coscienza. E siccome in definitiva la coscienza, almeno nella misura in cui è accessibile alla nostra esperienza, è sempre associata a un organismo, dalla cui esistenza l'esistenza della coscienza dipende, ma il cui comportamento è in larga misura diretto e determinato dalla coscienza, una trattazione di quest'ultima deve tener conto anche della natura peculiare e dei risultati principali delle discipline che studiano la coscienza in una prospettiva oggettivizzante e, per così dire, nei suoi aspetti esterni: la fisiologia, la biologia, lo studio del comportamento, la psichiatria (inclusa la psicanalisi).

La necessità di riunire i risultati principali di campi così diversi della ricerca scientifica pone alla trattazione della 'coscienza' un problema oltremodo difficile.

2. Le difficoltà specifiche della teoria della coscienza

a) Difficoltà dovute alla pluralità dei metodi

Infatti, non è assolutamente possibile sommare semplicemente quei risultati: anzi, tra di essi esiste da sempre, e ancor oggi continua, un certo conflitto, che appare talvolta assai grave. La ragione di ciò è da cercare in certi fatti e sviluppi relativi alla storia della filosofia e delle scienze, ma in ultima analisi risale a un fondamentale contrasto di metodi. È noto che quasi sempre, quando conflitti tra posizioni teoriche si basano su una

fondamentale concorrenza di metodi contrapposti, ci troviamo di fronte a un conflitto tra posizioni metafisiche, ideologiche, a un conflitto tra concezioni del mondo. E appunto riguardo alla coscienza è sempre esistito un simile conflitto di ideologie e di concezioni del mondo: sono cioè sempre esistiti concetti di coscienza di impronta empiristica e razionalistica, realistica e idealistica, trascendentale e naturalistica, soggettivistica e oggettivistica, concetti orientati in senso religioso o in senso antireligioso. Ora, mentre per un lato bisogna lasciare aperta la questione di quanto uno studio complessivo della coscienza rispecchiante la pluralità dei metodi sia in grado, grazie ai loro risultati, di mitigare il conflitto delle ideologie e delle concezioni del mondo; dall'altro lato non c'è alcun dubbio che una trattazione adeguata del problema della coscienza deve prendere in considerazione non soltanto i risultati principali derivanti dai vari metodi e il conflitto, sotto certi aspetti rilevante, che tra essi si constata, ma deve anche caratterizzare brevemente i metodi sui quali i risultati si basano, e nello stesso tempo mettere in rilievo i contrasti metodologici che spiegano il conflitto dei risultati.

b) Difficoltà dovute alla specifica struttura della coscienza

La molteplicità dei metodi e i loro contrasti hanno la loro radice non solo nella diversità degli obiettivi a seconda dell'impostazione (filosofica, psicologica, fisiologica, ecc.) - e dunque all'interno dello stesso lavoro teoretico - ma anche, in buona parte, nell'effettiva struttura di quel singolare oggetto che è la 'coscienza'. Questa struttura, opponendo difficoltà notevoli all'elaborazione teorica, è responsabile in non piccola misura della molteplicità dei metodi e dei loro contrasti. La caratteristica fondamentale di tale struttura della coscienza è ben nota: ovunque si presenti all'esperienza, la coscienza è sempre associata alla materia. Noi possiamo dire con tutta la possibile certezza empirica che esistono formazioni materiali sfornite di coscienza: nel campo organico appartengono a tale classe tutte le piante. Del tutto certo è anche che l'uomo è fornito di coscienza, e difficilmente si può dubitare che molte specie animali siano anch'esse fornite di coscienza.

Circa la coscienza umana, così come si presenta sia in generale sia negli individui, possiamo sapere molte cose, perché è la nostra propria coscienza. Ma ci imbattiamo subito in una difficoltà. A rigore, ciascun individuo sa qualcosa (certamente non tutto), in modo immediato, soltanto della propria coscienza; sapere qualcosa della coscienza di altri uomini è difficile e, seppure è possibile, lo è soltanto in modo assai mediato. La scienza ha trovato, è vero, il modo e i mezzi per acquisire, anche su un piano generale, conoscenze circa la coscienza umana; non si tratta affatto, però, di conoscenze immediate, ma di prodotti dell'elaborazione teorica e, in quanto tali, non scevri di quegli aspetti ipotetici che caratterizzano ogni elaborazione teorica che si basi su dati empirici.

Per quanto riguarda la coscienza animale, la situazione è ancor meno soddisfacente. Se difficilmente si può dubitare che nel regno animale la coscienza sia sempre meno sviluppata man mano che si scende verso 'il basso', non sappiamo però se esista un confine oltre il quale la coscienza manchi del tutto e, ammesso che tale confine esista, dove occorra porlo. Abbiamo tutte le ragioni di supporre che, all'interno di quella parte del regno animale in cui la vita è associata alla coscienza, ci siano specie e gradi diversi di coscienza; ma neppure in un solo caso una data specie o un dato grado di coscienza ci sono noti in quanto tali: non possiamo andare al di là di ipotesi analogiche assai malcerte. Nei casi in cui abbiamo motivo di supporre, in certe specie animali, l'esistenza di singole operazioni della coscienza, superiori per un verso o per l'altro alle operazioni della coscienza umana, non possiamo farcene alcuna rappresentazione positiva; e quando abbiamo motivo di ritenere la coscienza animale, per un verso o per l'altro, inferiore, non possiamo fare altro che ricorrere all'analogia con la coscienza umana, immaginando la coscienza animale come, per così dire, una varietà difettosa di quella umana (il che è destinato a rimanere abbastanza vago). Questi dati strutturali basilari della coscienza animale costituiscono la ragione del fatto che la psicologia animale (e la psicologia animale comparata), i cui inizi avevano suscitato grandi speranze, da lungo tempo non progredisce nel modo sperato. E se negli ultimi decenni la psicologia è spesso diventata (anche se per fortuna non in modo esclusivo) teoria e studio del comportamento, la cosa dipende certo, per la psicologia umana, dall'inclinazione odierna verso il neopositivismo; ma, nel campo della psicologia animale trova il suo solido fondamento nei dati strutturali della coscienza animale: gli animali non ci dicono nulla; non ci è possibile scrutare nella loro coscienza; possiamo però osservare quel che ha effetto su di essi (sulla loro presumibile coscienza) e il modo in cui (sempre in base alla loro presumibile coscienza) si comportano. Possiamo così osservare, ad esempio, l'acquisizione di un mutamento (miglioramento) di comportamento di fronte a una certa situazione data, fenomeno che viene denominato, con un termine diventato oggi abituale, apprendimento; possiamo accertare che (qualcosa) è stato 'appreso' e che cosa è stato 'appreso': rimane però fuori dell'osservazione il come è stato 'appreso', almeno finché si suppone, nel processo di apprendimento, l'esistenza di un qualche processo di coscienza. Se la psicologia animale diventa quindi studio del comportamento, una tale scelta è più o meno obbligata; un vero comportamentismo, invece, si dà solo nel caso in cui la psicologia umana si esaurisca, in modo analogo, nello studio del comportamento (v. psicologia del comportamento).

Esiste un'altra difficoltà, altrettanto fondamentale, in cui s'imbatte lo studio della coscienza, e dovuta anch'essa all'effettiva struttura della coscienza; e anche in questo caso non possiamo immaginare alcun progresso scientifico che sia in grado di eliminarla completamente. Consiste nel fatto che la coscienza, se è vero che non è un dato materiale (fisico, chimico o simili), dipende però in modo decisivo, come risulta da tutta la nostra esperienza, da dati materiali (fisici, chimici e simili): si trova associata a organismi viventi, e il corso della sua

vita è determinato in modo decisivo, dall'inizio alla fine, dalla vita e dal destino dell'organismo, del quale è appunto la coscienza. E come la struttura dell'organismo, al quale appartiene, è un prodotto della filogenesi (dell'evoluzione della relativa specie), così anche la struttura della coscienza è un prodotto di un'analoga filogenesi (anche se estremamente difficile da illuminare). Nell'uno e nell'altro caso si pone subito, naturalmente, l'ulteriore difficile questione del come nell'individuo singolo (sia nella sfera della coscienza sia in quella somatica) si delimitino reciprocamente da un lato l'eredità filogenetica e dall'altro l'unicità, vale a dire ciò che non è né ereditato né ereditabile. Vediamo qui contemporaneamente in azione le due leggi seguenti: a) come nella sfera somatica così anche in quella della coscienza la struttura di base passa identica da una generazione alla successiva; b) in ogni individuo la coscienza incomincia da zero, cosicché i genitori non possono dargli nulla del loro sapere e delle loro esperienze, e allo stesso modo l'individuo nulla può trasmettere ai suoi discendenti: con la sua morte, il suo sapere e le sue esperienze vanno definitivamente perdute.

c) Principali problemi e controversie

Se poniamo da una parte la non-materialità della coscienza e dall'altra il suo essere associata alla materia, questa duplicità reca con sé una serie di difficili problemi, il primo dei quali riguarda questa duplicità stessa: non è forse essa una mera apparenza? Non deve forse risolversi in una mera apparenza? Possono davvero i due dati essere pensati come reciprocamente compatibili? È del tutto naturale che un simile problema abbia suscitato, e tuttora suscita, posizioni contrapposte. Tra queste annoveriamo anzitutto quelle che vogliono, più o meno, spiegare la duplicità come una mera apparenza, e a tal fine indeboliscono o eliminano l'uno o l'altro lato del rapporto. Per poter negare l'associazione della coscienza con la materia, si può negare in modo più o meno radicale la realtà materiale (varie forme di spiritualismo e di idealismo); oppure si può tentare, all'inverso, di negare la non-materialità della coscienza, concependo quindi quest'ultima come un mero epifenomeno o come una mera funzione di processi materiali (fisici, chimici, ecc.), soprattutto di quelli cerebrali (materialismo di vecchio e nuovo stampo). Si deve certo all'eccezionale difficoltà del problema se sono emerse siffatte posizioni, più o meno estreme, se sopravvivono in questa o quella forma modificata e raffinata, e infine se il contrasto tra di esse dura tuttora. Se, invece, consideriamo la duplicità non già come una mera apparenza, ma come una duplicità reale, ci troviamo dinanzi a problemi non minori. Come potremo infatti venirne a capo? L'impostazione più decisa e radicale sfocia in un rigoroso dualismo: la duplicità dei dati viene riconosciuta senza riserve. Scompare però in tal modo ogni vera possibilità di riconoscere, tra i due dati, rapporti reali (unilaterali o reciproci): anche il fondamentale rapporto della coscienza con l'organismo cui è associata, testimoniato da tutta l'esperienza, diventa incomprendibile e deve di conseguenza essere negato. Di fronte a un

risultato teoricamente così insoddisfacente, si comprende come di rado l'impostazione dualistica sia stata sostenuta nella sua forma rigorosa. Volendo evitare il dualismo, ma volendo d'altra parte rendere giustizia alla duplicità, ci sono tre tipi principali di approccio teorico alla soluzione del problema.

1. Siccome la fondamentale associazione di ogni tipo di coscienza con un organismo (alla quale non corrisponde un'associazione di tutte le specie di organismi con la coscienza) sembra essere un rapporto di dipendenza unilaterale, allora anche tutto ciò che accade nella coscienza di un individuo vivente potrebbe trovarsi in un nesso di causalità unilaterale (anche se difficilmente accertabile) con ciò che accade nell'organismo, e specialmente nel sistema nervoso periferico e centrale (soprattutto in quest'ultimo). È chiaro che una tale posizione non si distingue molto, nella pratica della ricerca, dalla suaccennata posizione di un materialismo più o meno monistico; rimane tuttavia altrettanto chiaro che nei principî teoretici delle due posizioni esistono differenze degne di nota, e soprattutto la seguente: la posizione di un nesso causale unilaterale può render giustizia alla duplicità fondamentale, almeno nel senso che è in grado di riconoscere e di tener ferme l'eterogeneità e la peculiarità basilari dei processi di coscienza (di fronte a tutti i processi materiali: fisici, chimici, ecc.).

2. Il nesso causale potrebbe essere reciproco: i processi materiali potrebbero cioè mettere in moto o produrre i processi della coscienza e viceversa (all'incirca come i processi ottici dalla periferia al centro ottico del cervello suscitano l'esperienza coscienziale della visione e, inversamente, il fatto coscienziale del desiderio di una delle mele che stanno sul tavolo dinanzi a me suscita il movimento fisico del braccio e della mano che afferra la mela). Questa seconda impostazione ha a suo favore soprattutto il fatto che sembra corrispondere completamente all'esperienza generale che gli uomini hanno quotidianamente di sé. Se tuttavia essa non è riuscita a trovare generale riconoscimento nell'elaborazione teorica della scienza e della filosofia, ciò si deve principalmente a una difficoltà teorica, la quale inerisce del resto anche alle suaccennate posizioni affermanti l'esistenza di un nesso causale unilaterale: come potremo immaginare la possibilità di un influsso causale di fattori e processi fisici su processi di coscienza, e di fattori e processi psichici su processi fisici?

3. La terza impostazione cerca appunto di evitare questa grave difficoltà. Mentre si riconosce non solo la duplicità fondamentale, ma si sottolinea altresì la peculiarità sia della sfera fisica che della coscienza, si nega la possibilità di un influsso causale, o anche solo funzionale, della sfera fisica sulla coscienza e viceversa. Ciò che si ammette è semplicemente un parallelismo più o meno completo tra i processi fisici e i processi di coscienza; per il lavoro di ricerca, questo significa che si auspica un sistema di coordinazioni tra classi determinate di processi fisici e classi determinate di esperienze coscienziali, sistema in cui il rapporto di coordinazione è da intendersi nel senso che ogni volta che nella sfera fisica si verifica l'accadimento A, nella sfera della coscienza si verifica l'accadimento B (la relazione non è necessariamente reciproca); e ogni volta

che nella sfera della coscienza si verifica l'accadimento E, nella sfera fisica si verifica l'accadimento F (anche questa relazione non è necessariamente reciproca). Per la ricerca, questo approccio 'parallelistico' è di grandissimo valore: proibendo, per la spiegazione di un fenomeno in una sfera, il ricorso a fattori e rapporti nell'altra, esso rimanda alla necessità di cercare la spiegazione, e quindi di promuovere la ricerca, in ciascuna delle due sfere: la necessità cioè di condurre innanzi la ricerca coordinando bensì le due sfere, ma in condizioni di autonomia e 'purezza' metodologica.

Un'analisi più penetrante dell'approccio 'parallelistico' richiama l'attenzione su un ulteriore problema fondamentale, un problema che, verosimilmente, è del tutto insolubile. Esso emerge soprattutto in relazione con il moderno studio macroscopico e microscopico del cervello: i sorprendenti progressi in questo settore rendono purtroppo il problema non già più facile, ma ancora più intricato. Noi conosciamo settori sempre più ampi del sistema delle coordinazioni - a livello macroscopico come a quello microscopico - tra il versante fisico e quello psichico dei processi vitali. Noi sappiamo sempre meglio quali siano le corrispondenze, sul versante fisico, dei fenomeni della vita cosciente, nei suoi aspetti normali e sani come in quelli anormali e morbosi; abbiamo imparato a influenzare, modificare e dirigere variamente la vita cosciente per il tramite di stimolazioni fisiche (chimiche, ecc.) del sistema nervoso centrale o periferico, e tutto questo, in parte, già nel corso di esperimenti che secondo ogni apparenza meritano fiducia. E in parte sulla base dei risultati di tali esperimenti, in parte anche grazie ai metodi statistici (dei quali in medicina non si può fare interamente a meno) abbiamo imparato - in modo certo non del tutto soddisfacente, ma tuttavia sorprendente - a contrapporre alle alterazioni e malattie della vita cosciente, attraverso interventi fisici (chimici, ecc.), una terapia in grado di lenire anche se non sempre di guarire (dalla neurochirurgia alla psicofarmacologia). Ma il problema suaccennato non è diventato di più facile soluzione in seguito a tutti questi progressi in fatto di conoscenze e di possibilità di intervento; non solo, ma esso, secondo ogni verosimiglianza, rimarrebbe parimenti insolubile anche se il sistema di coordinazioni tra il fisico e lo psichico, sinora noto solo in parte, ma che i progressi della ricerca chiariscono sempre meglio, finisse con l'essere svelato interamente. È vero che molti studiosi pensano, a questo proposito, esattamente il contrario; né questo è un caso, ma dipende anzi in buona parte dalla struttura metodologica, che necessariamente caratterizza questo tipo di ricerca, e che, altrettanto necessariamente, rende più difficile e oscura la valutazione e l'importanza dei risultati in riferimento al nostro problema fondamentale. Soltanto un'accurata analisi epistemologica può chiarire in qualche modo la situazione. Attraverso tale analisi scopriamo che l'approccio denominato, con cautela teoretica, 'parallelistico' - il quale rende possibile e autorizza, sul piano epistemologico, tutta questa specie di ricerche - nell'effettiva pratica della ricerca non viene mantenuto nella sua purezza soggiacendo sempre di più all'ovvio pericolo del riduzionismo: i fenomeni della coscienza, 'secondo verità' e 'secondo i risultati della

scienza', non sarebbero nulla di diverso dalle loro corrispondenze sul versante fisico; e in vari casi questo modo di pensare riduzionistico va tanto oltre da esprimere la convinzione che i progressi (soprattutto a livello microscopico) nello studio del versante fisico saranno un giorno in grado di spiegare come prodotto (o mero fenomeno) di processi microfisici processi che ancora oggi riteniamo di spettanza della sfera psichica. Poiché la forza esplicativa delle scienze naturali è dovuta in larga misura al pensiero riduttivo, non c'è nulla di più 'naturale' del pericolo di un siffatto riduzionismo. Ma non per questo esso è in alcun modo giustificato: la coscienza, con tutti i suoi fenomeni, ha una struttura categoriale peculiare, univocamente distinta dalla struttura categoriale dell'intera sfera fisica; e se è vero che questa differenza strutturale si concentra in un piccolo numero di differenze categoriali basilari, queste ultime non sono però passibili di alcuna specie di riduzione alla sfera fisica, la quale d'altro canto presenta almeno in parte una struttura esattamente opposta e contraria (per es. spazialità/aspazialità). È possibile naturalmente tentare, come è stato fatto recentemente (v. Dennett, 1969), di semplificare (apparentemente) il problema psicofisico attribuendo alla coscienza i caratteri, certo non fisici, del contenuto e dell'intenzionalità, e ammettendo anche l'irriducibilità, ma affermando nello stesso tempo che la differenza tra la coscienza e i processi fisici (nel sistema nervoso) è semplicemente una differenza tra due modi di interpretazione e di spiegazione (prima a livello personale e poi a livello subpersonale) - con la specificazione che il linguaggio col quale parliamo della coscienza non si riferisce in verità a nulla di reale (è non-referenziale). Questo tentativo di Dennett è ingegnoso, ma può sembrare riuscito soltanto a chi ignori quelle determinazioni fondamentali della coscienza, le quali non hanno - è vero - alcun punto di riferimento sul versante fisico, ma non possono averlo proprio perché costituiscono nella effettiva struttura della coscienza alcunché di completamente nuovo sul piano categoriale: entities che, sotto il profilo meramente fisico, non sono 'nulla'. Questo tentativo, quindi, non fa che eludere il problema. Ma se il pensiero riduzionistico è in torto (e non può non esserlo), e se perciò non è possibile spiegare la peculiarità della coscienza attraverso lo studio del versante fisico, allora il problema risulta effettivamente insolubile: come potrebbero infatti due campi della realtà essere nello stesso tempo da un lato così diversi l'uno rispetto all'altro e dall'altro così strettamente associati?

Come si vede, dall'esame della 'coscienza' scaturisce una quantità di problemi assai difficili. Si tratta, a quanto sembra, di problemi assolutamente basilari, che l'elaborazione teorica della scienza si trova di fronte già nel momento in cui comincia a occuparsi della questione; essi ineriscono evidentemente, per così dire, alla cosa stessa. Ma, in parte, i problemi sembrano derivare dall'elaborazione teorica della scienza, e più esattamente dalla situazione che si verifica inevitabilmente sul piano metodologico: dalla molteplicità dei metodi e dalla loro concorrenza. Ovunque si presentino difficoltà e problemi siffatti, e si rivelino ostinati, ci si aspetta non senza ragione - un certo aiuto da parte della filosofia. Senonché la filosofia non ha a disposizione alcun mezzo

in grado di fornire un aiuto diretto: il suo unico contributo consiste in una certa analisi della situazione sotto il profilo ontologico come sotto quello metodologico. A tal fine essa ha a disposizione tre strumenti: in primo luogo l'analisi logico-formale delle diverse posizioni, delle relazioni logiche che intercorrono tra queste, come anche delle premesse e conseguenze associate logicamente alle posizioni ('se vale la posizione P, allora da un lato deve sussistere questa o quella conseguenza'); in secondo luogo, l'analisi epistemologica e l'esame sia della struttura metodologica dei singoli indirizzi di ricerca sia delle relazioni intercorrenti tra le strutture metodologiche di tali indirizzi tra loro in concorrenza; in terzo luogo, infine, talune indicazioni (non in grado di condurre molto lontano), che può ricavare dai propri tentativi di vedere e di trattare, possibilmente, ogni singolo gruppo di problemi (come in questo caso i problemi della coscienza) nel quadro di una generale costruzione teoretica del mondo. La filosofia, poi, può oltrepassare, in varie direzioni e con esiti propri, i risultati derivanti dall'analisi, dall'esame e dalla comparazione delle conquiste delle singole scienze, ma in linea di principio non dispone che dei tre strumenti di lavoro menzionati.

3. Passi verso la soluzione dei problemi principali

a) La funzione biologica della coscienza

Indipendentemente dalla questione della misura in cui si possano o non si possano risolvere i problemi sopra indicati, bisogna ora tentare di sviluppare - appunto sul loro sfondo, sempre tenuto presente - una teoria della coscienza corrispondente all'odierno stadio della ricerca. Quanto segue valga come primo passo.

L'interrogativo cosmologico-cosmostorico circa l'origine della coscienza nel mondo è un interrogativo che non ammette risposta. Quello circa la funzione originaria della coscienza, al contrario, sembra ammettere una risposta chiara la quale, per essere fornita piuttosto dalle scienze empiriche che dalla filosofia, non per questo presenta minor interesse filosofico. Anticipando, il suo nocciolo è il seguente: come la dotazione somatica delle specie animali è comprensibile soltanto quando vien considerata come un meccanismo, acquisito filogeneticamente, avente lo scopo di assicurare la conservazione - più breve o più lunga, a seconda del tempo occorrente al raggiungimento della maturità riproduttiva - degli individui e della specie, allo stesso modo anche in quelle specie viventi che nella loro filogenesi hanno acquisito una qualche forma di coscienza, quest'ultima, originariamente, non serve a nient'altro che a un miglioramento del loro 'adattamento', cioè alla necessaria conservazione degli individui e delle specie; essa rappresenta un'acquisizione biologica di importanza assolutamente straordinaria. Nel seguito utilizzeremo un frammento della corrente teoria dell'apprendimento, andando poi al di là di essa. Se un essere vivente (anche, ad esempio, un lombrico),

quando giunge alla biforcazione di un tubo a T, svolta regolarmente non più a sinistra, dove viene colpito ogni volta da una scarica elettrica, bensì a destra, dove trova nutrimento e adeguata protezione, è perché deve avere 'appreso' un tale comportamento. E, se lo ha appreso, ciò significa che, nel momento in cui giunge alla biforcazione, dispone di un qualcosa che determina la sua 'scelta' nel senso per lui biologicamente favorevole. Ora, per biologicamente favorevoli che possano essere le condizioni dell'estremità destra del tubo, esse non possono, dato che non si verificano nel punto in cui l'animale si trova, determinare il suo comportamento. Così come la situazione è costruita, il suo comportamento (la svolta a destra) può essere determinato soltanto da qualcosa che ha luogo in quel dato momento ed è presente in lui stesso, e ciò perché ha compiuto (ripetutamente) le suddette esperienze. Il comportamento non è certo determinato da qualcosa che non ha luogo in quel dato momento, e non può perciò essere sperimentato, bensì da qualcosa che l'animale ha (temporalmente) dietro di sé, ma che è (ancora) operante in lui. Ora, per la nostra attuale riflessione è del tutto indifferente che, nel caso del nostro animale può trattarsi, come dicevamo, di un lombrico), si voglia vedere questo fattore in una condizione acquisita riguardante unicamente la sua dotazione fisiologica, ovvero si voglia attribuire al nostro animale una qualche forma di coscienza, sia pure povera e rudimentale. Il nostro attuale interrogativo è infatti limitato a quest'unico punto: quali sarebbero le conseguenze sul suo comportamento nella situazione data 'se' il nostro animale facesse le proprie 'esperienze' dotato di una qualche forma di coscienza. Ora: a) esso non avrebbe soltanto provato dolore o piacere, ma oltre a ciò avrebbe avuto in sé, nell'uno come nell'altro caso, una qualche 'immagine' delle situazioni; b) potrebbe quindi (alla biforcazione) avere a disposizione riproduzioni di quelle 'immagini'; c) mentre è impossibile che le condizioni che si verificano alle due estremità del tubo operino sull'animale al momento della svolta, ed è perciò impossibile che determinino la sua 'scelta', questa potrebbe essere resa possibile dalle immagini riprodotte. Avremmo in realtà a che fare senz'altro con la funzionalità biologica della coscienza, ed è questo che qui ci interessa. E possiamo vedere subito che si tratta di una funzionalità di importanza relevantissima, giacché l' 'apprendimento' (cioè l'acquisizione di un comportamento biologicamente funzionale), quando si tratta di un apprendimento attraverso la coscienza e per mezzo di 'immagini', risulta enormemente abbreviato e straordinariamente accelerato. E, nella stessa misura in cui si accelera l'apprendimento di qualche cosa, aumenta considerevolmente ciò che può venire appreso in un unità di tempo. Questo enorme guadagno (per così dire quantitativo) dal punto di vista della funzionalità si basa naturalmente sul fatto che si tratta in realtà di qualcosa di qualitativamente nuovo, della conquista di qualcosa di nuovo e di superiore sul piano categoriale.

Per grande che sia in un animale la differenza, anche dal punto di vista categoriale, tra il tipo di coscienza e il tipo di dotazione fisica (somatica), rimane però certo che per l'animale la funzione originaria della coscienza è

quella di un 'aiuto per la vita', di un enorme contributo all'attrezzatura biologicamente funzionale di quegli esseri viventi che ne siano diventati partecipi nel corso della loro filogenesi.

Nel seguito dovremo tenere continuamente presente il fatto che esiste da un lato la coscienza non mentale (degli animali) e dall'altro la coscienza mentale (degli uomini). Quest'ultima è contraddistinta da alcune caratteristiche categoriali nuove, sulle quali torneremo più tardi; in forza di tali caratteristiche la coscienza (umana) si apre a certi interessi 'superiori', tali cioè da oltrepassare la cerchia dei meri interessi vitali degli individui e delle specie viventi. Questa circostanza non toglie però nulla al fatto fondamentale che la funzione originaria della coscienza nell'animale e nell'uomo rimane quella di essere, nell'accezione suindicata, un 'aiuto per la vita'.

b) La struttura della coscienza non mentale degli animali

L'animale esiste nel mondo, nella luce e nel buio, sulla terra, nell'acqua e nell'aria, circondato da una materia organica e inorganica; vive di ciò che esiste nel mondo; dal mondo si procura, in modo più o meno attivo, ciò di cui ha bisogno. Nel mondo sperimenta il pericolo, ma trova anche protezione; subisce il mondo, ma contribuisce anche a formarlo, sia pure in minima parte. Questi processi sono in gran parte regolati ab antiquo dal patrimonio ereditario della specie, da meccanismi utili alla conservazione, sviluppati e sperimentati nella selezione, da riflessi e istinti. In tutto ciò la coscienza come tale non è in gioco. Ma non appena questa fa la sua comparsa, l'animale impara a distinguere le cose che sono nel mondo insieme con lui, e delle quali i suoi organi sensoriali gli forniscono una quantità di impressioni: oggetti, piante e animali del proprio ambiente, condizioni, avvenimenti, il luogo dove cerca e trova il cibo, il pascolo, i luoghi di cova, il rifugio invernale, la tana per la notte, il nido, ecc. Non si limita più a reagire agli stimoli fisici; possiede un frammento di coscienza di ciò che lo stimola e a cui reagisce, e ce l'ha, per così dire, dinanzi a sé nel proprio interno. Ha imparato a distinguere, ha in sé immagini, di tipo aspaziale, di ciò in cui si imbatte nel mondo spaziale.

Sono tre le acquisizioni decisive alle quali perviene in tal modo l'animale. Anzitutto, un enorme accrescimento dei contatti con il mondo circostante: anche ciò che è meno vicino spazialmente e, in generale, anche ciò che non può stimolare per via direttamente organica viene recepito insieme col resto; e anche dalla fonte di stimoli direttamente organici l'animale può ora recepire e distinguere, divenendone 'cosciente', qualcosa di più dello stimolo stesso: nasce un intero mondo di sensazioni e di immagini. Se A. Gehlen (v., 1942) ha ragione, la quantità di immagini risultanti dai gradi superiori di coscienza conduce addirittura a un 'inondazione di stimoli di proporzioni tali da rendere necessari meccanismi di sgravio per la coscienza. In secondo luogo, la coscienza è a un tempo coscienza in grado di conservare: si rende cioè possibile la riproduzione delle

immagini. Diventa così disponibile per l'animale una parte dell'ambiente sempre più ampia di quella da cui proviene il singolo stimolo, e gli elementi di cui può disporre in questo modo sono non di rado più utili (per es. segnalando un pericolo imminente) di quelli che gli vengono sul momento da una data fonte esterna di stimoli. È così possibile raccogliere la propria 'esperienza di vita', e accrescere e ampliare la propria capacità. In terzo luogo, diventa ora possibile una maniera di cercare e acquisire qualità idonee alla vita che risulta immensamente superiore a ogni procedimento non cosciente 'per prove ed errori': l'animale è infatti in grado di trovare o di apprendere ciò di cui abbisogna nel momento in cui il bisogno si manifesta.

Tutto ciò è ancora e sempre limitato alle esigenze del padroneggiamento della vita e della conservazione dell'esistenza. E null'altro, propriamente, che il rovescio di questo fatto noi constatiamo quando possiamo osservare che quei processi vitali, per i quali la coscienza sarebbe superflua o addirittura un fattore di disturbo, di regola non sono accompagnati dalla coscienza.

L'esistenza degli animali dipende da un tale numero di condizioni esterne, sulle quali essi non hanno potere, che vivono sempre sotto una minaccia imminente, anche quando non si trovino in una condizione di bisogno o di pericolo: non possono perciò essere indifferenti verso il proprio ambiente. Questo non significa altro che essi sono necessariamente forniti di specifici impulsi e tendenze: nei confronti di ciò che può giovare come di ciò che è fonte di danno e di pericolo. Originariamente, tali impulsi e tendenze non hanno nulla a che fare con la coscienza; ma il campo di ciò che può costituire, in ogni singolo caso, il loro oggetto viene enormemente accresciuto dalla coscienza, con la sua sovrabbondanza di impressioni e di immagini. Ma non di mero accrescimento si tratta quanto piuttosto della nascita di una specie nuova di possibili mete degli stimoli, tali cioè che non possono operare direttamente, in quanto assenti momentaneamente dall'ambiente, ma che compaiono e motivano l'animale perché questi ne reca l'immagine in sé: gli impulsi nascono quindi dalle immagini interne. E nuovamente, se A. Gehlen ha ragione, il fatto che molte di tali immagini abbiano la forza di motivare e di suscitare impulsi provoca una tale abbondanza di impulsi mutevoli e spesso contraddittori, che si rendono necessarie nella coscienza stessa misure preventive di sgravio, le quali riducano l'eccesso degli impulsi a una quantità utile e sopportabile; in forza di tali misure, da un lato una gran parte degli impulsi deve diventare indifferente e priva di interesse, e dall'altro certe motivazioni debbono poter diventare dominanti (senza di che la domesticazione non sarebbe assolutamente possibile).

Con la coscienza entra nel mondo qualcosa di radicalmente (categorialmente) nuovo; questo qualcosa, se da una parte è associato all'organismo (e dunque alla materia e allo spazio), non è d'altra parte ad essi riconducibile: non è in sé nulla di materiale o di spaziale. Quest'asserzione, meramente negativa, potrebbe essere contestata da un punto di vista materialistico, se un'osservazione più ravvicinata della struttura

categoriale della coscienza non rivelasse nuove caratteristiche, antitetico a ogni elemento spaziale-materiale-organico. Di tali caratteristiche tratteremo ora brevemente.

Come ogni realtà, anche la coscienza è qualcosa di temporale-processuale; esiste nel tempo reale che la comprende, e solo in quanto soggetta a un mutamento incessante: l'espressione 'flusso di coscienza' è quindi pienamente espressiva e del tutto legittima. La coscienza, però, è simultaneamente esperienza vissuta di temporalità, coscienza temporale, e ciò in modo, almeno in parte, assai autonomo. Noi non abbiamo un orologio interno, come ha detto una volta O. Bumke. La coscienza temporale è coscienza di un tempo e di un ritmo mutevoli: tempi oggettivamente eguali possono essere vissuti come notevolmente diseguali. Il flusso di coscienza ha, in parte, un proprio ritmo naturale ed endogeno (vivacità, stanchezza; veglia, sonno) e ha le proprie specifiche anomalie (sogno, ipnosi, allucinazioni) e forme morbose; e ha infine gradi variabili di chiarezza. Mentre in sé, come ogni realtà, la coscienza si muove nel tempo in modo rettilineo, nella sua intenzionalità essa si mantiene liberamente mobile - nei confronti del tempo oggettivo - tra il presente oggettivo, il passato oggettivo (memoria, ricordo) e il futuro oggettivo (previsioni, preoccupazioni, programmi). Questa libera mobilità della coscienza intenzionale dipenderà naturalmente dal grado di differenziazione della rispettiva coscienza; al pari di quest'ultimo, anche la libera mobilità può differire notevolmente da specie a specie. Anche il ritmo dell'esperienza vissuta del tempo è, certamente, spesso diverso a seconda della specie; dovrebbe essere di norma una funzione della durata media della vita nelle diverse specie. Non v'è alcun dubbio che la coscienza temporale procura agli esseri viventi una sorta di trionfo sul tempo reale, una sorta di dominio del tempo e dell'accadere, che rappresenta una conquista enorme ai fini del padroneggiamento della vita. L'essere associata a un organismo significa, per la coscienza, essere contemporaneamente associata allo spazio, essere limitata all'ambiente; ma lo spazio vissuto nella coscienza non coincide affatto con lo spazio oggettivo, che l'essere vivente stesso occupa: entro l'ambiente la coscienza, nella sua intenzionalità, ha nei confronti dello spazio una libera mobilità analoga a quella che ha nei confronti del tempo. E come contribuisce in modo sostanziale al padroneggiamento della vita, così la coscienza spaziale dipende anch'essa dalla specie: non è affatto identica in tutte le specie ed è lungi dall'essere 'oggettiva' (prospettiva rettificata solo con l'esercizio, necessità di riferirsi al luogo che di volta in volta si occupa, diminuzione di omogeneità e di continuità, mancanza di isometria).

Il carattere individuale della coscienza è cosa unica. È vero che normalmente la struttura della coscienza, come la struttura dell'organismo, si tramanda in ciascuna specie di generazione in generazione: ed è anche vero che ogni organismo ha la propria nascita individuale, la propria vita individuale e la propria morte individuale; ma è sotto un profilo determinato che il carattere individuale della coscienza presenta una qualità unica: ogni coscienza è rigorosamente isolata da ogni altra coscienza; è rigorosamente privata; l'individuo

costruisce il proprio mondo di 'immagini' prescindendo dall'eredità dei genitori, cominciando da zero; e insieme con lui il suo mondo di immagini, non ereditabile, si dissolve. Non esiste al mondo processo reale che, al pari della storia di una coscienza, sia così del tutto privo tanto di una preistoria come di una storia successiva.

È vero che la coscienza è in misura decisiva orientata verso l' 'esterno' e che, riguardo ai suoi contenuti, viene determinata in massima parte dall' 'esterno'; ma si conferma nello stesso tempo anche qui l'autonomia della coscienza: qualunque sia l'elemento di cui diventiamo coscienti, esso entra in una certa disposizione della coscienza, in un certo stato di umore, in una certa costellazione di tendenze, in un certo grado di chiarezza e vigilanza della coscienza: soltanto nella totalità della coscienza esso diventa capace di esistere e di agire. Che questo valga già per l'attimo in cui avviene l'ingresso nella coscienza, è cosa nota da lungo tempo grazie ai risultati della psicologia della forma; ma vale anche per l'intero successivo destino dei contenuti entrati nella coscienza: mai, neppure nell'ambito della propria ricettività, la coscienza è soltanto ricettiva; ciò che essa integra in sé lo integra secondo le sue proprie leggi generali, secondo la propria individuale impronta, il proprio individuale destino, secondo la propria situazione globale, così com'è data di volta in volta. E anche le immagini del mondo e le immagini dell'ambiente, persino là dove c'è obiettivamente eguaglianza - o quasi - di ambiente, sono non soltanto considerevolmente diverse da specie a specie, ma differiscono anche, entro la stessa specie, da individuo a individuo. Finché la coscienza è solo coscienza (cioè coscienza non mentale), non esiste un mondo identico per le specie viventi e per i singoli esseri viventi.

L'autonomia e l'originalità della coscienza è infine documentabile anche in un altro complesso di fenomeni: il settore delle anomalie e malattie specifiche della coscienza. Senza dubbio, solo da pochissimo tempo stiamo imparando, lentamente, a comprendere questo settore nelle sue caratteristiche particolari. Se da una parte è vero che facciamo considerevoli progressi sia nella conoscenza della dipendenza di queste specifiche anomalie e malattie dalla sfera somatica che nel loro trattamento clinico (la microfisica e la microchimica renderanno possibili ulteriori progressi in questa direzione), d'altra parte in questo settore viene alla luce con chiarezza affatto particolare la fondamentale eterogeneità della coscienza (con le sue capacità e i suoi difetti). Quelli che, in modo assai sommario e impreciso, vengono spesso contrassegnati come fenomeni di disgregazione della personalità e come alterazioni della vita mentale, costituiscono per lo più, essenzialmente, la disgregazione più o meno estesa di quei domini e di quelle funzioni della coscienza nei quali appare in modo particolarmente chiara la diversità categoriale e la fondamentale autonomia della coscienza stessa nei confronti di tutta la sfera somatica.

c) L'unità psicofisica e la totalità degli esseri viventi

Sulla base delle chiarificazioni date finora, possiamo ormai chiederci in che misura sia possibile chiarire il cosiddetto problema psicofisico: il problema del rapporto tra corpo e coscienza, sistema nervoso (centrale) e coscienza. Volendo caratterizzare le principali posizioni odierne per mezzo del concetto filosofico di sostanza, esse risultano le seguenti: la posizione oggettivista (e più o meno materialistica), che concepisce come sostanza solo il somatico, mentre tende a ridurre la coscienza al rango di un epifenomeno o di un accidente; le cosiddette teorie dell'influsso reciproco che sono definite da un modello di due sostanze che si influenzano reciprocamente; il modello delle due sostanze è non meno determinante anche per la teoria del parallelismo, solo che tale posizione parte da un'eterogeneità così radicale delle due sostanze da escludere ogni relazione di causalità (sia unilaterale che reciproca) e da ritenere pensabile unicamente una coordinazione fra ordini paralleli. Ora, è proprio il modello delle sostanze (in tutte le sue varianti) che rappresenta, per il nostro problema, l'errore di fondo. È evidente che bisogna piuttosto ragionare in questo modo: tra i vari tipi basilari di formazioni che si trovano nel mondo c'è quello dell'organismo dotato di coscienza, il quale è, essenzialmente, una formazione totalmente integrata. Non dobbiamo lasciarci confondere, circa questo punto, da abitudini di pensiero derivanti dalla storia della filosofia e della scienza e confermate (effettivamente o apparentemente) dai nostri metodi di ricerca. Ciò che ci sta effettivamente davanti e che finora, evidentemente, ci è riuscito difficile comprendere, è il fatto di avere a che fare con due diversi strati di realtà, che si collegano però in modo tale da formare in tutto e per tutto una unità. Ed è solo questa unità in quanto 'totalità' che può sperimentare il proprio modo di esistere nel mondo e gli influssi che le vengono dal mondo, e che può a sua volta influire sul mondo. Ciascuna di queste due relazioni è 'psicofisica', e ciò risulta vero in ogni caso singolo. Tutto ciò che è somatico (prendiamo per esempio un colpo su una spalla) è anche psichico (l'essere vivente viene infatti colpito nella sua totalità categorialmente stratificata); e tutto ciò che è psichico (ad es., l'angoscia al pensiero di correre il pericolo di perdere il posto di lavoro o il coniuge) è anche somatico (anche in questo caso, infatti, l'essere vivente viene necessariamente colpito nella sua totalità categorialmente stratificata). E neppure si verifica che la prima volta il somatico agisca sullo psichico e la seconda lo psichico sul somatico; ogni subire e ogni agire di un organismo di coscienza è psicosomatico. La ricerca psicosomatica (soprattutto nella medicina teorica e in certi rami della medicina pratica) è quindi un progresso fondamentale. Se cionondimeno essa incontra, in parte a ragione, un forte scetticismo, questo non dovrebbe riguardare in nessun caso la sua idea di fondo, anche se, d'altra parte, l'elaborazione teorica (e di conseguenza anche la pratica, col suo procedere a tatonni) presenta carenze considerevoli. Sarebbe necessario riconoscere che all'idea della psicosomatica si deve collegare un riorientamento teorico piuttosto radicale, che abbisogna da un

lato di chiarificazione e di certezza sul piano epistemologico e filosofico, e dall'altro di ricerca empirica ponderata ma ostinata: un campo attraente quanto urgente di lavoro di ricerca interdisciplinare.

d) Coscizio, inconscio, subconscio

In modo affatto analogo starebbero le cose in un altro ambito di problemi, quello del rapporto tra la coscienza e ciò che ci si è abituati a designare come subconscio. È un ambito di problemi che non ha certo ricevuto, nelle forme finora assunte dalla psicanalisi teorica, una chiarificazione teoricamente soddisfacente, e che anzi non potrà mai essere trattato con successo solo attraverso la psicanalisi teorica, senza cioè una collaborazione interdisciplinare. Due punti sembrano anzitutto abbisognare di una parziale revisione e, in ogni caso, di un approfondimento teorico. Si tratta in primo luogo delle questioni accennate a proposito del rapporto psicosomatico (a questo riguardo la psicanalisi teorica sembra oscillare tra una concezione invecchiata del rapporto corpo-psiche e approcci più recenti, e sembra voler operare una mescolanza di fattori teoricamente incompatibili, nel tentativo certo lodevole, ma poco promettente dal punto di vista teorico, di adattare nella misura più larga possibile certi dogmatismi di scuola a vedute nuove). Alcune differenziazioni nel dominio dell'inconscio e/o del subconscio possono aiutare a fare qualche passo avanti, per condurre infine alla seconda revisione che l'odierna psicanalisi teorica dovrebbe porsi come compito. Si dovrebbe distinguere chiaramente: a) ciò che è stato vissuto coscientemente in passato, ma di cui non si ha ricordo nel presente, e rimane tuttavia, in linea di principio, richiamabile alla memoria; b) ciò che preme per oltrepassare la soglia della coscienza, diventa magari in un modo o nell'altro operante, ma rimane fuori del cerchio dell'attenzione, cosicché può passare del tutto inosservato; c) ciò che è stato vissuto coscientemente in passato, ed è ora - forse per sempre - dimenticato, ma rimane operante nella coscienza, determinando o contribuendo a determinare inconsciamente abitudini cognitive, atteggiamenti valutativi e affettivi e complessi di motivazioni; d) le azioni cosiddette inconscie, che possono avere cause esterne alla coscienza, ma anche motivazioni interne a questa, coperte però da altri contenuti di coscienza; e) operazioni della coscienza o operazioni guidate dalla coscienza, che finiscono con l'essere apprese così bene da poter essere eseguite senza l'accompagnamento della coscienza (sgravio della coscienza attraverso l'automatizzazione, che la coscienza stessa si procura); f) contenuti e processi parziali che rimangono 'inconsci', come ad esempio quelli che, nel lavoro mentale e soprattutto in quello artistico, non accedono alla coscienza, 'incatenata' alla rappresentazione del progetto nella sua totalità o della meta da raggiungere, ma vengono per così dire 'saltati'; g) la rimozione semicosciente di elementi coscienti (immagini, pensieri, desideri, ecc.) dalla coscienza in base a motivi rimoventi semicoscienti; in questo caso si possono verificare fenomeni somatici, fisici o psicosomatici (sia normali che patologici) che rimangono enigmatici, in quanto è difficile scoprire il nesso con la rimozione e i suoi motivi. Ora, bisogna

tener ben presente questa molteplicità di tipi di inconscio e/o subconscio, per poter identificare il tipo di cui la psicanalisi si occupa in prevalenza, se non in modo esclusivo.

Si direbbe proprio che già a questo riguardo sia necessario fare qualche precisazione. Ci sarebbe anche di grande aiuto poter riconoscere in modo realmente sicuro in qual misura effettivamente si verifichi una particolare rimozione (che faccia temere l'insorgere di future nevrosi) in luogo di un processo nel quale, col passare degli anni, i contenuti coscienti pericolosi perdano semplicemente la loro importanza e vengano quindi dimenticati in modo naturale e 'sano' (in altre parole: per quanti di noi sono effettivamente validi i teoremi psicanalitici sulle nevrosi?). E infine anche qui si pone - come nel caso della psicosomatica - un problema teoretico-categoriale al quale - di nuovo, come nella psicosomatica - difficilmente si può dare una soluzione davvero soddisfacente senza una collaborazione scientifica interdisciplinare.

Basta sottoporre ad un'analisi un po' più stringente i principali concetti teorici della psicanalisi (dall'Es all'Io al Super-Io, dalla censura alla rimozione, dalla formazione dei simboli alla sublimazione, dall'identificazione alla proiezione), per vedere che un'elaborazione teoretica soddisfacente non è possibile se non si affrontano in modo nuovo due problemi. Anzitutto quello di tener conto in tutta la sua portata del fatto che la 'psiche' umana, la coscienza umana - così come la coscienza non mentale (degli animali) - è soggetta, riguardo alla sua funzione originaria, alla fondamentale legge biologica dell'idoneità alla vita, e nello stesso tempo, in quanto coscienza mentale, dotata di mente, ha però tutta una serie di caratteristiche categoriali radicalmente nuove che, a proposito di ogni problema che riguardi l'uomo, obbligano a porre l'interrogativo: che cos'è la 'psiche' e che cosa la 'mente'? E come per la psicosomatica si poneva la questione del modo in cui bisognasse pensare il rapporto tra somatico e coscienza, così alla psicanalisi teorica si pone, ulteriormente aggravata, la questione: come si presenta, entro la totalità integrata dell'essere vivente 'uomo', il rapporto tra i tre gruppi categoriali: quello del somatico, quello dello 'psichico' e quello del 'mentale'? (Si veda anche inconscio e psicanalisi).

4. La coscienza mentale

Consideriamo ora la struttura categoriale della coscienza mentale, dotata di mente. Anche l'approccio scelto a questo riguardo preferirebbe attirarsi il rimprovero di essere troppo empirico che quello di essere troppo filosofico. Partiamo quindi dal fatto che esiste nel mondo una specie unica e molto particolare di esseri viventi - quella degli uomini (homo sapiens) - la quale, come si può osservare, presenta certe capacità, che le sono peculiari in modo esclusivo. L'etichetta 'mente' (o 'ragione', 'intelletto', e simili) non è altro che il nome adoperato per queste specifiche capacità; non trattandosi assolutamente di capacità somatiche (come la

stazione eretta e simili), sarà consentito l'uso di tale etichetta o di quella di 'coscienza dotata di mente' o 'mentale'; l'etichetta deve, in primo luogo, abbracciare ciò che è omogeneo e la cui omogeneità è chiaramente intelligibile; e, in secondo luogo, deve contrassegnarlo nella sua irriducibile peculiarità. L'etichetta 'mente' o 'coscienza mentale' designerà quindi un caratteristico e in sé coerente fascio di capacità umane: il termine 'mente' ('intelletto', 'ragione') non ha nulla a che fare con uno 'spettro nella macchina' (v. Ryle, 1949, pp. 15-16) e non offre alcun appiglio a un dualismo metafisico (sia questo sensato o insensato). Rispetto alla coscienza non mentale, la coscienza mentale ha in più qualcosa di fundamentalmente - categorialmente - nuovo. Si tratta di determinate capacità, determinate possibilità; che cosa, e specialmente quanto di tali capacità e possibilità sia effettivamente attualizzato nella vita dell'umanità, dei gruppi e dei singoli, cosicché le potenzialità esistenti in linea di principio vengano effettivamente messe in opera, è cosa che dipende da circostanze di vario genere; la coscienza mentale non ha la fortuna di essere una mente liberamente fluttuante, autarchica, pienamente autonoma: essa può attualizzarsi, con fatica e di norma lentamente, soltanto lottando contro resistenze e inerzie esterne; contro queste deve affermarsi, ciò che non le riesce mai in modo completo; può certo far progressi, ma mai conseguire un successo conclusivo; non è mai del tutto al sicuro da ricadute e sconfitte.

a) Le quattro capacità fondamentali della coscienza mentale

Le quattro capacità fondamentali della coscienza mentale sono essenzialmente le seguenti (come vedremo, su quelle fondamentali si fonda un certo numero di capacità derivate). La coscienza mentale è in primo luogo contrassegnata dalla capacità di associarsi all'autocoscienza. L'uomo (il singolo, il gruppo umano, l'umanità intera) non soltanto esiste, non soltanto è conformato così e così, fa e vuole questo e quello, si comporta così e così, ecc.; ha in più la capacità di saper qualcosa di tutto questo, di interrogarsi circa tutto questo, e infine di conoscerlo in misura sempre maggiore (anche se forse mai completamente). Ciò vale illimitatamente anche per la sua coscienza, per ciò che nella sua coscienza accade: analogamente agli animali (superiori), può avere nella propria coscienza sensibile immagini percettive dell'ambiente; ma, diversamente dagli animali, può anche saper qualcosa delle proprie percezioni e delle immagini delle proprie percezioni; e ciò che qui si dice della coscienza percipiente vale per tutte le operazioni della coscienza, siano esse cognitive, volitive, affettive, o di altra natura ancora. La coscienza umana può sapere qualcosa di se stessa, di ciò che è, di ciò che fa o patisce. Si ha allora la riflessione della coscienza mentale su se stessa, sui propri atti, i propri contenuti, i prodotti dei propri atti. E questa capitale qualità riflessiva della coscienza umana è la prima caratteristica fondamentale che distingue categorialmente la coscienza mentale dell'uomo da quella non mentale degli animali, e che obbliga - nonostante tutte le analogie sugli altri punti - a porre una differenza categoriale tra la

coscienza non mentale degli animali e la coscienza mentale degli uomini. Tale caratteristica è connessa del resto in modo strettissimo alla capacità linguistica dell'uomo: è infatti evidente che le due capacità (quella riflessiva della coscienza e quella della lingua) si formano (e si sono formate filogeneticamente) in una strettissima connessione reciproca, all'interno della quale la capacità riflessiva rappresenta la condizione che la coscienza deve adempiere perché sia possibile la capacità linguistica (rapporto condizionale che non dovrebbe essere rovesciato; v. Monod, 1970, pp. 144 ss.). Gli animali non parlano già solo perché non hanno nulla da dire in una lingua che si possa definire veramente tale. La mera (cioè non riflessiva) coscienza può contenere molte cose e di vario genere; ma un contenuto di coscienza è comunicabile linguisticamente soltanto se la coscienza non solo percepisce, ecc., ma (sia pure in grado minimo) sa riflessivamente di percepire, ecc.; e se distingue se stessa come percipiente dal percepito almeno quanto basta per poter 'dire', di ciò che ha distinto da se stessa (cioè il percepito) e in base alla percezione saputa riflessivamente, che il percepito è questo o quest'altro, è fatto così o così. Possiamo esprimerci anche in questo modo: solo la coscienza mentale - grazie alla sua qualità riflessiva - ha oggetti e rapporti tra oggetti circa i quali è possibile comunicare qualcosa linguisticamente; appunto per questa ragione non esiste, senza coscienza mentale, alcuna capacità di formare qualcosa che si possa seriamente definire come lingua.

La coscienza mentale è la capacità che l'uomo ha non solo di sapere qualcosa su se stesso, ma anche di sottoporre se stesso a esame e a critica. Uno studioso del comportamento (v. Lorenz, 1941), richiamandosi al fatto che il comportamento animale può essere talmente determinato da strutture psichiche immutabili che l'animale, senza mai rendersene conto, si comporta in modo costantemente contrario alla realtà (per es. quando apprende una strada più lunga e la adopera da allora in poi come se fosse oggettivamente la strada più breve), ha posto una volta questo problema: se noi uomini, di fronte alle strutture e alle categorie della nostra psiche, ci troviamo così impotenti come gli animali di fronte alle strutture e alle categorie della loro, come potremo rivendicare per noi stessi una validità oggettiva? Ora, il semplice fatto che un uomo possa pensare e scrivere ciò che pensa e scrive Lorenz rivela già l'essenziale: l'uomo può conoscere le 'strutture' e le 'categorie' della propria psiche, della propria coscienza, può studiarle, può metterne in dubbio l'oggettività, può esaminarle e criticarle sotto il profilo dell'oggettività. Nessun animale può avere pensieri del genere. La coscienza umana consente all'uomo l'autocritica: la consente al singolo, al gruppo, all'umanità nel suo complesso.

L'uomo può esaminare e indagare criticamente le proprie rappresentazioni e i propri pensieri, come anche il proprio modo di sentire, i propri scopi e le proprie intenzioni, gli atti compiuti, il proprio comportamento manifesto, i prodotti della propria creatività e del proprio lavoro, i propri meccanismi e persino il suo proprio essere. Questa capacità di autocritica, specifica della coscienza umana, impronta in modo fondamentale la società umana: il singolo critica se stesso, ma anche altri singoli, critica il proprio gruppo come anche gruppi

estranei; il gruppo critica se stesso - anche se, naturalmente, più volentieri gli altri gruppi - e i propri membri, nella misura in cui deviano dal gruppo. È vero quindi che non sempre il soggetto criticante coincide con l'oggetto criticato: si tratta però sempre di critica fatta da uomini ad altri uomini, e quindi di autocritica umana. Essa si riferisce non solo al presente, ma anche al passato, alla storia (del singolo, del gruppo, dell'umanità tutta).

La coscienza umana, in quanto capacità di un'autocritica ampia e comprensiva, comporta a un tempo una terza capacità: quella cioè di fornire i principî (norme, criteri) dell'autocritica. Da un lato non possiamo dimenticare che l'uomo è, non meno degli animali, un essere vivente e che perciò, come abbiamo visto, anche per la struttura e la funzione della sua coscienza sono determinanti i principî dell'idoneità alla vita; d'altro lato però si dovrebbe ancor meno trascurare il fatto che, grazie al carattere mentale della coscienza umana - e sulla base del suddetto principio di idoneità alla vita -, nasce un tipo completamente nuovo di principî (norme, criteri). La loro funzione è duplice: da una parte funzionano come controistanze nei riguardi dei principî 'naturali' di idoneità alla vita, e ciò in verità anzitutto nel senso (negativo) che implicano per l'uomo l'esigenza di una limitazione volontaria, in tutti i settori del proprio comportamento, dell'onnipotenza di tali principî, affinché gli interessi 'naturali' dell'idoneità alla vita non vanifichino tutti gli altri interessi; d'altra parte essi sono (positivamente) i rappresentanti di altri interessi, 'superiori', che vanno cioè al di là dei meri interessi vitali, e dei quali costituiscono la legittimazione. Si può contrassegnare questo tipo completamente nuovo di principî con diversi termini: si tratta in ogni caso di principî dai quali dipendono la validità e il valore di tutti i diversi campi della cultura e della civiltà (sul piano individuale come su quello collettivo), e che noi adoperiamo quindi come norme e criteri per distinguere, in tutti questi campi, il valido dal non valido, il valore dal disvalore. Sono principî di validità teoretica (scientifica), come anche di validità morale, estetica, giuridica, politica, sociale, economica. La coscienza mentale è naturalmente anche in questo caso, cioè in quanto fonte di principî di validità e di valore, anzitutto una semplice facoltà, ben lungi dal poter mai essere un'attualità pienamente dispiegata. Faticosamente, e non senza errori e insuccessi, noi uomini (il singolo, i gruppi, l'umanità) ricerchiamo in base a questi principî; senza dubbio, una certezza definitiva circa questi principî non ci è consentita che in limiti ristretti; noi siamo però gli unici esseri al mondo che possano ricercare, e lo facciamo non senza successo e non senza progressi. Nessun richiamo, per quanto giustificato, alla miseria o all'infamia della realtà umana (nel passato o nel presente), o alla relatività e limitatezza dei risultati dell'umano ricercare può celare il fatto decisivo che noi uomini e soltanto noi uomini possediamo questo privilegio; nel periodo classico della filosofia europea si è visto in ciò - e con pieno diritto - l'essenza della ragione.

La coscienza mentale è autocoscienza, autocritica, conoscenza dei principî di validità e di valore. Essa ha ancora una quarta capacità: rende possibile un agire specificamente umano. La coscienza mentale e la capacità

di agire sono in un rapporto unico nel suo genere, nel quale l'una richiede l'altra. Grazie alla capacità umana di agire, la coscienza non è condannata all'impotenza nei confronti delle cose, delle condizioni e degli avvenimenti del mondo reale: all'impotenza di un esperire, di un sapere, di un prender posizione sul piano effettivi che siano meramente ricettivi; essa può, invece, fare qualcosa, mandare a effetto qualcosa. E, inversamente, la capacità di agire acquista, grazie alla coscienza mentale, possibilità di tipo radicalmente nuovo. Certamente, sussistono anche nell'uomo gli impulsi immediati, 'naturali' della psiche animale, e certamente sono sempre (e necessariamente) determinanti per il comportamento e l'agire umano. Ma nello stesso tempo diventa possibile qualcosa di interamente nuovo, e ciò in due gradi diversi. Nel primo grado, possono ora emergere, accanto alle mete dettate dagli impulsi 'naturali', mete di tipo nuovo, mete che non sono dettate, ma che possono essere o non essere scelte; mete, il cui contenuto è formato unicamente dal gioco capriccioso della coscienza che si apre sul mondo: libere mete, liberi fini, come, con ragione, sono stati spesso chiamati. E nel secondo grado, accanto alle mete dettate dagli impulsi 'naturali' (che sottostanno senza eccezione al principio dell'idoneità alla vita) e alle 'libere' mete e ai 'liberi' fini, che certo rimangono anch'essi in primo luogo entro la cerchia dei meri interessi vitali, possono ora emergere anche mete e fini di un tipo categoriale nuovo: mete e fini, cioè, che sono positivamente determinati da quegli stessi principi di validità e di valore, i quali (v. sopra) funzionano come norme e criteri dell'autocritica umana. Nel quadro dell'agire umano determinato dalla coscienza mentale troviamo infatti entrambi gli aspetti: quello, negativo, della critica del presente, e quello, positivo, del progetto del futuro: formano insieme un tutto omogeneo inscindibile. Finché io mi trovo d'accordo con la situazione esistente così com'è (con me stesso e con gli altri, col mondo naturale e con quello mentale), non ho alcun motivo di agire (agire per mutare qualcosa); la critica, la valutazione negativa della situazione esistente sta all'origine di ogni agire; ma un'altra condizione preliminare dell'agire è il progetto: la coscienza anticipa nell'immaginazione ciò che dovrà essere realizzato nell'agire, e determina così il contenuto del progetto secondo gli stessi criteri di valore che hanno determinato la sua critica. Se agire significa mutare la situazione esistente, allora è la coscienza mentale che (con la critica) dà l'indispensabile avvio all'agire e (col progetto del futuro) guida in avanti l'azione. Quest'ultima operazione è duplice: prima si delinea la meta, e poi si scelgono i mezzi che dovranno gradualmente condurre ad essa. Agire significa sempre mutare e riplasmare (in me, negli altri, nel mondo naturale o in quello mentale) una porzione di realtà. È la coscienza mentale che rende questo possibile (dando l'avvio, delineando la meta, scegliendo i mezzi). E come la critica della realtà resa possibile dalla coscienza mentale è in definitiva una autocritica umana (v. sopra), così anche il mutamento e la riplasmazione della realtà, che la coscienza mentale rende possibile, sono sempre, in definitiva, un mutamento e una riplasmazione dell'uomo da parte dell'uomo (del singolo, del gruppo, dell'umanità), e riguardano quindi l'umano sapere (nelle scienze e nella cultura),

l'umana moralità, la creazione estetica (nelle arti), le istituzioni e i comportamenti umani nella vita giuridica, politica, sociale ed economica.

b) L'uomo tra coscienza non mentale e coscienza mentale

Nella molteplice e comprensiva accezione da noi data al termine, 'coscienza mentale' indica le quattro facoltà fondamentali dell'uomo: autocoscienza, autocritica, produzione dei principi di questa autocritica, autoplasmazione secondo questi stessi principi. Diciamo 'facoltà', non attualità date; la loro attualizzazione dipende dallo sforzo degli uomini; rientra nella loro libertà; l'uomo non deve, se non vuole; e, anche se vuole, non per questo il successo è automaticamente garantito; dato che può andare avanti soltanto lottando contro considerevoli difficoltà 'naturali', l'attualizzazione delle facoltà fondamentali corre costantemente il pericolo di sviarsi nell'errore, di soccombere. La ricaduta nella barbarie, e persino nella mera animalità, rimane un pericolo costante. D'altro canto, la coscienza mentale apre un infinito campo di possibilità: infinite possibilità di progresso (nelle scienze e nelle arti, nella vita morale, giuridica, politica ed economica), infinite mete di progresso. Mai verrà il sabato nel quale l'umanità avrà esaurito tutte le proprie possibilità e adempiuto tutti i propri impegni. E non altri che la struttura mentale della coscienza umana è il responsabile, nel nostro mondo, di questa infinità. Che ogni attualizzazione rimanga infallibilmente limitata, non è un'obiezione contro questa infinità; è infatti questa infinità che costituisce il presupposto di ogni progresso (finito), e ogni progresso si muove in essa (proprio come la numerazione rimane sempre finita, pur avendo come presupposto la serie infinita dei numeri ed essendo possibile solo all'interno di questa; se anche non si giunge mai a una fine, si procede però all'interno dell'infinità).

Da una parte è indispensabile distinguere in via di principio la coscienza non mentale dalla coscienza mentale; con quest'ultima, come abbiamo visto, emergono infatti facoltà della coscienza che nella coscienza non mentale non abbiamo potuto osservare neppure in forma rudimentale. Non si può d'altra parte eludere la questione del nesso esistente tra questi tipi di coscienza, dato che la coscienza umana presenta una strutturazione tanto singolare: le cose infatti non stanno semplicemente nel senso che la coscienza mentale non ha in sé assolutamente nulla della struttura propria della coscienza meramente animale, ma piuttosto nel senso che, essendo comunque l'uomo anche un animale, anche la coscienza umana, come è coscienza mentale, così è anche necessariamente coscienza animale. In che modo sono quindi associati i due tipi (o strati) di coscienza? In che rapporto stanno tra loro? Come nell'animale, anche nell'uomo la coscienza viene messa in opera, originariamente, nelle funzioni vitali dell'idoneità alla vita; è coscienza 'al servizio': al servizio della vita in quanto tale e dei suoi urgenti interessi. Lo stesso vale anche per ciò che chiamiamo, a ragione, intelligenza

animale; la cosa è evidente nel fenomeno della domesticazione degli animali superiori: la strada verso questa impressionante realizzazione comporta un graduale combinarsi delle mete della domesticazione con il soddisfacimento degli interessi degli animali. Fondamentalmente, risulta determinata in funzione degli interessi vitali già la porzione che viene ritagliata nella realtà oggettiva, porzione che non è il mondo, ma solo un ambiente, lo specifico ambiente; il resto del mondo non esiste per la coscienza, giacché è per lei privo di interesse. Il primo passo dalla coscienza non mentale alla coscienza mentale è per così dire una sorta di liberazione da quest'impegno esclusivo, un elementare prender le distanze dagli impulsi 'naturalisti', che rende possibile alla coscienza il primo passo verso l'oggettività delle proprie percezioni e delle proprie esperienze. La coscienza non mentale è un centro di esperienza incapace di riflessione, all'interno del suo specifico ambiente: essa non può mai arrivare a pensare che le cose potrebbero essere, in se stesse, diverse da come sono per lei. La coscienza mentale ha in via di principio la capacità di pensare la possibilità di una simile discrepanza, la capacità di non prendere il proprio ambiente per il mondo (oggettivo); essa pone in dubbio se stessa anche sotto il profilo della propria oggettività e validità: ha la capacità di assumere una posizione 'eccentrica' rispetto al mondo (v. Plessner, 1928). Già soltanto in forza dell'associazione a un organismo, sia la coscienza mentale che la coscienza non mentale risultano limitate a una parte del mondo; ma, mentre la coscienza non mentale nulla sa di questa condizione, la coscienza mentale la conosce: sottopone se stessa a critica riguardo alla casualità della sua posizione nel mondo e alla sua struttura specifica. Si forma così la distanza tra la coscienza concreta e le cose, le quali possono ora, con il proprio essere indipendente, contrapporsi effettivamente - come 'oggetti' - alla coscienza e diventare mete di un conoscere obiettivo e valido. E anche le capacità affettive e volitive della coscienza vengono disciplinate dalla raggiunta oggettività: imparano a conoscere la durezza, la resistenza, l'autonomia del reale; e cominciano a comprendere che del reale debbono tenere costantemente conto. Naturalmente, già lo sappiamo, la coscienza mentale comincia come mera facoltà, la cui attuazione richiede tempo: nella vita dell'individuo come nella filogenesi dell'umanità. I primi passi di questa filogenesi mentale sono avvolti in un'oscurità profonda, e mai troveremo un metodo capace di gettare su di essi molta luce. Abbiamo però ogni motivo di supporre che gli inizi della coscienza mentale siano stati non solo miseri e incerti, ma anche pieni di angosce, timori e incubi. E non c'è dubbio che abbiano una buona parte di ragione coloro che dicono che anche noi - nella buia periferia o nel cupo sostrato della nostra coscienza - ci trasciniamo dietro ancora molto di quell'età remota; come anche non c'è dubbio che lungo sia stato il cammino dai primordi sino all'epoca in cui la coscienza umana raggiunse un grado di chiarezza, di estensione e di raffinamento tale da consentirci di sentire questi nostri antenati come in certo modo nostri simili. Il rafforzamento di ciò che si suole denominare la ragione (teoretica e pratica) ha rappresentato in questo processo il fattore principale: è questo fattore che - in parte in modo immediato, in parte mediatamente (questo secondo caso vale specialmente per le belle arti e le religioni superiori) - ha reso

possibile quell'immensa compagine di realizzazioni specificamente umane, che chiamiamo cultura e civiltà. Senza la fondamentale influenza della ragione, che è andata rafforzandosi col tempo, senza cioè il rafforzamento della facoltà dell'oggettività, non saremmo mai arrivati a un tale risultato; ma la ragione dovette strappare con la lotta la facoltà dell'oggettività alle forze originarie e primitive della coscienza. Questo fatto importante non è mai tanto evidente come nel noto fenomeno che la nostra facoltà di essere oggettivi è sempre considerevolmente più debole e fragile quando sono in giuoco quei nostri interessi, che sono più strettamente legati agli interessi vitali elementari. Ci riesce considerevolmente più facile, ad esempio, essere oggettivi come scienziati, nel nostro lavoro scientifico, che nei campi della lotta politica, sociale ed economica (su grande come su piccola scala).

5. La coscienza collettiva

Da qualche tempo si parla spesso - non senza una giustificazione concreta, ma con insufficiente chiarezza concettuale - di coscienza collettiva (di gruppo, di classe, ecc.). In primo luogo: come mera coscienza, ogni coscienza è completamente isolata da ogni altra, è assolutamente individuale e privata: sotto questo aspetto, nessuno può scrutare in un altro. Rilke ha scritto una volta (Duineser Elegien, IV): "Noi non siamo come gli uccelli migratori, che s'intendono tra loro". Ma gli animali, pur disponendo certamente di forme di intesa reciproca, non raggiungono un'intesa tra le coscienze migliore della nostra: si tratta di un'intesa interamente mediata e priva di riflessione, filogeneticamente acquisita, racchiusa entro limiti strettissimi sia sotto il profilo dei contenuti (su che cosa) sia sotto quello del modo (come, per quale tramite). L'intesa di noi uomini è meno sicura 'perché fondata piuttosto sulla libertà) di quella degli animali; abbiamo però la facoltà di intenderci praticamente su tutto e di sviluppare mille forme diverse di intesa. Lo strumento, in verità non unico, ma certo più importante dell'intesa fra gli uomini è la lingua, la quale non è soltanto manifestazione degli stati 'interni della coscienza' (una mera emotive utterance), ma è manifestazione che verte 'su' (su cose, persone, rapporti, stati, ecc.), dato che è manifestazione di ciò che a proposito di qualcosa intendiamo, sentiamo, crediamo, pensiamo, del modo in cui lo valutiamo, ecc. In una lingua cosiffatta non può manifestarsi una semplice coscienza, ma soltanto, necessariamente, una coscienza mentale, che esiste 'nel mondo' nelle mille forme proprie di questo tipo di coscienza, è rapportata agli oggetti ed è caratterizzata dall' 'intenzionalità'. La semplice coscienza isola ed è isolata; soltanto la coscienza mentale, rapportandosi agli oggetti, rende possibili l'intesa e l'intersoggettività. Per questa ragione N. Hartmann (v., 1933) era pienamente giustificato quando parlava, invece che di coscienza collettiva - nozione che cancella una differenza importante - di spirito

oggettivo (interindividuale, intersoggettivo, collettivo). La coscienza mentale, proprio per il fatto di essere mentale - rapportata agli oggetti, intenzionale - può comunicare se stessa (ciò che pensa, sente, vuole, ecc.), può farlo mentre che si manifesta all'esterno (soprattutto linguisticamente, ma anche attraverso i gesti, la mimica, la pittura, il canto, la musica, attraverso lavori e attività sia ordinari che specificamente determinati da idee, ecc.). Come una coscienza mentale si manifesta e comunica, così può essere compresa da una altra coscienza mentale che ne comprende le manifestazioni. È in questo modo che si costituisce, su grande come su piccola scala, quella comunità umana nella quale a noi tutti sembra ovvio vivere, quel secondo mondo - specificamente umano - in mezzo alla mera natura, nel quale ancora ci sembra ovvio vivere. Questo secondo mondo è un mondo interamente costituito dalla coesistenza dei vari portatori della coscienza mentale, dalla coscienza collettiva (intersoggettiva), dalla mente collettiva (oggettiva, intersoggettiva). Esiste un ampliamento non programmato (quasi spontaneo) della coscienza collettiva, ma ne esiste anche uno voluto e programmato (e intendiamo sia quello onesto e benintenzionato che quello 'manipolato', e non ci riferiamo affatto solo alla pubblicità commerciale così come è stata descritta da V. Packard). La mente collettiva è 'mente' altrettanto spesso che 'non-mente': vale a dire che esistono, all'interno della coscienza collettiva, tutti i gradi di valore e di disvalore, e ciò è vero per tutti i suoi settori (v. sotto).

La coscienza collettiva essendo sempre coscienza di un 'collettivo', si articola in modo analogo ai collettivi: esiste ad esempio la coscienza collettiva di una famiglia, di una città, di un paese, di un popolo, di un gruppo professionale, di una 'classe', di un gruppo di credenti; e siccome i 'collettivi' sono formazioni storiche, anche la coscienza collettiva presenta un'analogia articolazione storica: si parla ad es. di coscienza degli anni venti, del sec. XIX, dell'età moderna, dell'era cristiana. Qui non possiamo fare che un cenno al particolare modo di esistenza della coscienza collettiva: non è in nessun modo essa stessa un 'collettivo', e neppure quindi l'aggregato delle varie coscienze singole; non può assolutamente esistere senza di queste e rappresenta pertanto l'associazione dei loro tratti comuni; ma, pur con tutta la sua dipendenza dalle coscienze singole, non si esaurisce in esse, ed esercita a sua volta un influsso su di esse: formando e determinando, guidando e seducendo. Ha di conseguenza una realtà propria; esercita un potere, ha la sua propria storia e i suoi propri e autonomi mutamenti, diversi da quelli del 'collettivo', del quale è la coscienza; ha una propria nascita, una propria durata, e una propria fine (parliamo della 'morte' di una cultura, di una morale, di una concezione giuridica, di una lingua, di una costumanza, di una religione, ecc.). Quando parliamo di vita mentale e di storia delle idee, si tratta in larga misura (in tutti i casi, cioè, in cui non si tratti delle obiettivazioni storiche della mente, come le 'opere' della poesia, ecc.) della vita e della storia dei vari tipi e settori della coscienza collettiva.

È un intero sistema di settori che costituisce la coscienza collettiva. I più importanti sono forse i seguenti: a) il settore della lingua, o meglio delle lingue, e delle lingue reali e concrete, così come sono o sono state parlate e scritte. Le lingue hanno la proprietà di non essere soltanto uno dei settori della coscienza collettiva, ma di essere a un tempo il principale strumento mediante il quale si formano, nella coscienza collettiva, tutti gli altri tratti comuni; b) il settore della morale volta a volta vigente (valutazioni e modi di comportamento morali); c) il settore del gusto estetico volta a volta dominante sia nella vita quotidiana (come ad es. nei vari campi della moda) sia nei modelli cui si ispirano le diverse arti; d) il settore della vita religiosa, dell'esperienza vissuta della devozione e della fede, il quale comprende anche l'irreligiosità e le concezioni del mondo ormai secolarizzate; e) il settore delle usanze quotidiane (nella vita pubblica, nella vita privata, nei rapporti interumani); f) il settore della vita giuridica, come si manifesta nelle concezioni giuridiche volta a volta vigenti, nelle valutazioni giuridiche e nell'effettiva prassi giuridica; g) il settore della vita politica, come si realizza nelle concezioni politiche, nelle valutazioni e nelle finalità dei cittadini e dei governanti, nella forma reale di governo, nel modo di agire degli organi e delle istituzioni politici; h) il settore della vita economica, incluse le idee o le ideologie-guida, le finalità più generali e quelle più concrete, i conflitti e le frizioni immanenti, il modo di funzionare delle aziende, il modo di lavorare di coloro che sono economicamente attivi, il comportamento dei consumatori, ecc.; i) il settore della vita e dell'attività tecnica, strettamente associato a quello della vita economica; l) e infine il settore della vita scientifica, dell'attività di ricerca, della diffusione delle conoscenze scientifiche, della formazione delle nuove leve di scienziati (nelle scuole e nelle università).

Due cose, che l'espressione 'coscienza collettiva' maschera, anziché chiarire, meritano un'ulteriore osservazione. La prima è questa: la coscienza collettiva è sempre la coscienza di un 'collettivo'. Ora, i collettivi sono assai di rado omogenei; i loro membri si differenziano sotto molti riguardi, esistono sottogruppi e così via. Anche la coscienza collettiva è quindi assai di rado omogenea; ed è di importanza vitale che non lo sia: solo così può rimanere una coscienza vivente e dinamica, in grado di progredire e di adempiere i propri impegni. Naturalmente, i potenti (politicamente o economicamente) vedrebbero non di rado volentieri un'uniformità della coscienza, che servisse i loro interessi, e adoperano a questo scopo i mezzi usuali e talvolta senza scrupolo, persino la perfidia e la violenza. L'esperienza ci dà motivo di sperare che sia sempre più difficile conseguire a questo proposito un successo duraturo. In secondo luogo, è decisiva la mancanza, nella coscienza collettiva, di ciò che caratterizza la coscienza umana individuale: la facoltà di autocoscienza e di autocritica, e quindi anche la coscienza della responsabilità; non di rado la coscienza collettiva percorre senza scrupoli morali il proprio cammino omicida (o suicida). Nella misura in cui esiste una coscienza (critica) di ciò che accade in una coscienza collettiva, esiste soltanto in una forma secondaria e insufficiente: nella coscienza individuale dei membri che tengono gli occhi e le orecchie aperti, e sono in grado di conservare

intatta la propria capacità di giudizio. Ma anche così non nasce una coscienza veramente adeguata. Certo è che non è mai possibile che tutta la molteplicità (e la contraddittorietà) di una coscienza collettiva sia interamente presente in un individuo singolo, e di conseguenza nessun individuo singolo può render giustizia a una coscienza collettiva in tutti i suoi aspetti. Non esiste quindi che un surrogato: la pubblica discussione critica, nella quale ogni voce seria deve trovare udienza. Anche questo, certo, è solo un surrogato; ma, essendo tutto ciò che si può ottenere in fatto di critica e di autocritica, la sua possibilità deve essere difesa con ogni mezzo e con ogni sacrificio. Quando un collettivo non tollera la pubblica discussione critica, o i suoi capi (o i suoi istigatori) tentano di escluderla, ci troviamo di fronte a una decisione contro l'umanità: contro la facoltà umana dell'autoconoscenza, della responsabilità e della coscienza morale.

6. Due problemi specificamente filosofici intorno alla coscienza

Esistono ancora due problemi, di natura filosofica nel senso stretto del termine. Uno è il problema del rapporto ontologico tra coscienza e persona, che in età recente si è nuovamente acuito, specialmente per opera di G. Ryle. Almeno finché si ha a che fare soltanto con il comportamento empiricamente accessibile, non si può che convenire, nel complesso, con le principali posizioni di Ryle. Egli si oppone a ogni dualismo ontologico, il quale affermi che colui che qui e ora respira e digerisce, riflette e ha desideri, non è la singola persona vivente, bensì l'uomo, un'incomprensibile dualità di corpo e mente, o anche di processi corporei e, separati da questi, di processi mentali. Ryle (v., 1949, p. 22) non nega in nessun modo il fatto dei processi di coscienza (mental processes); e ovviamente riconosce l'impossibilità di descrivere tali processi unicamente nella lingua della fisica, della chimica e della fisiologia (ibid., p. 18). E tuttavia egli si oppone a ogni dualismo, come anche a certi errori categoriali nelle teorie della coscienza: si oppone alla tesi che i processi di coscienza (ed essi soli) siano coscienti in modo diretto e persino immuni da errori (ibid., p. 154), e ciò unicamente per il fatto di essere appunto processi di coscienza, i quali non potrebbero aver luogo affatto se non nella luce della 'riflessione' e 'introspezione' (ibid., pp. 155 ss.).

Questo non significa, naturalmente, che Ryle neghi la possibilità dell'autocoscienza, la possibilità di sapere, nella 'retrospezione' (ibid., pp. 166 ss.), ciò che in precedenza si è pensato, desiderato, ecc. Ryle sostiene essenzialmente, a modo suo, la stessa posizione da noi avanzata sopra, anche se in lui il rapporto categoriale affermativo non è definito in modo molto preciso: quando noi parliamo della 'mente' o della coscienza di qualcuno, non ci riferiamo a un qualche organo 'mentale', che questo qualcuno possiederebbe, bensì soltanto e unicamente a questa persona stessa, alla sua inclinazione e capacità di fare certe cose, quelle appunto che

denominiamo i suoi atti di coscienza e i suoi processi di coscienza (ibid., pp. 167 ss.). Se si vuole obiettare qualcosa contro la teoria ryliana della coscienza e della mente, bisogna badare meno a ciò che dice, e richiamare piuttosto l'attenzione su ciò che non dice e di cui, pure, una teoria soddisfacente dovrebbe parlare: da un lato la sorprendente capacità dell'uomo di autocriticarsi, di scoprire i principi di validità necessari a tal fine, e di autoplasmarsi e automutarsi in conformità alla propria autocritica; e dall'altro il fenomeno della coscienza collettiva. Ryle tiene d'occhio troppo esclusivamente l'individuo; e trascura troppo - oltre al carattere di atto e di processo, proprio del mentale - il problema della differenza, immancabilmente associata a ogni operazione mentale, tra validità e non validità, valore e disvalore.

Di specifica importanza filosofica è poi un problema gnoseologico collegato al concetto di coscienza; problema che sorge ogni volta che si sostiene l'opinione secondo la quale è la coscienza il fattore che bisogna porre come soggetto della conoscenza, e ciò unicamente perché la conoscenza ha luogo nella coscienza, o anche perché è 'opera' della coscienza. Il concetto di coscienza riveste un importante ruolo teoretico solo nel quadro del dualismo, diventato dominante a partire da Cartesio (corpus/mens; body/mind): analogamente cioè a quanto accade alla mens e al mmd, anche la coscienza (cogitatio=perceptio=conscientia in Cartesio; consciousness=perception of what passes in a man's own mind, in Locke) viene contrapposta al mondo fisico. Questo dualismo comporta subito decisive conseguenze sul piano gnoseologico.

Per dirla con due formulazioni, una radicale e un'altra piuttosto moderata: a) nel vero senso del termine, ognuno può sapere qualcosa soltanto di se stesso, della sua propria coscienza (ovvero, la coscienza sa qualcosa solo di se stessa, il che per lo più significa: delle sue rappresentazioni, delle sue 'idee'). Circa il mondo, le 'cose', non si può, almeno nel senso proprio del termine, sapere nulla (così per es. Hume); b) non si pone in dubbio l'esistenza del mondo, delle 'cose', nè che l'uomo, insieme con la sua coscienza, appartenga al mondo, e neppure che le cose operino sugli uomini in modo tale da far nascere nella coscienza 'idee' (sensations, impression); ma la coscienza, appunto, non conosce che queste sue 'idee' e non le cose in sé; ancora Kant, nelle prime pagine della Critica della ragion pura, parte da questa concezione. Nella gnoseologia degli ultimi decenni del sec. XIX e dei primi del XX, questo dualismo - anche, da ultimo, per ragioni metodologiche - ha ancora esercitato una forte influenza: da un lato nei movimenti del 'realismo critico' e dall'altro nella formazione della 'fenomenologia trascendentale' di Husserl. Le ragioni metodologiche di questa forte quanto tardiva influenza del dualismo sono in connessione con l'imponente sviluppo, nel periodo menzionato, della psicologia, la quale concepiva se stessa come scienza empirica e, in quanto tale, si decise a entrare in concorrenza con le scienze naturali. Di fronte al fondamentale compito metodologico di definire il proprio oggetto in modo tale da farlo entrare in rapporto univoco con quello delle scienze naturali, e al contempo di stabilirne la pari dignità epistemologica, risultò che in definitiva erano possibili soltanto caratterizzazioni del

tipo di quelle adoperate in passato dalla gnoseologia dualistica: tutte sfociavano nell'opposizione tra un 'mondo interno' aspatiale e dato immediatamente, e un 'mondo esterno' spaziale e accessibile solo mediamente (grazie al 'mondo interno'). Ogni volta che la gnoseologia si lasciò traviare da questo tentativo della psicologia di definire il proprio oggetto (attribuendo in certo modo un'importanza gnoseologica a ciò che, per la psicologia, poteva essere una necessità metodologica), il vecchio concetto di coscienza ebbe di nuovo il potere di dettare il problema gnoseologico fondamentale, e precisamente in questa forma specifica: come giunge la coscienza alla conoscenza del mondo delle cose, che sta al di là di essa? Il realismo critico tentò di rispondere a questa domanda con un procedimento relativamente semplice: ricercò nella coscienza, in modo per così dire empirico, elementi e rapporti che sembrassero autorizzare una qualche sorta di deduzioni circa il mondo che sta al di là della coscienza. Più ambiziosa fu la svolta impressa al problema dalla fenomenologia trascendentale (Husserl): se esiste una coscienza (sia essa una coscienza ordinaria ovvero scientifica) del mondo, di settori e porzioni del mondo, quali sono le operazioni della coscienza mediante le quali, nel singolo e nella collettività, tale coscienza si costituisce? Come si arriva, nell'immanenza della coscienza, alla coscienza della trascendenza del mondo?

È facile vedere che una filosofia della coscienza non può bastare a risolvere realmente il problema gnoseologico. Si può ritenere il contrario soltanto se si considera la coscienza come ciò che è dato immediatamente e in modo sicuro, che non costituisce per sé un problema gnoseologico; e se si ritiene che un problema gnoseologico si ponga soltanto in riferimento al rapporto tra coscienza e ciò che sta al di là della coscienza. Ma si può sostenere tale opinione solo finché la riflessione gnoseologica rimane, per così dire, ferma a mezza strada, in quanto trascura il fatto fondamentale che, in gnoseologia, non la coscienza, ma solo la teoria della coscienza costituisce l'uno dei termini del rapporto gnoseologico; ovvero che in gnoseologia la coscienza non assume il ruolo di soggetto teoretico, bensì, in quanto termine del rapporto gnoseologico tra coscienza e ciò che trascende la coscienza, non può presentarsi - in una con tale rapporto - se non come l'oggetto dell'indagine gnoseologica. La coscienza diventa così un problema della gnoseologia, e la questione decisiva (quella circa il valore e la validità di ciò che vorremmo considerare come conoscenza) ricade in modo particolarmente energico proprio sulla coscienza, e ciò è tanto più vero quanto più la filosofia della coscienza vorrebbe farne il soggetto della conoscenza (v. anche epistemologia e fenomenologia).

7. Osservazione conclusiva

La coscienza è ancora e sempre un oggetto difficile per le teorie scientifiche e filosofiche. I problemi e le controversie derivano in misura decisiva dal fatto che sono in gioco metodi concorrenti; il che del resto si verifica necessariamente, in quanto quel singolare oggetto che è la 'coscienza' offre tutta una serie di aspetti difficili da unificare. Le controversie non sono destinate a sparire tanto presto, né si annuncia prossima la soluzione dei problemi. Ma un'analisi accurata da un lato dei diversi aspetti, e dall'altro del possibile rapporto di tali aspetti tra di loro, come anche un'altrettanto accurata riflessione sulla struttura dei diversi metodi e sul loro rapporto reciproco, fanno tuttavia sperare che la teoria della coscienza potrà compiere ulteriori reali progressi.

bibliografia

Dennett, D. C., *Content and consciousness*, London 1969.

Gehlen, A., *Der Mensch, seine Natur und seine Stellung in der Welt*, Berlin 1942, Bonn 19504.

Hartmann, N., *Das Problem des geistigen Seins*, Berlin-Leipzig 1933.

Lorenz, K., *Kants Lehre vom Apriorischen im Lichte gegenwärtiger Biologie*, in "Blätter für deutsche Philosophie", 1941, XV, pp. 94-125.

Monod, J., *Le hasard et la nécessité. Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*, Paris 1970 (tr. it.: *Il caso e la necessità. Saggio sulla filosofia naturale della biologia contemporanea*, Milano 19725).

Plessner, H., *Die Stufen des Organischen und der Mensch*, Berlin-Leipzig 1928.

Ryle, G., *The concept of mind*, London 1949 (tr. it.: *Lo spirito come comportamento*, Torino 1955).

Tinbergen, N., *L'étude de l'instinct*, Paris 1953.

Coscienza e comportamento

di Donald O. Hebb

sommario: 1. Introduzione. 2. L'evoluzione della mente. 3. L'ambiente e lo sviluppo della mente. 4. Sensibilità emotiva. 5. L'ambiente sensoriale nel periodo della maturità.

1. Introduzione

I problemi che nascono nello studio del comportamento sono straordinariamente complessi, specialmente nel caso del comportamento dell'essere umano conscio. I progressi in queste ricerche, invero molto lenti fino a poco tempo addietro, si sono tuttavia accelerati notevolmente in questo secolo per merito prima di tutto delle acquisizioni della neuroanatomia e della neurofisiologia, e poi per il fatto che tali acquisizioni hanno reso possibile alla psicologia di adottare sistematicamente metodi biologici, anche nello studio del comportamento umano. Principali esponenti di questo orientamento furono, circa nel 1914, John B. Watson e K. S. Lashley. La mente, la coscienza e il comportamento vennero considerati come fenomeni biologici, senza presupporre l'intervento di fattori non fisici (l'ammissione di un' anima che agisca sul cervello sarebbe una forma di vitalismo, inaccettabile in biologia).

Questo significa che la coscienza è una particolare forma o un particolare livello di complessità dell'attività cerebrale, e la 'mente' è la capacità di funzionare a tale livello. Si ritiene che la coscienza non sia propria esclusivamente dell'uomo, ma sia piuttosto un prodotto dell'evoluzione, al pari di strutture fisiche quali l'occhio o la mano, e che possa trovarsi (sia pure in grado minore) anche in altri animali. Come vedremo in seguito, i dati in nostro possesso favoriscono l'ipotesi che alcuni animali abbiano la coscienza e altri no. Il fatto che l'animale non sia capace di introspezione e che non possa dirci che è cosciente non nega questa conclusione, poiché l'idea che l'uomo possa essere capace di introspezione è erronea; per sapere che gli esseri umani sono coscienti non è necessario basarsi sui loro resoconti verbali.

Il significato essenziale di queste idee sta nelle conseguenze sperimentali e nell'aumento di conoscenze a cui hanno dato luogo. Ritorneremo su questo punto, ma è bene fare fin d'ora qualche osservazione preliminare. Innanzitutto, al buon senso queste idee possono sembrare poco plausibili, ma questa impressione non può essere accettata come critica di una concezione scientifica. Alcune idee fondamentali della scienza apparivano incredibili quando furono proposte per la prima volta (Galileo: gli oggetti pesanti non cadono più velocemente di quelli leggeri; Newton: la luce bianca è fatta di tutti i colori dell'arcobaleno) e alcune di esse non sono del tutto accettabili neppure ora (l'antimateria, per esempio, o l'idea ormai accettata dai geologi che i continenti vanno alla deriva attraverso gli oceani come banchi di ghiaccio). Queste idee, per strane che possano sembrare, trovano posto nella 'scienza perché funzionano', cioè introducono ordine in fenomeni già conosciuti e conducono a nuove scoperte. Se è poi arduo accettare le ipotesi della psicologia biologica, se esse sembrano

incredibili, questi non sono elementi sufficienti per rigettarle: la vera prova deve consistere nella misura in cui contribuiscono ad arricchire la nostra conoscenza degli animali e in particolare dell'animale uomo.

Una seconda osservazione è altrettanto importante. Non si suggerisce che queste idee teoriche debbano essere credute, tutt'altro: un'altra cosa che abbiamo imparato dalle scienze fisiche è che le teorie debbono essere sostenute con elasticità, e non credute. L'idea che la coscienza consista interamente in processi elettrochimici - la miriade di impulsi nervosi che corrono qua e là nei complessi circuiti cerebrali - e un'ipotesi di lavoro e può o meno rispondere a verità; essa può essere presa in considerazione (e spesso lo è) anche dallo scienziato che non vi crede, con la speranza che quando la teoria sia stata interamente saggiata lasci ancora non spiegato qualche aspetto dell'uomo. Così si otterrebbe la prova che quella teoria è sbagliata e che nel fenomeno è implicata qualche altra entità, come l'anima. Noi possiamo, cioè, usare la teoria biologica del comportamento come si usa l'ipotesi del nulla in statistica, solo per confrontarla; nel frattempo è doveroso osservare che essa è stata molto più produttiva e chiarificatrice delle teorie precedenti.

L'ultima osservazione preliminare riguarda l'introspezione. L'idea che si è direttamente consapevoli dei propri processi consci (o di parte di essi) non è sostenibile secondo l'analisi moderna (v. Humphrey, 1951; v. Boring, 1953). Infatti, vi è una lunga storia di attestazioni da John Locke a William James che negano vi sia qualcosa da trovare nell'introspezione, se non semplici sensazioni; si sarebbe potuto senz'altro concludere da ciò che l'introspezione non esiste, per lo meno con un significato logico, ma forse questa conclusione sarebbe stata troppo radicale.

Senza dubbio conosciamo molto di quello che passa per le nostre teste in ogni particolare momento; ma si tratta di una conoscenza indiretta, del prodotto di una inferenza piuttosto che di una percezione diretta di se stessi. Non si è coscienti della propria coscienza.

A questo punto, per evitare confusione, dobbiamo notare l'uso diverso fatto in psicoanalisi dei termini conscio e inconscio, termini che derivano originariamente da Herbart. Freud, seguendo Herbart, considerò scontato (come del resto ogni altro a quel tempo) che si è direttamente consapevoli dei propri processi consci, o di parte di essi, e chiamo 'coscienza' la parte di cui si è consapevoli e 'inconscio' le altre attività mentali. Come abbiamo appena visto, è ora chiaro che non vi sono processi mentali di cui si è direttamente consci, perciò invece di rigettare la dottrina dell'inconscio noi ora la estendiamo a comprendere tutti i processi mentali, negando solamente l'esistenza di una mente 'conscia' (nel senso freudiano del termine). Bisogna notare anche che Freud fu realmente un precursore della moderna psicologia biologica: quando elaborò il modo di studiare l'inconscio, non chiedendo al paziente i motivi del proprio stato ma deducendoli dall'insieme dei suoi discorsi

e delle sue azioni, egli ci ha mostrato come procedere in modo oggettivo nell'analisi dei processi mentali e come rendersi indipendenti dall'autodescrizione.

2. L'evoluzione della mente

La natura delle prove da cui è possibile dedurre in ogni animale la presenza o l'assenza di coscienza appare nel modo più chiaro se si considera in via ipotetica il corso dell'evoluzione del comportamento più complesso. È evidente che l'uomo non discende da alcuna delle specie ora viventi; pertanto tracciare il corso della sua evoluzione comportamentale è necessariamente speculativo e teorico. I Roditori, i Carnivori, le Scimmie e i Primati antropomorfi hanno avuto, si può dire, un'evoluzione lunga come quella dell'uomo. Ciononostante possiamo fare uso delle nostre conoscenze sugli animali esistenti per fare qualche ragionevole supposizione sul corso della filogenesi che porta al comportamento umano, e, come vedremo, questo processo ha un effetto chiarificatore sulla natura della mente.

È evidente che il sistema nervoso è una rete di comunicazioni, con la funzione principale di condurre l'informazione (vale a dire di trasmettere minuscole eccitazioni) dagli organi di senso ai muscoli e alle ghiandole. Con lo svilupparsi durante l'evoluzione dei vari organi specializzati, l'animale divenne più sensibile agli eventi ambientali e più capace di risposte adeguate - trovare il cibo, accoppiarsi, sfuggire ai predatori - ma ciò poteva avvenire solo se l'informazione ricevuta dai recettori fosse stata in grado di raggiungere prontamente gli effettori. Il raggrupparsi di cellule sensibili alla luce a formare un occhio, di chemocettori nel naso e così via, come del resto l'unione di cellule contrattili a formare i muscoli, aumenta le capacità sensoriali e motorie ma rende inevitabile una separazione spaziale fra gli organi di senso e la muscolatura.

Questa linea di evoluzione non avrebbe potuto continuare senza lo sviluppo contemporaneo di qualcosa che colmasse questo divario. Il risultato è appunto il sistema nervoso. Una vecchia similitudine, che ha ancora una certa validità, paragona il sistema nervoso a un centralino telefonico che riceve costantemente messaggi dagli organi di senso e che costantemente li invia ai muscoli e alle ghiandole. Invece di andare direttamente da ciascun recettore a ciascun effettore, tutti i messaggi sono indirizzati tramite il sistema nervoso centrale - il cervello e il midollo spinale nei Vertebrati - con la stessa logica di economia di un sistema telefonico che non manda linee da ogni telefono della città a ogni altro, ma invece li collega tutti con una centrale di scambio.

Alcune delle connessioni senso-motorie nella centrale di scambio sono permanenti, già presenti alla nascita: queste sono la base dei riflessi incondizionati ('incondizionati' significa che non dipendono dall'esperienza precedente). L'aggiustamento automatico dell'occhio all'intensità della luce è controllato da connessioni innate

fra la retina, sensibile alla luce, e la base del cervello e da qui in senso inverso al muscolo che controlla l'ampiezza della pupilla. In maniera simile la secrezione delle lacrime è controllata da fibre nervose che vanno dalla superficie dell'occhio al tronco dell'encefalo dove si mettono in connessione con altre che tornano alla ghiandola lacrimale. Queste e altre risposte riflesse sono determinate ereditariamente.

Vi sono inoltre riflessi acquisiti o condizionati che, come ci ha mostrato Pavlov, dipendono dall'esperienza passata (v. condizionamento, meccanismo del). Essi possono funzionare con altrettanta prontezza e sicurezza. Le palpebre si chiudono automaticamente prima che un oggetto in movimento raggiunga l'occhio, la mano si ritira indietro senza toccare quella superficie calda che in precedenza ha causato dolore. Tali riflessi condizionati hanno un grande valore, in quanto completano l'azione di quelli incondizionati aggiungendo speciali adattamenti all'ambiente basati sull'esperienza individuale. Essi sono tuttavia ancora di natura riflessa: non implicano un'autonomia di funzione da parte del cervello. È implicito in essi un processo di apprendimento (l'apprendimento è una modificazione di connessioni nel sistema nervoso centrale o l'aggiunta di nuove), ma la connessione fra organi di senso e muscoli o ghiandole è ancora relativamente diretta, cosicché una stimolazione sensoriale evoca costantemente una risposta motoria. La risposta è perciò determinata dallo stimolo. Le risposte naturalmente variano con lo stato umorale interno (a seconda che l'animale abbia fame o no, oppure che abbia sete o che sia sessualmente recettivo) ma per ognuna di queste condizioni il comportamento è controllato dall'ambiente sensoriale.

L'evasione da un tale controllo fu un ulteriore passo avanti nell'evoluzione, e si può ritenere che a questo punto siano comparsi il pensiero, la volontà e la coscienza, come aspetti diversi di un'attività autonoma del cervello. L'autonomia non è completa, neanche nell'uomo, e varia di grado nelle altre specie: più chiaramente evidente e dimostrabile nei Mammiferi, è apparentemente una funzione della corteccia cerebrale o neocorteccia, che è di dimensioni ridotte negli Uccelli ma relativamente grande perfino nei Mammiferi meno evoluti. Il comportamento riflesso continua ad avere una sua grande importanza per tutti i Mammiferi, incluso l'uomo, ma l'organismo non è più programmato interamente dall'ambiente. Ogni tipo di comportamento naturalmente deve avere una guida sensoriale per essere efficace, ma il cervello ora collabora al controllo e non si limita semplicemente a trasmettere eccitazioni sensoriali.

Evidentemente il pensiero richiede una certa autonomia di funzione da parte del cervello, ma questa condizione può non essere sufficiente. Bisogna vedere quali altri fattori sono implicati. Da un punto di vista biologico, il problema ha due aspetti. C'è prima di tutto il problema delle unità di pensiero, variamente definite come idee, rappresentazioni, processi di mediazione. Fondamentalmente si può dire che un animale è capace di pensiero se è in grado di avere un'idea o una rappresentazione di un oggetto che non è presente ai suoi sensi. Al tempo dei primi studi sul comportamento Watson avanzò l'ipotesi che una tale capacità non esista, neppure

nell'uomo. Egli sostenne che il pensiero, che a noi sembra del tutto distinto dall'attività motoria, non consiste altro che in una sottile concatenazione di riflessi condizionati e di movimenti muscolari minimi, troppo piccoli per essere facilmente riconosciuti come tali: il feedback da uno di questi movimenti, specialmente dal movimento degli organi della fonazione, poteva agire come stimolo condizionato per il contiguo, determinando così l'organizzazione temporale del pensiero. Sappiamo ora che l'ipotesi di base della teoria di Watson era sbagliata (veri e propri processi di rappresentazione esistono veramente), ma l'importanza da lui attribuita agli elementi motori e al feedback sensoriale era fondata e l'ipotesi ha avuto un effetto chiarificatore, in quanto ha obbligato coloro che avevano vedute diverse a fornire le prove indispensabili a sostegno delle loro tesi.

Ne seguì infatti la dimostrazione data da W. S. Hunter (v., 1913) della presenza d'ideazione negli animali, mediante un test di risposte ritardate, nel quale l'animale doveva rispondere a un segnale sensoriale dopo che tale segnale era stato allontanato. All'animale veniva mostrato in quale contenitore, fra i diversi presenti, veniva messo del cibo, ma poi non poteva raggiungere nè vedere i contenitori se non dopo un periodo di circa venti secondi. In tale situazione la scelta del contenitore giusto non può essere ascritta a un riflesso condizionato, perché una risposta riflessa o si verifica prontamente o non si verifica affatto. Il cervello dell'animale superiore - sia esso quello di un cane, di una scimmia, di un primate antropomorfo, come del resto quello dell'uomo - è capace in questo tipo di test di ricevere e trattenere un'informazione sensoriale, non in modo passivo ('memoria') ma come promotore attivo di risposte.

Un'ulteriore prova dell'ideazione è individuabile nel comportamento finalistico, in quel tipo di comportamento cioè che implica un'attesa di eventi futuri (basata naturalmente sull'esperienza passata). Una prova formale di ciò si può trovare negli esperimenti di W. Köhler (v., 1927) sulla soluzione di problemi da parte degli scimpanzé: per esempio, nel caso in cui l'animale si serve di un bastone più corto per raggiungerne uno più lungo, che gli serve a sua volta per raggiungere una banana. La prima parte di questa sequenza comportamentale chiaramente anticipa la successiva. Una prova meno formale ma forse più chiara si osserva nel comportamento ingannevole dello scimpanzé che, vedendo sopraggiungere un visitatore al laboratorio, quando questi è ancora a una certa distanza si riempie furtivamente la bocca di acqua e si mostra amichevole e invitante; finché quando il visitatore è ormai vicino scompare l'atteggiamento amichevole e il visitatore viene investito da un getto d'acqua. In tale comportamento, specialmente la prima volta che viene messo in atto (prima cioè che possa essere considerato come acquisito lentamente con la pratica), il ruolo del pensiero è evidente.

I fenomeni di libero arbitrio hanno un significato simile: cioè il comportamento è sotto il controllo non solo dei concomitanti eventi sensoriali ma anche del pensiero. Generalmente si ritiene che il libero arbitrio implichi

un concetto filosofico di indeterminazione, ma questa interpretazione è ingiustificata: essa è dovuta probabilmente a una mancata comprensione di che cosa realmente siano i fenomeni di libero arbitrio, forse a causa di un approccio troppo strettamente antropocentrico. La complessità del comportamento umano nelle situazioni sociali può impedire di vedere cose che diventano ovvie guardandole nella prospettiva dell'evoluzione. Lo stesso tipo di imprevedibilità umana dal quale desumiamo la presenza di libero arbitrio si riscontra anche in altri Mammiferi superiori, ma in situazioni più semplici, nelle quali il suo significato è più evidente.

Vi sono due generi di imprevedibilità di comportamento. Il primo è una sorta di variazione d'errore: per esempio, non si può prevedere il momento preciso in cui, all'avvicinarsi dell'oscurità, uno scarafaggio uscirà in cerca di cibo, oppure l'esatto percorso di volo di una tarma maschio in risposta all'odore di una femmina, ma la forma di risposta in entrambi i casi è altamente prevedibile. Il comportamento è qui interamente controllato dall'ambiente sensoriale e dallo stato fisiologico dell'organismo. In entrambi i casi non c'è alcuna prova che ci permetta di ritenere che in tale controllo sia implicata un'altra variabile, cioè la volontà.

Il secondo genere di imprevedibilità, del quale ci occuperemo ora, è quello che richiede come postulato l'esistenza della volontà. Invece di essere una variazione accidentale d'errore, puramente attribuibile al caso, questo origina da cambiamenti sistematici nel tipo di comportamento attuato in relazione all'ambiente sensoriale e a bisogni primari dell'organismo come evitare il dolore, nutrirsi, avere un'attività sessuale periodica: un uomo affamato, per esempio, può rifiutare il cibo, e può agire così per evitare di aumentare di peso, o per dare il cibo ad altri, oppure perché si tratta di carne ed egli è vegetariano. Questo tipo di deviazione dalla norma di comportamento ordinario è un fenomeno ben noto, e sappiamo che deriva dalla presenza di 'idee': idee di salute, del proprio dovere nei confronti di altri, di ciò che è giusto e di ciò che è sbagliato.

Un comportamento con un significato simile, che mostra cioè il ruolo decisivo delle idee nella scelta fra due linee di azione, può essere visto anche nell'animale subumano. Questo è valido in certe occasioni anche per il ratto da laboratorio, ma l'esempio più chiaro è fornito di nuovo dallo scimpanzé in cattività. La maggior parte degli scimpanzé adulti in laboratorio non può essere controllata a scopi sperimentali con la fame: non è possibile infatti farli lavorare a compiti che a loro non piacciono offrendo a ricompensa soltanto del cibo, perfino quando siano digiuni da lungo tempo. Se però il compito 'viene reso interessante, possono lavorare anche senza alcuna ricompensa. Un altro esempio è fornito da una femmina sessualmente esperta che, messa in gabbia con un maschio con cui era apparentemente in buoni rapporti, rifiutò per tre periodi di calore di accoppiarsi, ma che si accoppiò immediatamente quando fu messa in gabbia con un altro maschio. In un caso simile, un maschio trascurava una femmina recettiva che stava nella sua gabbia (una con cui si era accoppiato

ripetutamente in passato) per masturbarsi alla vista di una giovane femmina inesperta che veniva fatta passare accanto alla gabbia. Questi sono fenomeni di libero arbitrio.

Il significato del libero arbitrio sta in due ordini di fenomeni: da una parte la cessazione del predominio assoluto esercitato dalla situazione ambientale momentanea, dall'altra il ruolo decisivo assunto dal pensiero nel controllo del comportamento. Questo tipo di comportamento non è prevedibile nè in linea teorica, nè in pratica, ma non implica un concetto filosofico di indeterminazione. Non è prevedibile in linea teorica, perché non c'è modo di accertare qual'è il tipo di attività presente in un dato momento nelle operazioni enormemente complicate del cervello dei Mammiferi. Né l'osservatore, né lo stesso soggetto (come abbiamo visto sopra) possono conoscere quale sia la configurazione 'inconscia' del pensiero finché essa non si estrinseca in comportamenti. Da un punto di vista fisiologico, diecimila elettrodi nel cervello, anche se sapessimo dove collocarli, non ci direbbero abbastanza da permetterci di determinare quale sia tale configurazione a ogni dato momento. Perciò il corso del pensiero è imprevedibile, ma niente di tutto ciò esclude il determinismo. L'aver libero arbitrio significa che il pensiero è libero di seguire il proprio corso secondo il proprio ordine interno (sulle cui regole ancora conosciamo troppo poco) ma non che manchi di tale ordine.

Appare quindi chiaro che nel corso dell'evoluzione è comparsa, specialmente nei Mammiferi con cervello di grandi dimensioni, una serie di caratteristiche quali l'ideazione, la finalità, la volontà. Le prove di cui disponiamo indicano che esse, insieme alla sensibilità emotiva (della quale parleremo in seguito) non sono comparse all'improvviso nell'uomo ma si sono evolute gradualmente. (La sola chiara differenza fra l'uomo e gli altri animali, per quanto risulta dalle prove in nostro possesso, è rappresentata dalla capacità dell'uomo di parlare). L'ideazione, la finalità e la volontà sono caratteristiche essenziali della coscienza e quindi si può concludere in via teorica che la coscienza stessa è un prodotto dell'evoluzione, del tutto assente nelle specie più semplici come la mosca e il verme, ma chiaramente presente nei Mammiferi. Presumibilmente, tuttavia, lo sviluppo della coscienza è avvenuto, nel corso della filogenesi, per tappe molto graduali e non è quindi possibile tracciare una linea di demarcazione netta tra le specie esistenti che separi quelle provviste di coscienza e quelle che coscienza non hanno.

L'idea che l'animale inferiore, che è attivo e reattivo all'ambiente, non sia conscio, può sembrare ancora una volta non troppo plausibile e tale da non poter essere seriamente presa in considerazione. Ma l'attività e la reattività non sono sufficienti per dimostrare la presenza di coscienza, neanche nell'uomo. Nell'uomo infatti la respirazione e le altre attività riflesse continuano anche nel sonno più profondo, nel coma o sotto anestesia generale. Non si ritiene poi che vi sia coscienza nella parte inferiore del corpo, nel paraplegico per sezione del midollo spinale, sebbene rimanga la reattività riflessa (reattività riflessa che del resto è presente anche nel corpo di un serpente decapitato, del quale anche si nega l'esistenza della coscienza). Il fatto che il verme sia

attivo in via riflessa, non vuol dire che sia capace di pianificare, di decidere, di avere paura o di provare dolore al pari dell'uomo, capacità queste che, con l'unica eccezione dell'ultima, sono tutte caratteristiche essenziali dello stato conscio.

3. L'ambiente e lo sviluppo della mente

La dipendenza della mente e della coscienza dall'ambiente fisico è ovvia sotto certi aspetti, dal momento che la vita è possibile solo in una ristretta gamma di temperature, che l'ossigeno deve essere sempre disponibile, e via dicendo. Non è altrettanto ovvio che lo sviluppo della mente e il suo mantenimento alla maturità possano dipendere interamente da un ambiente sensoriale normalmente variato: dal vedere, udire, toccare il mondo circostante nelle sue manifestazioni più complesse. Lo sviluppo di una intelligenza e di una personalità umana dipendono dalla qualità di questa variata esperienza durante l'infanzia e la fanciullezza, e anche nella maturità l'efficacia della funzione mentale continua a dipendere da essa.

Prenderemo ora in esame l'influenza dell'ambiente durante il periodo della crescita, ritornando poi a considerarne l'importanza alla maturità come è dimostrato dagli esperimenti sulla cosiddetta 'deprivazione sensoriale'.

È noto da tempo che la mancata esposizione di un bambino a un ambiente normale, comprendendo in questo sia le attenzioni materne sia quell'insieme di suoni e di immagini appartenenti normalmente all'ambiente degli adulti, può produrre un evidente ritardo di sviluppo. Una prova chiarissima di questo fatto si è avuta in certi orfanotrofi nei quali l'assistenza fisica ai bambini è eccellente ma quella psicologica, a causa presumibilmente di carenza di personale, è quasi inesistente: il bambino viene nutrito, tenuto pulito, ma nessuno gioca con lui. Egli giace quasi sempre di fronte a un soffitto spoglio, completamente circondato dalle tende bianche che rivestono i lati del lettino (per un panorama riassuntivo della letteratura sull'argomento, v. Hunt, 1961).

In un caso limite, W. Dennis (v., 1960) rilevò come soltanto l'otto per cento dei bambini, giunti all'età di tre anni, fosse in grado di camminare da solo. Questa deficienza di sviluppo motorio è accompagnata da apatia e da un'esagerata tendenza a evitare qualsiasi cosa nuova. Per quanto riguarda l'effetto sull'intelligenza, W. Goldfarb (v., 1945) ha rilevato una differenza di 23 punti nel quoziente di intelligenza (Q.I.) di due gruppi di bambini: quelli che avevano passato i tre primi anni di vita in un orfanotrofio e quelli che erano stati sistemati presso genitori adottivi fin dal primo anno. I due gruppi erano omogeni per quanto riguarda le altre variabili e i test vennero effettuati all'età di circa 12 anni.

Numerosi esempi tratti da studi su animali confermano la conclusione che lo sviluppo dell'intelligenza e delle caratteristiche motivazionali ('personalità', o 'temperamento') richiede l'esposizione all'ambiente normale - o a un ambiente normale - della specie. Alcuni Terriers scozzesi furono allevati individualmente in piccole gabbie senza poter vedere o avere contatto alcuno né con gli altri cani (di cui potevano però udire il rumore e sentire l'odore) né con i loro guardiani (v. Thompson e Heron, 1954; v. Melzack e Scott, 1957). Alla maturità perciò non avevano né esperienza sociale né esperienza di relazioni spaziali o delle comuni situazioni in cui si viene a trovare normalmente un cane. Altri cuccioli della stessa figliata, come gruppo di controllo normale, furono anch'essi allevati individualmente ma come cani domestici presso privati. Alla maturità i cani in esperimento (allevati in gabbia) mostrarono una persistente inferiorità nella capacità di risolvere semplici problemi (fra cui le 'risposte ritardate') e nell'apprendimento del test del labirinto: essi non potevano essere allevati e addestrati, il loro comportamento era così strano da essere difficilmente descrivibile e del tutto dissimile da ciò che esperti allevatori di cani avevano visto prima di allora. Simili sorprendenti risultati sono stati ottenuti da H. F. Harlow (v., 1958) con scimmie allevate in isolamento: il comportamento sociale, l'interazione con le altre scimmie erano profondamente disturbati, e il comportamento sessuale e materno del tutto inadeguati.

Questi studi su animali dimostrano che i dati umani (i citati difetti di comportamento in bambini allevati in semi-isolamento) non sono artefatti dovuti a una disattenta selezione. Precedenti critiche a questi risultati sostenevano che i bambini provenivano da famiglie povere e che avrebbero mostrato i difetti in questione in qualsiasi modo fossero stati allevati. Se qualche dubbio di questo tipo fosse rimasto, i dati ottenuti dagli studi condotti sugli animali lo hanno fugato. E questo ci porta ora al problema eredità-ambiente. Un ulteriore merito delle ricerche descritte è quello di indicarci come analizzare più logicamente e intelligentemente i rapporti fra l'eredità e le variabili ambientali, specialmente l'apprendimento.

Consideriamo un caso specifico. R. C. Tryon (v., 1940) ha dimostrato, con una lunga serie di ricerche condotte all'Università di California, che si possono selezionare ceppi di ratti da laboratorio rispetto alle loro buone o scadenti prestazioni nel labirinto, in modo da ottenere rispettivamente linee di animali intelligenti e linee di animali torpidi. Egli fece accoppiare fra di loro per varie generazioni i maschi e le femmine con punteggi migliori e i maschi e le femmine con punteggi peggiori e osservò che alla settima generazione quasi ogni animale della linea intelligente otteneva nel labirinto un punteggio migliore di ogni animale della linea torpida. Si ritenne che questi risultati dimostrassero ampiamente che l'intelligenza è ereditata e che l'esperienza esercita su di essa una scarsa influenza.

In seguito però fu reso noto un risultato apparentemente in contraddizione, proveniente da esperimenti su ratti eseguiti alla McGill University (v. Hymovitch, 1952; v. Forgays e Forgays, 1952) prima degli esperimenti già ricordati sui cani. Ora sembrava che fosse l'ambiente a determinare il livello d'intelligenza, non l'eredità: ratti

cresciuti in condizioni favorevoli erano costantemente superiori, nell'apprendimento del test del labirinto, a ratti cresciuti in condizioni di restrizione. Condizioni favorevoli al loro sviluppo erano ottenute allevando i ratti, invece che nelle solite piccole gabbie, in una grande scatola contenente oggetti posti in modo tale da permettere agli animali di fare esperienze varie, come andare da un punto all'altro percorrendo cammini diversi, o come uscire fuori da un vicolo cieco, e via dicendo. L'ambiente ristretto, o sfavorevole, consisteva in piccole gabbie individuali, molto comode, con cibo e acqua sempre a disposizione, ma tali da non porre alcun problema all'animale e da fornirgli scarsissime opportunità d'imparare qualche cosa. In test fatti alla maturità, dopo che entrambi i gruppi erano stati allontanati dai loro ambienti speciali, i ratti allevati nell'ambiente favorevole (o 'arricchito') commettevano circa la metà degli errori commessi da quelli allevati in condizioni di restrizione. Si constatò anche che l'effetto era duraturo: se infatti gli animali allevati nell'ambiente favorevole, giunti alla maturità, venivano trasferiti in quello sfavorevole per un periodo della stessa durata, non si cancellavano gli effetti delle migliori condizioni d'allevamento; e, parallelamente, se pervenuto alla maturità il gruppo allevato in restrizione veniva posto nell'ambiente arricchito, non si annullavano i danni causati dall'ambiente sfavorevole.

A prima vista i due risultati sperimentali sembravano in contraddizione: l'esperimento fatto in California indica che l'intelligenza viene ereditata, quello della McGill University che è acquisita. In realtà non c'è contraddizione: nel primo esperimento i ratti erano stati tutti allevati nelle solite gabbiette, con un ambiente praticamente identico, e quindi senza alcuna possibilità che questo esercitasse un influsso; nel secondo, il fatto di usare ratti della stessa figliata impediva all'eredità di manifestare un effetto, dal momento che i due gruppi avevano in media lo stesso patrimonio ereditario. Quello che in realtà dimostrano i due esperimenti è che sia l'eredità sia l'ambiente sono importanti nel determinare l'intelligenza. Inoltre una logica elementare ci dimostrerà che non si può dire che uno dei due fattori è più importante dell'altro: per esempio è errato affermare che l'intelligenza umana è determinata per l'80% dall'eredità e per il 20% dall'ambiente (come è stato detto). L'errore qui sta nel considerare le influenze dovute ai due fattori come additive, come cioè se uno di essi potesse da solo produrre una frazione della normale intelligenza umana. Entrambi sono invece essenziali: senza un'eredità umana non vi potrebbe essere una intelligenza umana, senza l'ambiente favorevole fornito dall'utero prima della nascita e senza un ambiente favorevole dopo la nascita non potrebbero esistere esseri umani e quindi non potrebbe esistere un'intelligenza di alcun genere. Se si dovessero quantificare questi fattori allora dovremmo dire che ciascuno di loro è importante al cento per cento, e che il loro modo di operare è moltiplicativo piuttosto che additivo, vale a dire che se entrambi i fattori sono bassi anche il prodotto sarà tale.

Incidentalmente, ci sono state molte inutili discussioni sulla differenza d'intelligenza esistente fra popoli diversi, effettuando dei paragoni specialmente fra bianchi e negri negli Stati Uniti. Tali discussioni si sono dimostrate infruttuose perché - ripetendo l'errore ora discusso - ci si è chiesti se l'intelligenza sia ereditata, o in che misura lo sia, e anche perché non ci si rende generalmente conto di quale grande effetto possa avere sul Q.I. un tipo di allevamento effettuato in un ambiente che, pur favorevole alle condizioni di sopravvivenza, non lo è affatto da un punto di vista psicologico. Come abbiamo visto, i dati di Goldfarb mostrano che tre anni in un orfanotrofio possono abbassare il Q.I. di 23 punti (bambini allevati da genitori adottivi, media: 95; bambini allevati in orfanotrofio, media: 72). Questo risultato è in accordo poi con l'abbassamento del Q.I. che si riscontra in bambini più grandi, oltre i cinque anni, mantenuti in ambienti che erano stati più o meno adatti fino a quell'età ma che sono poi divenuti insufficienti: Q.I. 87 a sei anni; Q.I. 60 a dodici anni (v. Gordon, 1923; dati ottenuti esaminando bambini che vivono su battelli fluviali in Inghilterra). Non c'è modo al momento di valutare di quale entità sia l'effetto degli ambienti inadatti nei quali la maggior parte dei bambini negri è costretta a crescere, e d'altra parte non si può ritenere che tale effetto consista soltanto in un abbassamento di qualche punto nel Q.I. Un'altra fonte di confusione è credere che l'entità di tale effetto possa essere stimata dal valore della varianza nel Q.I. attribuibile a cause ambientali. Ciò è completamente illogico, come si può vedere facendo un esempio ipotetico. Se tutti i bambini di ceto X fossero fatti crescere in ambienti egualmente deficitari, con conseguenti bassi Q.I., la varianza attribuibile ai loro ambienti sarebbe 0 e quindi la conclusione sarebbe che l'ambiente deficitario non è un fattore determinante l'abbassamento nel Q.I.: il che è evidentemente una sciocchezza. Non c'è modo, a meno di condurre un esperimento su un campione molto grande (e del tutto poco pratico), di stabilire se il bambino negro medio, la cui madre abbia avuto un nutrimento adeguato durante la gravidanza, sia nato con un cervello efficiente come quello del bambino bianco medio (o con uno migliore o peggiore), che è poi in fin dei conti il nocciolo della questione.

Queste acquisizioni sullo sviluppo dell'intelligenza nella filogenesi e nell'ontogenesi sono state presentate come dati di fatto riguardanti la natura e le origini della mente e della coscienza. Il genere di apprendimento di cui l'uomo o l'animale sono capaci e il genere di problemi che essi possono risolvere forniscono un indice del livello di complessità a cui funziona il loro cervello: tuttavia possono apparire limitati come indici della qualità di coscienza, per cui possiamo ora allargare la base della nostra discussione guardando allo sviluppo dell'emozione in parallelo a quello dell'intelligenza.

4. Sensibilità emotiva

È naturale ritenere che un'evoluzione del comportamento si debba manifestare come uno sviluppo dell'intelligenza che permetta all'animale superiore di affrontare più efficacemente l'ambiente. Tuttavia gli esempi che ci permetterebbero di tracciare una tale linea di sviluppo sono discontinui e frammentari. Si è rivelato molto difficile escogitare test che permettano un valido raffronto dell'intelligenza di specie diverse, eccetto che per i suoi aspetti più generali. Inoltre il divario intellettuale fra l'uomo e i suoi parenti più vicini, le grandi scimmie, è molto notevole. Nel campo dell'emozione invece la linea di sviluppo appare assai più chiara e non vi è divario che separi l'uomo dalla scimmia.

Il quadro comparativo dell'ira fornisce un primo esempio. Negli animali da laboratorio con cervello di piccole dimensioni, topo, ratto e porcellino d'India, non c'è niente che permetta di postulare l'esistenza di questo speciale atteggiamento aggressivo; vi può essere lotta, ma mai quella temporanea ostilità, in genere fra membri della stessa specie o dello stesso gruppo sociale, che si riscontra nell'uomo (o nello scimpanzé) per torti anche minimi (o addirittura senza una ragione apparente). In questi roditori poi, non c'è segno di gelosia o di quelle peculiari forme di comportamento quali il 'mettere il broncio' e gli infantili scoppi di collera. Il cane può mostrare gelosia e qualcosa che ricorda molto il mettere il broncio. Tuttavia lo scimpanzé mostra l'intera gamma umana di risposte - gelosia, imbronciamento, scoppi di collera e la rabbia (aggressione improvvisa e violenta ma transitoria) - e per di più mostra un tale comportamento in risposta a provocazioni caratteristicamente umane.

La peculiarità dell'atteggiamento imbronciato consiste nel rifiuto di accettare qualcosa che l'animale desiderava e che gli è stato negato: in un caso, una femmina di scimpanzé a cui era stata negata una razione di latte in più rifiutò tutto il latte per due o tre giorni, ma lo rifiutò addirittura per tre settimane dallo stesso inserviente che le aveva negato la razione in più. Questa è un'osservazione insolita, ma suggerisce che per quanto riguarda il mettere il broncio, lo scimpanzé differisce dall'uomo solo nella frequenza di attuazione di questo sorprendente comportamento. Per quanto riguarda poi gli scoppi di collera infantili non sembra esserci alcuna differenza, e chiunque abbia avuto a che fare a lungo con bambini riconoscerà subito la collera del giovane scimpanzé per quello che è: uno stizzito tentativo di modificare il comportamento dell'adulto. Se gli è stato rifiutato qualcosa da parte della madre, il piccolo scimpanzé sembra intenzionato a farsi del male fino a ottenere ciò che vuole: batte la testa contro il pavimento, si strappa o tenta di strapparsi manciate di peli dal corpo o fa finta di soffocare, tutto questo mentre tiene furbescamente d'occhio la madre per vedere che effetto sta ottenendo.

Anche per quello che riguarda la cause scatenanti l'accesso d'ira lo scimpanzé è di nuovo indistinguibile dall'uomo. Un maschio era adirato solo perché la femmina in calore in un'altra gabbia non voleva sedere dove lui se la potesse rimirare. Anche fare rumore può essere causa di collera (perfino quando il rumore è

rappresentato soltanto dal continuo lamentarsi della compagna di gabbia che è stata derubata del cibo e ora viene percossa per le sue lamentele). Un rimprovero dello sperimentatore per una risposta sbagliata può avere lo stesso effetto; anche il solo fatto di sbagliare la risposta può essere sufficiente, ma il rimprovero è più efficace. Ciò che causa la collera non è la frustrazione di per sé ma essenzialmente la frustrazione intenzionale: cioè, non è tanto la privazione di qualcosa o il male subito in sé ma il fatto che qualcuno è responsabile di queste azioni. Ad esempio, uno scimpanzé non venne disturbato emotivamente da uno scroscio di acqua dal tetto in seguito a un acquazzone, ma si arrabiò quando un altro scimpanzé gli sputò dell'acqua addosso, anche se non venne colpito. La percezione di un intento contrario a ciò che si desidera o dell'intenzione di recare disturbo è un fattore di prima importanza in un tale tipo di comportamento. Da ciò appare evidente che l'adattamento dello scimpanzé al suo ambiente implica una fondamentale coscienza delle relazioni sociali a un livello di una certa complessità. La percezione delle intenzioni altrui non è sempre esatta - una femmina ad esempio era considerata dai suoi guardiani come 'facile a immaginare sgarbi' - comunque anche una percezione erronea di questo tipo è certamente ad alto livello. È proprio questo elemento cognitivo che separa lo scimpanzé dal cane e che, d'altro canto, ne fa quasi una caricatura dell'emotività umana.

Per quanto riguarda la paura, reazioni di fuga irrazionali sono comuni sia nell'uomo sia nello scimpanzé, e notevolmente simili. Il raffronto ci obbliga ad avere una visione più realistica dell'emotività umana: un altro punto sul quale l'approccio biologico al comportamento umano apre nuove prospettive. L'uomo, specialmente l'uomo 'civilizzato', si considera un essere razionale, di regola calmo e imperturbabile; ma egli sistema costantemente le cose in modo da limitare il rischio di doversi esporre a qualsiasi situazione che incuta paura, orrore o disgusto, ed è solo questo che gli permette di ritenersi meno emotivo degli animali selvaggi. È sorprendente come nel descrivere la natura e la società umana si siano sistematicamente taciute le paure e le avversioni irrazionali dell'uomo adulto. Noi ci consideriamo tranquilli per natura eccetto quando accade qualcosa d'insolito, mentre lo scimpanzé è considerato un animale selvaggio con cui è pericoloso avere a che fare. Ma anche lo scimpanzé, quando viene osservato nel suo ambiente naturale, è tranquillo; questo presumibilmente perché può evitare il più delle volte tutto ciò che è fonte di pericolo e di terrore. Lo scimpanzé in gabbia non controlla il suo ambiente e come risultato talvolta sembra essere un groviglio di paure e di antipatie: cioè, in altri termini, un animale selvaggio. Ma alcune delle cose che lo disturbano ricordano cose che disturbano anche l'uomo, e ciò induce a ritenere che bisogna rivedere il concetto dell'apparente stabilità emotiva dell'uomo.

Ci si accorge allora di quanto emotivo sia l'uomo, dopo tutto, e di quanto necessaria sia la protezione resa possibile da ciò che chiamiamo civilizzazione: protezione non solo dai pericoli fisici ma, attraverso le regole del comportamento sociale, delle buone maniere, della cortesia e della morale, protezione anche da tutto ciò

che può provocare collera, paure irrazionali e disgusto. Così protetto, l'uomo può essere tranquillo. Ma i segni di suscettibilità a un'ampia gamma di disturbi emotivi sono ancora presenti, quando uno li cerca. La paura dei topi, dei ragni, dei pipistrelli; il disgusto all'idea di qualche cibo 'impuro' (l'avversione degli Ebrei per la carne di maiale è pari a quella di altri popoli verso altri cibi, per non citare poi un comune atteggiamento verso il cannibalismo); e inoltre la frequenza di depressioni, ansietà, fobie; la forza dei tabù rappresentati da certe parole e azioni di per sé insignificanti; la xenofobia, la facilità a ritenersi offesi, le guerre combattute per idee religiose, tutti questi fenomeni devono essere considerati come esempi di una caratteristica fondamentale della specie, per quanto grande possa essere la variazione nei dettagli da una persona all'altra. L'uomo è un animale razionale e non emotivo purché non venga esposto ad alcuna tra le tante situazioni di vario genere capaci di eccitare la sua emotività.

Una particolare suscettibilità presentata dallo scimpanzé ci ricorda un altro aspetto dell'emotività umana, dimenticato da tutti i trattati: i disturbi causati dalla vista di un corpo morto o di corpi mutilati o smembrati. Lo scimpanzé adulto è terrorizzato alla vista di un modello di testa di scimpanzé, come anche di vari oggetti in relazione ad esso. (Il genere di emozione suscitata può non essere la paura ma l'orrore, in certi casi comunque è di estrema intensità). Lo scimpanzé allevato in gabbia non ha alcuna conoscenza della morte, e difficilmente confonde un modello di testa in gesso, grande la metà di una testa naturale, con una testa vera. Da ciò sembra che si possa dire che si tratta di qualcosa di essenzialmente percettivo: presumibilmente una sorta di conflitto fra l'esperienza passata dell'aspetto che ha uno scimpanzé vivo e ciò che viene visto ora. Tutto questo si accorda con quanto accade nell'uomo. Si pensa talvolta che le reazioni umane nei confronti del cadavere siano di natura appresa, cioè spiegabili in base a insegnamenti ricevuti e alla paura della morte. Ma disturbi strettamente collegati ai precedenti, quali quelli dipendenti dalla vista di un'operazione chirurgica, che avendo lo scopo di prolungare la vita ha un significato opposto, dimostrano che questo tipo di reazione rappresenta qualcosa di più fondamentale. Non è sorprendente che il film di un'operazione sul cuore umano possa causare nausea e svenimenti nel pubblico. Queste sono semplici percezioni dirompenti lo stato di coscienza.

Una considerazione finale: proprio come l'emotività e l'intelligenza sono correlate nella filogenesi, in quanto l'animale più in alto nella scala è il più emotivo, così esse sono correlate anche nell'ontogenesi. È proprio il genitore umano, l'adulto invece del bambino, a essere turbato alla vista del sangue e al racconto di storie di orchi che mangiano i bambini e ne macinano le ossa per fare il pane. Nell'esperimento con gli scimpanzé riferito prima, i più piccoli non prestavano alcuna attenzione al modello di testa staccata di scimpanzé, quelli di età media (cinque-sei anni) erano affascinati e attratti da esso, mentre proprio gli adulti urlavano, defecavano e correivano via visibilmente terrorizzati. È appunto l'alto grado di sviluppo della coscienza, l'elaborato processo mentale dell'adulto di una specie più evoluta che rivelano questa fragilità di

organizzazione e che vengono così facilmente turbati. È comprensibile, dopo tutto, che un'organizzazione più complessa possa venire più facilmente disorganizzata. Una sveglia di poco prezzo sopporta un cattivo trattamento meglio di un cronometro di gran pregio. I meccanismi più semplici mancano di precisione ma sono più robusti. È forse quindi ragionevole pensare che gli elaborati processi del pensiero dell'uomo adulto abbiano bisogno di un ambiente sensoriale che fornisca un certo grado di protezione, senza discostarsi di molto dalla forma in cui abitualmente è percepito.

5. L'ambiente sensoriale nel periodo della maturità

Dobbiamo prendere ora in considerazione alcuni problemi che sorgono a proposito della relazione esistente fra la mente o la coscienza e l'ambiente sensoriale. L'analisi delle emozioni ha mostrato che certi avvenimenti apparentemente di scarsa importanza - come la vista di un pezzo di argilla modellato a forma di testa, nel caso dello scimpanzé, o la vista del sangue per l'uomo - possono essere talmente sconvolgenti da causare panico o svenimento; e c'è ragione di ritenere che le comuni arrabbiature e paure della vita di tutti i giorni lo siano altrettanto nei riguardi del pensiero, sebbene i loro effetti sul comportamento, se sono tali da por fine alla stimolazione sconvolgente, possano avere un valore energizzante e organizzante. Vale a dire che l'ira può fornire energia per l'attacco (o per la minaccia d'attacco), la paura può fornire energia per la fuga. D'altronde abbiamo visto in un capitolo precedente (v. cap. 3) che l'ambiente sensoriale del bambino ha una funzione importantissima nello sviluppo, nel senso che la presenza di un ambiente stimolante è necessaria allo sviluppo dell'intelligenza; vedremo poi che questa necessità non cessa neanche alla maturità. Quindi possiamo dire che l'ambiente sensoriale ha in certe circostanze un effetto favorevole, in altre un effetto di disturbo e di sconvolgimento.

Le relazioni esistenti fra ambiente sensoriale da un lato e mente o coscienza dall'altro, un tempo difficilmente inquadrabili in una visione unitaria, sono divenute chiare in seguito alla scoperta fatta da G. Moruzzi e H. Magoun nel 1949. Con metodi fisiologici questi ricercatori dimostrarono l'esistenza nel tronco dell'encefalo di una struttura la cui attività è necessaria al mantenimento della coscienza ma che probabilmente, se diventa iperattiva, può disturbare la coscienza stessa (v. sistema reticolare ascendente).

La formazione reticolare mesencefalica, insieme ad altre strutture collegate, mantiene il livello generale di eccitabilità della corteccia e facilita la trasmissione intracorticale. Pertanto, presumibilmente, rende possibili tutte quelle complesse forme di attività che costituiscono il pensiero. La stimolazione della formazione reticolare in un gatto che dorme produce un'espressione elettroencefalografica di attivazione corticale e, dal

punto di vista comportamentale, lo stato di veglia. Le onde ampie e lente dell'elettroencefalogramma scompaiono, sostituite da onde più piccole e rapide e, contemporaneamente, il gatto si sveglia. In condizioni normali l'attività in questo sistema responsabile dello stato di veglia (noto anche come sistema reticolare attivatore ascendente) si alterna con quella di un sistema antagonista responsabile del sonno, situato nel tronco dell'encefalo nelle vicinanze del primo. Durante la fase di veglia, l'attività nel sistema attivatore viene mantenuta dalle varie stimolazioni sensoriali e da un feedback discendente dalla corteccia (cioè il sistema attivatore eccita la corteccia, e la corteccia a sua volta rieccita il sistema attivatore). Una stimolazione sensoriale quindi ha due effetti del tutto distinti: da una parte l'eccitazione va direttamente alla corteccia, dove può così guidare il comportamento; dall'altra, attraverso una branca della via sensoriale, va anche a raggiungere il sistema attivatore, mantenendone l'attività e tenendo così l'animale sveglio e responsivo all'ambiente. Possiamo chiamare queste due funzioni di un evento sensoriale l'una 'funzione di guida' (poiché dirige e controlla il comportamento), l'altra 'funzione di attivazione'. Ovviamente quest'ultima è indispensabile. Sebbene sia la funzione di guida che in effetti dirige il comportamento, è indispensabile anche, infatti, che vi sia uno stato di attivazione, altrimenti il messaggio dall'organo di senso si spegnerebbe non appena raggiunta la corteccia. Per guidare il comportamento, qualsiasi messaggio deve essere trasmesso al sistema motorio; per dar luogo a una percezione dell'ambiente deve penetrare e modificare l'attività sia corticale che sottocorticale che costituisce la coscienza; per avere un effetto non solo momentaneo deve infine lasciare traccia della modificazione che porta dando luogo a una memoria. Quindi l'ambiente sensoriale ha due effetti distinguibili: una funzione di guida del comportamento e una funzione di mantenimento di quello stato di attività corticale e di responsività all'ambiente che chiamiamo coscienza.

Se poi, come sembra avvenire, il livello di attività nel sistema attivatore può variare da valori molto bassi a valori molto alti, rimanendo normalmente a un livello intermedio nelle ore di veglia, diventa allora possibile un quadro teorico che ci rende ragione delle variazioni, altrimenti inesplicabili, nella relazione fra coscienza e ambiente. Quando il livello d'attivazione è basso - cioè quando c'è scarsa attività nel sistema attivatore - il soggetto è inconscio ed è possibile solo una responsività riflessa, a meno che non sopraggiunga una stimolazione ambientale abbastanza forte da portare il livello di attivazione ai valori della veglia. A livelli moderati di attivazione, invece, il soggetto è conscio e gli eventi sensoriali possono avere i loro propri effetti, fra cui lo sviluppo del pensiero nel bambino e quello di risposte comportamentali modulate dal pensiero. Ad alti livelli, tuttavia, l'attivazione può produrre attività corticali fra di loro contrastanti e che si annullano a vicenda, danneggiando drammaticamente sia la coscienza sia l'adattamento all'ambiente. Un esempio: un pedone, all'improvviso, senza che nessuno lo abbia avvertito, si accorge di attraversare la strada mentre sopraggiunge un'auto a forte velocità. L'alta attivazione causata da questa percezione facilita sia l'idea di fare

un balzo in avanti per mettersi al sicuro, sia di farlo all'indietro. L'effetto netto, per un momento, è un movimento mancato. Questa spiegazione teorica è solo teorica e anche se coglie nel segno richiederà senza dubbio qualche correzione nei dettagli; ma i fenomeni comportamentali descritti sono ben noti ed è soltanto il sistema attivatore di Moruzzi e Magoun che ne ha suggerito una spiegazione intelligibile e un modo per collegare questi fenomeni con altri aspetti del comportamento.

In questo modo di considerare tali fenomeni si può parlare di 'funzione di guida' intendendo l'efficacia della stimolazione sensoriale nel guidare la risposta, particolarmente quel tipo di risposta che dipende dalla percezione e dal pensiero. La funzione di guida è bassa quando il livello di attivazione è basso (a sinistra nel diagramma), sale al livello più alto con l'aumentare del livello di attivazione, a mano a mano che il soggetto si sveglia completamente, ma poi cade di nuovo quando il livello di attivazione diventa troppo alto (a destra nel diagramma). La funzione di guida non è a livello zero nemmeno nel sonno profondo, poiché una certa responsività riflessa è sempre presente; ma sale rapidamente non appena si aprono gli occhi, al momento del risveglio. È allora possibile a questo punto un comportamento modulato dal pensiero. Un certo tipo di attività, come ad esempio risolvere un problema difficile o maneggiare un'apparecchiatura complessa, può essere possibile solo quando la funzione di guida è al suo massimo, in una ristretta zona ottimale di attivazione; ma altri generi di attività che richiedano un grado minore di pensiero e di coordinazione motoria possono aver luogo sotto un'ampia gamma di livelli di attivazione, dai più bassi fino ai più alti. L'essere assonnato, o arrabbiato, o impaurito potrebbe senz'altro impedire di accorgersi che un amico è preoccupato oppure di rispondere a una critica con il tatto che sarebbe possibile in altre circostanze; ma né il basso livello di attivazione tipico della sonnolenza né l'alto livello di attivazione della collera potrebbero interferire con l'ordinare e pagare una tazza di caffè o con il dare un'occhiata all'orologio e vedere che ora è.

Il punto basso della curva sulla destra significa che una risposta efficace all'ambiente può quasi scomparire quando il livello di attivazione è molto alto: si tratta del caso della 'paralisi da terrore' e altri stati relativi. Studi condotti su soldati in battaglia (v. Marshall, 1947) e su civili in situazioni di emergenza (v. Tyhurst, 1951) rivelano che sia un pericolo prolungato sia un'improvvisa minaccia di morte possono ridurre quasi a zero l'efficacia del pensiero e del comportamento. In un reparto di fanteria ben addestrato, probabilmente meno di un quarto degli uomini riesce a sparare con il fucile quando si trova di faccia al nemico, e tanto meno a mirare accuratamente. In improvvise situazioni di emergenza, anche nella vita civile, si può contare solo su una medesima piccola proporzione di persone che siano capaci di agire in modo intelligente e organizzato. All'altro estremo di comportamento, delle persone a cui venga detto che la loro vita dipende da una pronta azione, un 15-25 per cento può essere del tutto incapace di muoversi; o può mostrare, tramite azioni irrilevanti e senza scopo, che il proprio pensiero è disorganizzato. L'impedimento non è né momentaneo né superficiale,

poiché queste persone muoiono se non vengono prese per mano (talvolta addirittura sollevate e trasportate) e condotte fuori pericolo.

Quindi, in linea teorica, un alto livello di attivazione è capace di disorganizzare in maniera grave la coscienza umana. Guardiamo ora a una diversa causa di disorganizzazione, anch'essa relativa all'ambiente sensoriale: la sottoattivazione, teoricamente prodotta dall'isolamento sensoriale.

È importante sottolineare che queste interpretazioni, in entrambi i casi, sono teoriche. Non si può essere sicuri al momento che la paralisi da paura sia semplicemente causata da una sovrattivazione, né che i disturbi che si verificano con l'isolamento siano causati da sottoattivazione. Tuttavia, le condizioni sperimentali nelle quali è stato studiato l'isolamento comportavano in generale un alto grado di monotonia, ed è noto che una stimolazione monotona perde rapidamente la sua capacità di produrre un'attivazione. In mancanza di altre spiegazioni, possiamo ragionevolmente concludere che gli effetti disorganizzanti dell'isolamento sensoriale sono causati da un livello di attivazione anormalmente basso durante le ore di veglia (naturalmente un basso livello di attivazione è normale durante il sonno).

Diamo ora la descrizione di alcuni fenomeni osservati e delle condizioni in cui furono ottenuti (esperimenti condotti alla McGill University: v. Bexton e altri, 1954).

Studenti universitari vennero pagati 20 dollari al giorno (7.300 dollari l'anno era, a quel tempo, lo stipendio di un professore associato) per non fare niente. Il soggetto giaceva su un comodo letto in una piccola cabina con aria condizionata e gli occhi venivano coperti con un plastica traslucida capace di lasciar filtrare la luce ma tale da non consentire la visione delle forme. (Le luci venivano tenute accese 24 ore al giorno e questa può essere stata una delle cause della riscontrata frequenza di allucinazioni visive). Agli avambracci dei soggetti venivano applicati lunghi tubi che si estendevano oltre la punta delle dita, in modo da impedire o comunque minimizzare le percezioni tattili. Anche gli orecchi erano coperti da un cuscino di gommapiuma nel quale era collocato un piccolo altoparlante per comunicare con il soggetto: con questo mezzo si potevano sottoporre al soggetto problemi orali come calcoli aritmetici e anagrammi mentali, mentre le risposte potevano essere ricevute tramite un microfono sospeso sopra il torace; allorché l'altoparlante non era in uso, emetteva un ronzio basso e costante allo scopo di ridurre al minimo la percezione dei rumori del laboratorio.

La monotonia di questa situazione veniva interrotta oltre che dalla presentazione dei problemi, dai periodi in cui il soggetto, sempre con gli occhi coperti ma con le mani libere, era occupato a mangiare (il cibo era fornito su richiesta del soggetto stesso). I soggetti poi potevano andare, a richiesta, alla toilette. Quindi a parte la restrizione visiva, che era costante, si può calcolare che il soggetto fosse tagliato fuori da un normale ambiente sensoriale per 22 ore al giorno, e non per 24. Cionondimeno per qualcuno dei soggetti queste condizioni

sperimentali si rivelarono intollerabili dopo un brevissimo periodo di esposizione, mentre su quei soggetti che le tollerarono più a lungo esse provocarono drammatici cambiamenti. Nonostante una generosa retribuzione e il bisogno di denaro, alcuni soggetti non poterono sopportare queste condizioni per più di qualche ora e non furono molti quelli che riuscirono a sopportarle per più di due giorni. In coloro poi che resistettero più a lungo si verificarono marcati disturbi dell'intelletto e della motivazione.

La maggior parte degli studenti intraprese gli esperimenti con l'intenzione di programmare o di rivedere i propri piani di studio universitari. Per molti di loro la cosa più sorprendente di questa esperienza fu la perdita della capacità di pensare chiaramente: questo deficit era presente non solo per gli argomenti concreti ma anche per i sogni a occhi aperti e venne chiaramente dimostrato da un abbassamento della prestazione nei test di intelligenza. Il soggetto accoglieva con piacere ogni stimolazione verbale da parte dello sperimentatore, compresi i test, ma trovava anche che gli mancava l'energia per concentrarsi su un problema, una volta che gli veniva presentato. Infine i soggetti che sopportarono le più lunghe permanenze in isolamento, da tre a sei giorni, riferirono notevoli allucinazioni, per lo più visive (ad es., vedere una processione di occhiali marciare lungo la strada, o animali preistorici aggirarsi per la giungla), ma anche delle allucinazioni corporee che qui rivestono un valore altamente significativo.

Le allucinazioni corporee riguardano la coscienza di sé. Fu riferito da alcuni che due corpi sembravano occupare il cubicolo, e in un caso il soggetto era incerto circa quale dei due fosse il proprio. Un soggetto riferì che sentiva la testa staccata dal corpo. Altri riferirono una sensazione di 'essere un altro' oppure di 'estraneità corporea' che era difficile classificare ulteriormente. Per qualche soggetto sembrava che la mente stesse lasciando o avesse lasciato il corpo ("sembrava che qualcosa stesse succhiandomi via la mente attraverso gli occhi", "la mia mente era come una palla di cotone che galleggiava sopra il mio corpo"). Il concetto di sé e la coscienza di sé sono al centro del pensiero organizzato e resoconti come questi indicano una disorganizzazione a un livello profondo.

In effetti la mente e la coscienza dell'uomo sono più intimamente funzione del suo ambiente sensoriale (delle luci, dei suoni, dei sapori, degli odori e delle sensazioni cutanee della vita di tutti i giorni) di quello che si sarebbe mai sospettato. Da un punto di vista biologico ed evolutivo abbiamo considerato la mente, con la sua capacità di pensiero e di volontà, come una proprietà emergente del sistema nervoso, e l'abbiamo vista come un meccanismo che permette ai Mammiferi dotati di cervello di grosse dimensioni, e specialmente all'uomo, di sfuggire al rigido controllo da parte dell'ambiente. Tutte queste considerazioni restano ancora valide, ma dobbiamo riconoscere che neppure l'uomo è riuscito a sfuggire di molto a questo tipo di controllo.

Il sistema nervoso primitivo deve essere stato semplicemente un meccanismo di pronta ed efficace risposta a cambiamenti ambientali. Esso continua ad avere questa funzione nell'attività riflessa degli animali più altamente sviluppati, ma con lo sviluppo di un cervello di grandi dimensioni, e di una corteccia cerebrale, è comparso un meccanismo di controllo di ordine più elevato: il meccanismo cerebrale del pensiero. Era sembrato che il pensiero avesse reso l'uomo particolarmente indipendente, dal punto di vista psicologico, dall'ambiente attuale, da cui invece dipende dal lato fisico. L'uomo è capace mediante il pensiero di ritardare la risposta, di integrare stimolazioni passate e presenti, di anticipare il futuro, di trasportarsi con il pensiero in altri tempi e in altri luoghi, e ancora, mediante il pensiero, di dominare a volontà i comandi biologici primitivi, per lo meno quelli del dolore non troppo intenso, o della fame, o i bisogni sessuali. Ma questa apparente autonomia del pensiero è soltanto una semiautonomia. Il pensiero non è in realtà indipendente dall'ambiente presente. Si era sempre saputo che la chiarezza e l'efficacia del pensiero sono compromesse in situazioni di eccitamento eccessivo, di paura o di collera, ma si poteva pensare che si trattasse di situazioni atipiche. Quando però si osserva che la chiarezza e l'efficacia del pensiero vengono menomate anche in una situazione di scarso eccitamento, e quando si consideri per di più che gli esempi disponibili dimostrano come la capacità di pensiero del bambino non si sviluppi in ambienti limitati sensorialmente, allora bisogna riconsiderare il problema. I processi consci umani sono funzione di un moderato livello di attivazione, che a sua volta dipende dall'esposizione a situazioni moderatamente eccitanti. L'uomo adulto conscio ha fatto un lungo cammino nell'evoluzione ma continua, sia psicologicamente sia fisicamente, ad essere la creatura del suo ambiente.

bibliografia

Bexton, W. H., Heron, W., Scott, T. H., Effects of decreased variation in the sensory environment, in "Canadian journal of psychology", 1954, VIII, pp. 70-76.

Boring, E. G., A history of introspection, in "Psychological bulletin", 1953, L, pp. 169-189.

Dennis, W., Causes of retardation among institutional children, in "Journal of genetic psychology", 1960, XCVI, pp. 47-59.

Forgays, D. G., Forgays, J., The nature of the effect of free-environment experience in the rat, in "Journal of comparative and physiological psychology", 1952, XLV, pp. 322-328.

Goldfarb, W., Psychological privation in infancy and subsequent adjustment, in "American journal of orthopsychiatry", 1945, XV, pp. 247-255.

- Gordon, H., *Mental and scholastic tests among retarded children*, London 1923.
- Harlow, H. F., The nature of love, in "American psychologist", 1958, XIII, pp. 673-685.
- Hebb, D. O., *A textbook of psychology*, Philadelphia 1966 (tr. it.: *Manuale di psicologia*, Firenze 1970).
- Humphrey, G., *Thinking*, London 1951.
- Hunt, J. McV., *Intelligence and experience*, New York 1961.
- Hunter, W. S., The delayed reaction in animals and children, in "Behavior monographs", 1913, II, pp. 1-86.
- Hymovitch, B., The effects of experiential variations on problem-solving in the rat, in "Journal of comparative and physiological psychology", 1952, XLV, pp. 313-321.
- Köhler, W., *Mentality of apes*, London 1927.
- Marshall, S. L. A., *Men against fire*, New York 1947.
- Melzack, R., Scott, T. H., The effects of early experience on the response to pain, in "Journal of comparative and physiological psychology", 1957, L, pp. 155-161.
- Moruzzi, G., Magoun, H., Brain stem reticular formation and activation of the EEG, in "Electroencephalography and clinical neurophysiology", 1949, I, pp. 455-473.
- Thompson, W. R., Heron, W., The effects of restricting early experience on the problem-solving of dogs, in "Canadian journal of psychology", 1954, VIII, pp. 17-31.
- Tryon, R. C., Genetic differences in maze-learning in rats, in *Thirty-ninth yearbook of the National Society for study of Education. I.* (a cura di G. Montrose Whipple), Bloomington, Ind., 1940, pp. 111-119.
- Tyhurst, J. S., Individual reactions to community disaster. The natural history of psychiatric phenomena, in "American journal of psychiatry", 1951, CVII, pp. 764-769.
- Yerkes, R. M., *Chimpanzees*, New Haven 1943.

Alterazioni della coscienza

di Carlo Loeb

sommario: 1. Introduzione. 2. Modificazioni fisiologiche della coscienza. 3. Alterazioni della coscienza: a) alterazioni episodiche o transitorie; b) alterazioni prolungate o durature; c) il coma. 4. Conclusione.

1. Introduzione

La prima e inevitabile difficoltà che si incontra nell'affrontare argomenti connessi con le alterazioni della coscienza è rappresentata dal significato che si attribuisce a questo termine.

Nessuna definizione del termine 'coscienza' può infatti ritenersi soddisfacente se si vuole intraprendere lo studio della coscienza quale 'entità'. Limiteremo pertanto la trattazione al significato clinico dei termini 'coscienza e 'incoscienza' o meglio e alterazioni della 'coscienza'. Pur con questa precisa delimitazione, la definizione del termine 'coscienza' non appare certo agevole: basti pensare che alle ben diciassette definizioni raccolte da J. C. Miller (v., 1950) molte altre se ne sono successivamente aggiunte e che l'argomento delle alterazioni della coscienza è stato discusso in un vasto numero di simposi e congressi internazionali in questi ultimi quindici anni (v. Frederiks, 1969).

In via preliminare, prima di affrontare il problema con maggiori particolari, e seguendo l'opinione condivisa da molti autori, può essere utile indicare, come punto di riferimento, la definizione di S. Cobb (v., 1958), il quale intende la coscienza come 'consapevolezza di se stessi e dell'ambiente che ci circonda'. Ma se ci spostiamo nell'ambito psicopatologico, la definizione di coscienza può diventare confusa e indeterminata per gli influssi che alla psichiatria classica derivano da concezioni filosofiche diverse e alla psichiatria attuale anche da dottrine sociologiche. La coscienza, pertanto, ritenuta "fenomeno fondamentale e irriducibile" può assumere il significato di 'mente', di 'attività psichica generale', o, per i materialisti, di 'astrazione', di 'illusione', oppure, per Freud, di "semplice percezione passiva del reale" (per ulteriore discussione v. Ey, 1954; v. Kuhlenbeck, 1957). Altrimenti, seguendo Bleuler (v., 1963), bisogna addivenire a una dicotomia, separando le alterazioni degli stati di coscienza (Bewusstlosigkeit) associate a lesioni cerebrali organiche, dai disturbi di coscienza in senso lato (Bewusstseinsverschiebungen) pertinenti alla psicopatologia vera e propria.

La trattazione che segue sarà limitata, come abbiamo detto, ai problemi clinici posti dai disturbi di coscienza che implicano la consapevolezza di se stessi e del proprio corpo e i rapporti tra il soggetto e il mondo esterno, cioè le modalità di conoscere soggettivamente il mondo intorno a noi. Accanto a questi aspetti è stato proposto di includere anche i disturbi dell'ego, inteso come 'proiezione della personalità', vale a dire i disturbi dell'esperienza cosciente che provengono dalle modalità con cui il soggetto vive il proprio esistere nel mondo. Il problema da affrontare sarebbe allora costituito dalla disorganizzazione della personalità o psicopatologia

dell'ego che dovrebbe comprendere l'ego neurotico, l'ego paranoico, l'ego schizofrenico, ecc. Con questa impostazione, alterazioni della coscienza esistono in pressoché tutte le malattie, e per questa discussione, non certo definita al momento attuale e che non sarà affrontata in questa sede, si rimanda al lavoro di H. Ey (v., 1969).

In via preliminare, appare utile fornire un rapido cenno sulle differenze di terminologia nelle diverse lingue. In inglese e in tedesco esistono vocaboli diversi per 'coscienza morale' (conscience, Gewissen), e coscienza in senso psicologico e clinico (consciousness, Bewusstsein), ma nelle due lingue altri termini vengono comunemente usati con significato psicologico e clinico: awareness, Erlebnis, Benormmenheit, ecc. Viene inoltre spesso utilizzato oggi, anche in francese, italiano e spagnolo, il termine 'vigilanza' introdotto nel 1923 da H. Head col significato di "state of high grade physiological efficiency". Termini come 'vigilanza', 'coscienza grossolana' (crude consciousness), 'veglia attiva' possono essere considerati sinonimi e definire un particolare stato di coscienza, cioè una particolare modalità attuale dell'esperienza cosciente, ma possono generare confusione se usati senza le necessarie precisazioni.

Le modificazioni delle funzioni della coscienza nell'uomo possono essere distinte in due gruppi: a) modificazioni fisiologiche e, b) modificazioni patologiche o meglio alterazioni della coscienza.

2. Modificazioni fisiologiche della coscienza

Questo capitolo in fisiologia umana e animale viene identificato, almeno per gli aspetti più importanti e noti, con lo studio del sonno. Nel sonno, infatti, si interrompono fino all'abolizione le funzioni della vita di relazione, per cui si realizza un'abolizione circadiana delle funzioni di coscienza e subiscono importanti e frequenti fluttuazioni anche funzioni della vita vegetativa (frequenza del ritmo cardiaco, del respiro; valori della pressione arteriosa, secrezione gastrica, ecc.). La trattazione del sonno e dei meccanismi nervosi implicati in questa funzione è svolta nell'articolo relativo (v. sonno); alcuni particolari, tuttavia, possono essere qui illustrati per il loro valore indicativo nel contesto del fenomeno della perdita di coscienza e del problema generale dei meccanismi nervosi che entrano in gioco nel determinare la perdita di coscienza nel sonno.

Il sonno umano può essere distinto in due fasi essenziali: a) sonno lento o sonno non-REM o sonno ortodosso e, b) sonno rapido o sonno REM o sonno paradosso.

La denominazione lento o rapido è in rapporto con la concomitante attività elettroencefalografica che è, nel primo caso, costituita da attività lenta e nel secondo da attività rapida a basso voltaggio. La definizione REM

o nonREM si riferisce esclusivamente alla presenza o meno di movimenti oculari rapidi (REM = rapid eyes movements) che si registrano in questa fase associati ad attività rapida a basso voltaggio. La definizione di sonno paradossale, introdotta da M. Jouvet (v., 1967), sta ad indicare le particolarità elettroencefalografiche e le modificazioni del tono muscolare e della motilità oculare del sonno REM in antitesi con quelle del sonno non-REM, da più lungo tempo conosciuto e studiato e per contrasto denominato da alcuni sonno ortodosso.

Il sonno lento o non-REM si distingue poi in 4 stadi, che si diversificano, per i diversi tipi di attività elettrica cerebrale, in stadio 1, 2, 3, 4.

La definizione di 'sonno leggero' per il sonno lento (stadio 4) e 'sonno profondo' per il sonno rapido nasce dai rilievi sperimentali (specialmente studi sul sonno del gatto) e non può essere sostenuta, al momento attuale, per il sonno dell'uomo.

È interessante rilevare, a proposito dello studio della coscienza nel sonno, che, malgrado l'apparente perdita completa della funzione di coscienza, persiste un certo tipo di attività mentale, anche se con modalità operative particolari che al momento non è possibile precisare ulteriormente. E infatti si ritiene dimostrato che: alcuni stimoli sensoriali, anche se usualmente deformati, possono essere incorporati nel sogno senza provocare risveglio; stimoli della stessa natura e intensità provocano risveglio solo quando possiedono - come è esperienza comune - un contenuto emotivo e un significato personale per il soggetto; i sogni si manifestano esclusivamente durante il sonno paradossale o sonno REM; un certo tipo di attività mentale, pure se con minore certezza, è da alcuni autori ammessa anche nel sonno ortodosso o non-REM sotto forma di 'pensiero' degli eventi del giorno precedente (vedi ad esempio il fenomeno del 'parlare nel sonno').

Al contrario le possibilità di apprendimento nel sonno - frequentemente postulate specie in comunicazioni non scientifiche - sarebbero limitate solo allo stadio 1 del sonno lento, mentre il ricordo di eventuali informazioni trasmesse nello stadio 2 sarebbe del tutto trascurabile.

Qualche altra considerazione può essere sollecitata dal complesso di turbe sensoriali (uditive e visive) che non infrequentemente, in un certo numero di soggetti normali, si manifestano nel periodo dell'addormentamento, e che sono definite 'allucinazioni ipnagogiche'. Occorre ricordare che si intende per allucinazione il fenomeno psichico della rappresentazione soggettiva di una percezione sensoriale, insorgente in assenza di stimoli sensoriali obiettivi.

Le allucinazioni ipnagogiche visive sono particolarmente ricche e variate: spesso si manifestano come visioni geometriche, brillanti e colorate, come visioni di facce e figure, spesso grottesche e minaccianti, oppure come scene naturali spesso mobili e complesse e trasformabili le une nelle altre. Le allucinazioni ipnagogiche uditive consistono in voci che chiamano il proprio nome e che producono risveglio, oppure in brevi frasi

poveramente costruite e bizzarramente delineate. La ricostruzione di tali frasi ha permesso a E. Kräpelin (v., 1906) di trovare analogie con il pensiero schizofrenico. Il fatto che molte persone non denunciino esperienze di questo tipo sarebbe semplicemente dovuto al mancato ricordo di tali avvenimenti.

La parentela fra allucinazioni ipnagogiche e sogni può oggi essere suggerita dagli studi sulla narcolessia (v. sotto, cap. 3, § a, Le ipersonnie): le allucinazioni che precedono il sonno sono seguite nel soggetto narcolettico dal sogno, senza discontinuità; e inoltre movimenti oculari, analoghi a quelli del sonno rapido, sono stati registrati nel corso delle allucinazioni ipnagogiche.

Le allucinazioni ipnagogiche, associate a uno stato di coscienza sufficientemente conservato (inizio dell'addormentamento), potrebbero quindi essere considerate una espressione dissociata di attività da sonno rapido, così che possiamo ritenere giustificata l'ipotesi che le diverse strutture nervose impegnate nel determinare lo stato di sonno siano eventualmente in grado di funzionare indipendentemente.

3. Alterazioni della coscienza

Una classificazione delle turbe di coscienza necessita di chiarezza espositiva e ciò, considerato il gran numero di teorie e interpretazioni su questo tema, non è facilmente raggiungibile.

Al fine di coordinare e descrivere le alterazioni di coscienza, e quindi con finalità esclusivamente pratico-descrittive, può tuttavia essere prospettata la seguente classificazione: a) alterazioni episodiche o transitorie; b) alterazioni prolungate o durature. A questo secondo tipo di alterazioni appartiene il coma, al quale, per la sua importanza, dedicheremo un intero paragrafo (v. sotto, § c).

a) Alterazioni episodiche o transitorie

In questo paragrafo vengono descritte le alterazioni della coscienza dovute a diversi quadri morbosi, caratterizzati da una durata molto breve (da qualche secondo a decine di secondi o pochi minuti), e che possono ripetersi con frequenza varia e disordinata, in certi casi anche per molti anni o per tutta la vita del soggetto. Tra i principali quadri morbosi che possono dare origine a tali alterazioni ricorderemo: a) le epilessie; b) le ipersonnie parossistiche; c) le sincope primitive o secondarie; d) la commozione cerebrale.

Alterazioni della coscienza nell'epilessia. - Poiché l'epilessia rappresenta un modello tipico della patologia della coscienza, come già affermò H. Jackson (v., 1958), ne esamineremo alcuni aspetti che risultano di notevole importanza per la comprensione del fenomeno 'perdita di coscienza' (v. epilessia).

L'epilessia gran male, caratterizzata da perdita di coscienza improvvisa, seguita da uno spasmo tonico generalizzato e successivamente da contrazioni cloniche, rappresenta un tipico esempio di destrutturazione globale dello stato di coscienza. La profonda e completa disorganizzazione funzionale del sistema nervoso centrale è associata a una attività bioelettrica consistente in punte ritmiche bilaterali e simmetriche che diminuiscono di intensità a mano a mano che aumentano in ampiezza e che, nella fase clonica, sono interrotte da onde lente o da intervalli di silenzio elettrico. Ciò prova sufficientemente non solo che lo stato di coscienza può essere globalmente destrutturato, ma che esiste altresì una contemporanea particolare modalità di funzionamento cerebrale, onde l'assunto che lo stato di coscienza è una funzione in rapporto con l'attività di strutture encefaliche appare suffragato da dati di fatto.

Anche la perdita di coscienza nel piccolo male rappresenta un modello particolarmente idoneo per lo studio dello stato di coscienza: in questo caso l'alterazione si presenta in modo quasi isolato, con persistenza della statica e dell'equilibrio, e viene definita come breve sospensione delle funzioni di coscienza. In altre forme, la perdita di coscienza sembra meno totale e l'attività motoria automatica può essere continuata (piccolo male con automatismo); oppure si possono associare contrazioni cloniche (mioclonie in genere bilaterali e simmetriche, piccolo male con mioclonie), o una perdita del tono posturale con caduta a terra (piccolo male acinetico).

Nell'assenza piccolo male l'attività bioelettrica tipica è caratterizzata da punte-onde bilaterali simmetriche, sincrone, a 3 c/s e a prevalenza fronto-centrale; nel piccolo male mioclonico l'attività bioelettrica è caratterizzata da più scariche polipunta-onda.

Lo studio della funzione cosciente durante l'assenza piccolo male è stato abbastanza ampiamente e dettagliatamente approfondito sia sottoponendo il soggetto a stimoli d'accessibilità e di contatto, sia attraverso la valutazione delle modificazioni del tono muscolare, del respiro e delle componenti vegetative.

Il disturbo di coscienza sembra in rapporto con l'organizzazione elettrica delle scariche di punta-onda (simmetria, ampiezza, attività di fondo preesistente) e, secondo alcuni autori, sarebbe addirittura la punta, piuttosto che l'onda lenta, a essere significativamente in relazione con la perdita di coscienza (v. Fischgold, 1957).

Tuttavia, secondo altri autori (v. Mirsky e van Buren, 1965), le risposte comportamentali possono anche essere indipendenti dall'attività elettrica, per cui viene postulato che i sistemi neuronali che regolano l'attività elettrica cerebrale siano indipendenti da quelli che regolano il comportamento e l'attenzione.

D'altra parte, nei casi in cui esiste correlazione tra attività elettrica patologica e perdita di coscienza, si può dimostrare che tra i diversi elementi valutati, e cioè ricezione dell'informazione, processo integrativo, risposta motoria, quest'ultima può essere conservata.

Si può quindi ragionevolmente dedurre che la destrutturazione funzionale dell'attività cosciente nell'epilessia piccolo male è molto spesso, ma non sempre, in rapporto con una determinata attività elettrica, e che l'abolizione della coscienza può non essere completa, per cui può essere accettato il concetto di livello dello stato di coscienza quale espressione di maggiore o minore intensità della perdita di coscienza.

L'epilessia parziale, e in particolare l'epilessia temporale o psicomotoria, dimostra in maniera suggestiva i vari gradi e livelli di destrutturazione dello stato di coscienza. L'epilessia temporale è caratterizzata, dal punto di vista clinico, da alterazioni particolari, quali i fenomeni del *déjà vu* e *jamais vu*, il *dreamy state*, il pensiero forzato, le allucinazioni, ecc., cioè da tutta una serie di turbe a impronta psicopatologica, mentre le alterazioni elettroencefalografiche sono localizzate o diffuse, unilaterali o bilaterali.

Per quanto riguarda la perdita di coscienza assistiamo a una grande varietà di alterazioni: dalla coscienza normale, attraverso diversi livelli di destrutturazioni, fino all'assenza, tanto che Th. Alajouanine (v., 1957) parla di *marcia jacksoniana della dissoluzione di coscienza*.

L'epilessia temporale o psicomotoria propone quindi in maniera ancor più incisiva il tema della destrutturazione parziale della coscienza e dei patterns funzionali implicati nel fenomeno. In effetti nell'epilessia psicomotoria si osserva la perdita della facoltà di registrare durevolmente i ricordi, irresponsività e gradi variabili di comprensione, mentre il controllo motorio e la ricezione di stimoli sensoriali possono essere conservati. Se il soggetto parla, se il discorso non è adeguato alla situazione e se l'osservatore interferisce, spesso il comportamento può diventare aggressivo. In genere la turba di coscienza è associata a movimenti automatici (di masticazione, per es.) e a modificazioni respiratorie e vegetative.

Le lesioni anatomiche riscontrate negli epilettici psicomotori interessano la porzione antero-interna del lobo temporale e la parte postero-inferiore del lobo frontale, in particolare la parte anteriore del giro dell'ippocampo incluso il giro uncinato, l'amigdala, l'opercolo, la sostanza perforata anteriore e la parte posteriore del giro orbitale.

Le alterazioni spesso sono diffuse a tutto l'emisfero e anche all'emisfero controlaterale, ma talvolta non si osservano lesioni temporali o paratemporali per cui si ammette - specie sulla scorta di ricerche sperimentali -

che l'attivazione avvenga indirettamente, a opera di lesioni situate a distanza che proiettano appunto nell'area temporoparateremporale. Dati desunti da ricerche sperimentali indicano che l'attività epilettica si propaga poco nella corteccia, ma notevolmente nelle strutture sottocorticali, e precisamente nei gangli basali, talamo, ipotalamo, mesencefalo, sistema reticolare attivante.

Numerose ricerche sperimentali sugli animali e studi sull'uomo hanno consentito di interpretare il significato funzionale delle strutture rinencefaliche fondamentalmente come capacità di integrare le esperienze emozionali e di registrare le tracce mnesiche, premessa essenziale per la selezione di patterns comportamentali e della esperienza cosciente. Per esempio, la stimolazione dell'amigdala nell'uomo produce frequentemente confusione (disturbi della coscienza), irresponsività, amnesia, e dimostra pertanto che l'attività amigdaloidea interferisce nel meccanismo della registrazione mnesica e nei processi integranti l'esperienza cosciente.

Per concludere converrà riassumere i dati e le deduzioni che può offrire lo studio dell'epilessia al problema dell'esperienza cosciente. La coscienza - intesa sul piano clinico - è una funzione cerebrale, o meglio i fenomeni di coscienza sono in relazione con l'attività di strutture del sistema nervoso centrale (v. Delafresnaye, 1954; v. Ey, 1954; v. Kuhlenbeck, 1957; v. Brain, 1958; v. Plum e Posner, 1972; v. Jouvet, 1967). Come ha affermato K. S. Lashley (v., 1952) la comprensione dei patterns strutturali del sistema nervoso centrale costituisce il fondamento, non ancora del tutto chiarito, per l'individuazione e la comprensione dei patterns d'attività funzionale. Se notevole è il divario tra patterns strutturali e patterns funzionali, enorme è la distanza tra patterns funzionali e patterns comportamentali, e questa problematica è particolarmente acuta nella trattazione delle turbe di coscienza.

La coscienza o esperienza cosciente (v. Eccles, 1966) rappresenta una funzione che esprime un alto livello di integrazione dell'attività del sistema nervoso centrale. In altri termini, l'esperienza cosciente di sé utilizza la coordinata organizzazione di differenti funzioni: la memoria, che fornisce la continuità dell'esperienza interna, l'immaginazione, le idee, la volontà, i sentimenti che caratterizzano l'esperienza cosciente interna. D'altro canto l'esperienza percettiva, attraverso l'organizzazione nervosa delle attività sensitive e sensoriali, le funzioni di attenzione e l'orientamento temporale e spaziale permettono di conoscere il mondo esterno delle cose e degli eventi e anche l'immagine del proprio corpo. Inoltre, l'esperienza cosciente interna, del proprio corpo e del mondo esterno sono tra di loro intimamente legate e coordinatamente organizzate. Il problema della lateralizzazione della coscienza è postulato da R. W. Sperry (v., 1966) nello studio di pazienti con sezione del corpo calloso e delle altre connessioni. Esisterebbero in questi casi "due menti separate", cioè "due separate sfere di coscienza", con la conseguenza che "ciò che è esperito nell'emisfero destro" è sconosciuto per l'emisfero sinistro. Tuttavia si può osservare (McKay, nella discussione alla presentazione di Sperry) che nel

caso in questione non esistono funzioni coscienti separate per i due emisferi, ma esiste soltanto un soggetto in cui il sistema di controllo è sezionato. Se così (almeno in linea di prima approssimazione, e sulla scorta di dati neurofisiologici e neurologici) si intende l'esperienza cosciente, appare possibile tentare una grossolana classificazione in due gruppi dei modelli di turbe della coscienza forniti dal gran male e dal piccolo male epilettico e soprattutto dall'epilessia psicomotoria.

1. Disturbi globali dello stato di coscienza: numerose funzioni cerebrali, che, attraverso la loro coordinata organizzazione, consentono un'esperienza cosciente, sono profondamente e globalmente sconvolte; la destrutturazione funzionale è elevata e globale, ma il disordine che ne consegue può essere clinicamente descritto, in quanto, anche se non è possibile un'analisi più approfondita volta a valutare singole funzioni, sono sempre individuabili tuttavia diversi gradi di destrutturazione globale in rapporto alla loro intensità che consentono di definire il livello dello stato di coscienza.

2. Disturbi parziali dello stato di coscienza: in questi casi, caratterizzati da una destrutturazione funzionale non così globale come precedentemente descritto, è possibile individuare e descrivere clinicamente di volta in volta alcuni o numerosi patterns di attività cerebrali alterati; in altri termini, se si ammette che il livello più elevato di integrazione tra i diversi patterns funzionali fornisce l'esperienza cosciente, sembra possibile cogliere stati clinici nei quali l'integrazione avviene senza l'apporto di alcuni patterns funzionali, per cui il disturbo di coscienza può essere definito parziale ed è semeiologicamente descrivibile.

Alcuni autori distinguono tra destrutturazione globale della coscienza, disordine globale dello stato di coscienza che va dallo stato di veglia attiva, al sonno e al coma (e anche definita *crude consciousness* o 'vigilanza') e alterazioni dei contenuti di coscienza, espressione non accettata dagli studiosi di fenomenologia e scarsamente trattata dai behavioristi, anche se esser coscienti significa in sostanza esser coscienti di qualcosa. D'altro canto una distinzione tra stati di coscienza e contenuti di coscienza è certamente semplicistica e si adatta a qualche caso particolare: sonno e coma da un lato, estinzione sensoriale, anosognosia dall'altro (v. sotto, § b).

Non è tanto il contenuto della coscienza o la validità o meno dell'introspezione che qui si vuol discutere, quanto, molto più semplicemente, il rilievo clinico di alcune funzioni che, abolite o notevolmente e globalmente ridotte nella destrutturazione globale, possono essere rilevate e descritte clinicamente nelle turbe parziali.

Le ipersonnie. - Si distinguono due tipi di ipersonnie: le ipersonnie parossistiche di breve durata, di cui le narcolessie offrono l'esempio tipico, e le ipersonnie continue. Queste ultime non rientrano nella nostra trattazione, che riguarda i disturbi passeggeri di coscienza, e saranno quindi soltanto accennate.

La narcolessia è un disturbo caratterizzato sia dall'imperioso bisogno di dormire, preceduto o no da allucinazioni ipnagogiche (che, abbiamo visto, possono esistere anche in soggetti normali), sia da una perdita brusca di tono muscolare (cataplessia) e da paralisi da sonno.

L'apporto degli studi elettroencefalografici e poligrafici durante gli accessi di sonno e durante il sonno notturno ha condotto a importanti precisazioni circa questa malattia: a) il sonno di esordio dell'accesso narcolettico è nella maggioranza dei casi un sonno-REM, al contrario di quanto avviene nel soggetto normale; b) è turbata l'organizzazione del sonno notturno, che è leggero, lento e scarso, interrotto da periodi di insonnia; in più anche il sonno notturno è caratterizzato nella maggioranza dei casi da esordio con sonno-REM.

La cataplessia e le paralisi da sonno possono verificarsi isolatamente o associate alla presenza di accessi narcolettici.

Questi dati hanno suggerito la possibilità che il sonnoREM possa manifestarsi in 'maniera dissociata o discordante: un 'sonno corporeo', espresso da cataplessia e paralisi da sonno, e un sonno cerebrale', corrispondente agli accessi narcolettici e alle allucinazioni ipnagogiche.

Alterazioni del sonno si dimostrano anche in un'altra categoria di pazienti, e precisamente in quelli affetti da sindrome di Pickwick, nei quali gli accessi di sonnolenza sono associati a insufficienza respiratoria funzionale; anche in questi casi l'organizzazione del sonno è alterata per rarità di sonno-REM e di sonno lento (stadio 4). Contrariamente all'opinione corrente, non sembra che l'ipersonnia sia dovuta a ipossia e ipercapnia secondaria a ipoventilazione alveolare, per cui non è esclusa la possibilità di una alterazione centrale della regolazione ipnica.

In conclusione, l'unica informazione che l'ipersonnia parossistica, e in particolare la narcolessia, offre al nostro studio consiste nella dimostrazione che esistono nell'uomo alterazioni della coscienza dovute ad alterazioni del meccanismo del sonno, e principalmente del sonno rapido.

L'ipotesi che voleva il sonno dipendente esclusivamente della formazione reticolare ascendente, e rappresentante quindi un fenomeno passivo, cede oggi il passo all'altra secondo la quale il sonno è dovuto a centri ipnogeni attivi, localizzati uno nel bulbo e uno nel ponte e in grado di generare rispettivamente il sonno lento e il sonno rapido. Sembra pertanto accettabile l'ipotesi che nel tronco encefalico esistano due sistemi, dei quali uno attivante o desincronizzante l'elettroencefalogramma, l'altro ipnogeno attivo, costituito, come abbiamo visto, da due distinti centri.

Il sonno rapido, quindi, corrisponde a un processo attivo, con una componente tonica tradotta dall'attivazione corticale e dalla sincronizzazione ippocampica, dimostrata anche nell'uomo, e una componente fasica intermittente espressa dai movimenti oculari e somatici e dal sogno. Le vie ascendenti responsabili dell'attività

tonica e fasica non sono ancora ben precisate, ma è possibile che siano costituite dal circuito tronco encefalico - sistema rinencefalico.

Il sonno narcolettico quindi corrisponde alla messa in gioco immediata dei meccanismi del sonno rapido, anche se la causa di questa attività non può essere individuata.

Le sincopi. - Con l'espressione 'sincope vasovagale riflessa' si intendono perdite di coscienza con o senza convulsioni, dovute ad arresto cardiaco transitorio, a caduta pressoria o a inibizione respiratoria. A parte, quindi, devono essere considerate le sincopi dovute ad azione diretta sulle vie conduttrici intracardiache (blocco atrio-ventricolare) o sui centri cardiaci bulbari (poliomielite bulbare, ecc.).

La perdita di coscienza è caratterizzata elettroencefalograficamente da una scarica di onde lente bilaterali e sincrone della durata di 15-20 secondi; talora si hanno onde lente che durano pochi secondi, localizzate alla metà posteriore degli emisferi, in qualche caso non associate a segni clinici.

Le sincopi possono essere sintomatiche (da affezione cardiaca, respiratoria, epatica, renale, ecc.) o essenziali (sincopi emotive, ortostatiche, da sforzo), e in questo caso si riscontrano preferibilmente nei soggetti giovani.

La sincope è dovuta a un'anossia cerebrale determinata da una pausa cardiaca (8-10 secondi), da ipotensione marcata o da inibizione respiratoria importanti. Viene prospettata l'ipotesi che la cardioinibizione, la vasodepressione, la pneumoinibizione possano dipendere dall'alterazione di un meccanismo di tipo riflesso che mette in gioco, a livello centrale, la formazione reticolare ascendente: l'attivazione di quest'arco riflesso comporterebbe la comparsa di un'anossia che condurrebbe a un vero e proprio stato di decerebrazione funzionale (v. Gastaut e Gastaut, 1958).

La commozione cerebrale. - Da ultimo non può essere dimenticata, per la grande frequenza con cui può essere riscontrata, la 'commozione cerebrale'. Non esiste in effetti un accordo sul significato dell'espressione 'commozione cerebrale': transitoria perdita di coscienza senza evidenza di lesione cerebrale dovuta a un trauma cranico è forse la definizione più comune, ma non da tutti accettata. La causa della perdita di coscienza è ascritta a una lesione del tronco encefalico, o per transitorio aumento della pressione endocranica, o per lesione diretta dovuta alle forze di accelerazione-decelerazione, o per movimenti di torsione della massa encefalica.

b) Alterazioni prolungate o durature

Illustreremo ora una serie di complesse turbe della coscienza, e precisamente: 1) turbe della consapevolezza del proprio corpo (corporeal awareness) o "disturbi della coscienza dell'io" secondo K. Jaspers (v., 1959):

estinzione sensoriale, sindrome ipercinetica, emiasomatognosia, agnosia spaziale unilaterale, anosognosia, autoscopia, depersonalizzazione; 2) turbe non facilmente definibili per la confluenza di differenti terminologie usate in psicopatologia e che, genericamente, possono essere indicate come 'stati confusionali' (stati onirici, stati oniroidi, stato crepuscolare, sindrome di Korsakow, sindrome psicorganica, ecc.); 3) turbe globali della coscienza, prolungate o durature, rappresentate dal coma e stati affini (coma nei suoi diversi gradi; cosiddetta 'morte cerebrale', o coma dépassé; stati definiti come mutismo acinetico, coma vigile, sindrome apallica, ecc.).

Turbe della consapevolezza del proprio corpo. - Si tratta di disturbi della consapevolezza del corpo come esperienza soggettiva e della consapevolezza del corpo come oggetto nello spazio, entrambe attività della coscienza che costituiscono un pattern funzionale fondamentale per l'esperienza cosciente.

Un primo grado di turba dell'esperienza soggettiva del proprio corpo è rappresentato dal fenomeno dell'estinzione sensoriale, cioè da un disturbo che appare con la stimolazione simultanea di due differenti aree dello stesso campo percettivo. Si riconoscono pertanto turbe di estinzione nel campo somestesico, visivo, uditivo, gustativo, stereognosico, barognosico.

Si rivela la presenza di estinzione somestesica (la meglio conosciuta e studiata) quando di due stimoli tattili, applicati simultaneamente in punti simmetrici del corpo o in punti distanti dello stesso emicorpo (faccia, mano, piede), il soggetto ne avverte uno solo, benché lo stimolo singolo portato in quelle stesse aree sia sempre avvertito.

Analogamente si descrive un'estinzione ottica o disattenzione emianoptica. Il fenomeno dell'estinzione si ritrova nelle lesioni del lobo parietale, dopo anestesia generale, dopo elettroshock ed emisferectomia, così come in pazienti psichiatrici, specie nelle sindromi cosiddette psicorganiche. Alcuni autori tuttavia descrivono il fenomeno anche in casi di lesioni del talamo e del midollo spinale. Il fenomeno dell'estinzione pertanto non sembra avere un significato localizzatorio preciso anche se, clinicamente, il disturbo percettivo più caratteristico di una lesione parietale è considerato appunto il fenomeno dell'estinzione sensoriale.

Malgrado i pareri non siano concordi, l'estinzione sensoriale viene attualmente inquadrata nei disturbi dell'attenzione. La patologia dell'attenzione distingue disturbi coscienti o incoscienti, rappresentati, i primi, dalla difficoltà soggettivamente lamentata di 'concentrarsi' su un determinato compito e i secondi (disturbi incoscienti o non-consci), dalle turbe di cui ora ci occupiamo. Anche se appare difficile isolare i disturbi dell'attenzione da altre attività superiori quali le percezioni, la memoria, l'apprendimento, il pensiero, sembra indubbio che lo stadio attentivo rappresenti una fase necessaria nel processo dell'elaborazione dell'informazione.

Appare quindi accettabile l'affermazione che una riduzione dei processi di integrazione cosciente consegue a una limitazione delle funzioni d'attenzione, percezione, memoria, pensiero, e viceversa.

La patologia dell'attenzione può essere distinta anche in turbe parziali e globali. Le turbe parziali o segmentali sono limitate a una sola modalità sensoriale o anche a una parte di questa (per es., un emicampo visivo, o anche un solo quadrante di un emicampo visivo) e sono dovute ad alterazioni della corteccia parietale (estinzione tattile) o a più vaste alterazioni corticali, parietali e occipitali associate (estinzioni tattili e visive).

I disturbi globali dell'attenzione si ritrovano nella sindrome ipercinetica dei bambini, caratterizzata da iperattività motoria, impulsività, irritabilità, distraibilità, scarsa prestazione scolastica. La genesi di tale sindrome viene riferita a un disturbo dell'attività della formazione reticolare, sia sulla base di ricerche sperimentali (v. Hernandez-Peon, 1969), sia perché la somministrazione di anfetamina, a fini terapeutici, ha notevole successo. La funzione attentiva, quindi, deve essere considerata espressione di un'attività cerebrale che costituisce una indispensabile base sia per lo stato di allerta sia per raggiungere un livello adeguato di esperienza cosciente.

Il problema dell'integrazione cosciente sorge nella discussione delle turbe dello schema corporeo. In effetti una distinzione, anche se in parte artificiale, dovrebbe essere fatta tra 'schema corporeo', percezione cosciente del proprio corpo basata sulle precedenti e attuali informazioni somestesiche, e 'esperienza corporea', per la quale lo schema corporeo è un prerequisito necessario, ma che rappresenta un'attività più globale e strutturata concernente l'esperienza del proprio corpo. Lo schema corporeo è un fenomeno di pertinenza neuropsicologica, l'esperienza corporea un concetto psicopatologico.

La possibilità di localizzare la funzione di rappresentazione dello schema corporeo non è da tutti accettata, ma è indubbio che per essa alcune strutture, quali il sistema somestesico afferente, il talamo e in particolare il lobo parietale, rivestono un'importanza fondamentale, come può rilevarsi dallo studio delle loro lesioni.

Tra le turbe dello schema corporeo le seguenti hanno particolare interesse per il nostro tema.

1. L'emiasomatognosia, l'agnosia spaziale unilaterale, la anosognosia, che rappresentano turbe della percezione cosciente del proprio corpo. L'emiasomatognosia che qui interessa non è l'emiasomatognosia conscia, cioè la cosciente esperienza di aver perduto la percezione di metà del corpo, ma la emiasomatognosia inconscia o non conscia, per cui il soggetto si comporta come se una metà del suo corpo fosse inesistente, e che spesso è associata all'agnosia spaziale unilaterale, cioè all'impossibilità di integrare stimoli somestesici e visivi provenienti da un emilato. Disturbi di questo tipo si ritrovano quando la lesione ha sede nell'area parietoccipitale dell'emisfero non dominante. L'anosognosia, cioè il mancato riconoscimento di un proprio difetto funzionale, in genere attribuito a una emiplegia, si trova in pazienti con lesioni parietoccipitali o

talamiche o di ambedue le sedi, ma il problema localizzatorio non è agevole anche se vi è accordo sul fatto che è l'emisfero non dominante a essere leso. Nell'ambito dei disturbi anosognosici è possibile fare una distinzione tra l'anosognosia verbale (diniego verbale dell'emiplegia) e l'anosognosia comportamentale (mancato riconoscimento del lato paralizzato a livello comportamentale). In quest'ultimo campo si osservano anche fenomeni particolari, tra i quali ricordo la somatofrenia, consistente nella convinzione che il proprio arto paralizzato appartenga a un'altra persona, e la personificazione dell'arto paralizzato, caratterizzata dal fatto che il soggetto designa i propri arti con diminutivi e nomi propri.

2. L'autotopoagnosia (caratterizzata dall'impossibilità di denominare correttamente o di indicare su un disegno schematico o sul corpo dell'esaminatore parti del proprio corpo), che rappresenta la perdita della percezione e dell'immagine visiva del proprio corpo.

3. Disturbi del riconoscimento tra destra e sinistra e tra spazio corporeo ed extracorporeo, e l'autoscopia, che rappresentano turbe delle relazioni spaziali del proprio corpo e tra il proprio spazio corporeo, o interno, e lo spazio extracorporeo, o esterno. Le turbe del riconoscimento tra destra e sinistra, così come la macro o microsomatognosia, cioè percezione di parti del proprio corpo abnormemente grosse o piccole, sono spesso associate all'autotopoagnosia. L'autoscopia, cioè la percezione allucinatoria del proprio corpo proiettato nello spazio, si osserva nell'epilessia, nell'emigrania, nelle intossicazioni e infezioni (alcool, tifo, ecc.), nelle psicosi (melanconia e schizofrenia), e in varie malattie neurologiche (emorragia subaracnoidea, parkinsonismo, tumori parieto-occipitali sia destri che sinistri, ecc.), e anche in soggetti normali, specie nella fase di addormentamento; al momento attuale, essa può essere interpretata come un disturbo dello schema corporeo, per il quale assumono valore patogenetico turbe della coscienza e fattori visivi, vestibolari e psicogeni.

I rapporti tra turbe dello schema corporeo e alcuni disturbi psichici che vanno comunemente sotto il termine di 'depersonalizzazione' sono piuttosto confusi: in questo campo forse sarebbe più corretto parlare di turbe dell'esperienza corporea. Caratteristico di questi disturbi sarebbe il sentimento di perdita dell'io o della consapevolezza della propria corporeità, espresso dai soggetti con modalità diverse, per cui classicamente si distinguono i seguenti fenomeni.

A. Depersonalizzazione autopsichica: alcuni o tutti i contenuti di coscienza sono vissuti come estranei, pensieri o sentimenti sembrano "strani, non appartenenti" al soggetto, e ciò viene espresso dai soggetti con frasi come: "mi sento strano", "mi sento diverso", "sono incapace di provare sentimenti normali", "come se non fossi io a pensare", come se parlassi recitando una commedia", ecc.

B. Depersonalizzazione somatopsichica e desomatizzazione: per il paziente parti del proprio corpo "non sono più sue", "sono staccate", "le membra sono diventate gigantesche", "sono costituite da sostanze estranee come

metallo, pietra", ecc. Le analogie con le turbe dello schema corporeo possono, in questo caso, essere particolarmente intense. Il delirio di negazione (il soggetto afferma di non possedere più parti del proprio corpo, o di essere rimasto del tutto privo di sangue, o di "essere già morto") rappresenterebbe il grado estremo di questa particolare condizione.

C. Depersonalizzazione allopsichica o derealizzazione: rappresenta una turba nell'esperire il mondo esterno, che è visto in maniera insolita, come se tutto fosse 'lontano, staccato, irreal'. È interessante osservare come queste alterazioni possano essere paragonate a fenomeni che si manifestano per alterazioni cerebrali organiche (specie nell'epilessia) e note come *déjà vu*, *jamais vu*.

Tutti i disturbi dell'esperienza corporea descritti in questo paragrafo si riscontrano in diversi quadri morbosi, e in particolare, tra i più importanti, negli stati infettivi acuti, negli stati tossici esogeni ed endogeni (specialmente nelle intossicazioni alcolica, mescalina e da LSD), nelle psicosi puerperali, in encefalopatie diverse (da traumi cranici, tumori cerebrali, ecc.), nell'epilessia, nelle psicosi endogene (specie nel gruppo delle schizofrenie, ma anche nelle psicosi distimiche), nelle nevrosi.

Stati confusionali. - Una serie di turbe della coscienza di non facile classificazione, riscontrabili in diversi quadri psicopatologici endogeni o associati a casi di lesione encefalica, ha dato luogo a molteplici discussioni.

Una generica denominazione che verrà qui usata è quella di 'stato confusionale'; in effetti, con l'espressione 'confusione mentale' o 'psicosi confusionale' si indica una sindrome caratterizzata da allucinazioni, turbe del pensiero, disorientamento spazio-temporale, obnubilamento della coscienza, perplessità, turbe amnestiche, stato delirante onirico.

Tuttavia tra le diverse scuole psichiatriche l'accordo non è completo: per gli autori di lingua tedesca si fa più facilmente ricorso al termine di 'reazione esogena' per gli stati tossinfettivi, e di psicosi di Korsakow per gli stati nei quali predomina la confusione amnestica con confabulazioni; la psichiatria anglosassone ha dato invece scarso rilievo a questi quadri, denominati nel passato acute insanity, acute confusional insanity, e oggi piuttosto infective psychoses oppure disorders caused by or associated with impairment of brain tissue function (American Psychiatric Association, 1952); autori francesi e italiani, infine, hanno abbondantemente studiato questi quadri, che oggi vengono generalmente se denominati 'confusione mentale' o 'psicosi confusionali' (il termine di 'amnesia' è attualmente in disuso, poiché nel mondo anglosassone ha significato di oligofrenia). Con il termine di 'stato confusionale' intendo quindi un quadro caratterizzato da una destrutturazione parziale della coscienza, quale si ha nella psicosi confusionale, ma che comprende anche lo stato onirico, o stato crepuscolare disorientato, e lo stato oniroide: terminologie in auge nella psichiatria classica e oggi certamente più raramente impiegate.

Lo stato onirico o stato crepuscolare disorientato realizzerebbe un restringimento della funzione cosciente, per cui il soggetto può ancora operare nell'ambito di un determinato tema ideaffettivo, ma le modalità operative sono incoordinate, perché la distinzione tra fantasia e realtà, tra percezioni normali e alterazioni psicosensoriali (illusioni, allucinazioni) è incerta e occasionale; sono presenti anche temi deliranti variabili, in genere persecutori.

Lo stato oniroide o alterazione oniroide della coscienza non è contrassegnato da uno stato di coscienza frammentato, nè ristretto a pochi temi, ma da una vivace produzione delirante fantastica e allucinatoria, per cui l'esperienza che vive il soggetto è mutevole, cangiante senza distinzione fra realtà e immaginazione.

L'orientamento nel tempo, nello spazio e tra le persone è buono o discreto, per cui lo stato oniroide può essere paragonato all'esperienza vissuta in sogni, con raffigurazioni particolarmente vivaci e intense. Lo stato confusionale si può osservare in molteplici quadri morbosi, e in particolare nelle intossicazioni endogene ed esogene (da alcool, mescalina, LSD, ecc.; da uremia, diabete, ecc.), nella psicosi puerperale o post partum, negli episodi psicotici acuti nel periodo intercritico dell'epilessia temporale, nella malattia di Ganser, nelle lesioni cerebromeningee di diversa genesi (tumori, traumi cranici, lesioni vascolari, processi infettivi e infiammatori), negli stati emozionali, nello stato ipnotico. Negli stati crepuscolari, che rappresentano l'aspetto forse più particolare e comunque più frequente degli episodi psicotici acuti degli epilettici, l'alterazione della coscienza è peculiare poiché l'esperienza cosciente è limitata a un determinato contenuto ideaffettivo con la possibilità di stabilire rapporti normali col mondo esterno; così che secondo H. Ey (v., 1955) il soggetto non ha che una coscienza confusa del mondo che lo circonda, una 'coscienza onirica'. In effetti, la distinzione tra stato crepuscolare orientato o disorientato (o onirico) è forse fittizia, in quanto l'oscillazione dello stato di coscienza è la regola e il soggetto raggiunge spesso il 'livello onirico', lo stadio cioè in cui il 'sogno', il mondo percepito carico di illusioni, fantasmi e sogni, si sostituisce alla realtà.

Negli stati crepuscolari vengono vissuti comportamenti classicamente descritti come 'automatismi epilettici coscienti e mnesici': peculiare di queste condotte crepuscolari è il carattere di violenza improvvisa, drammatica, forsennata che conduce ad atti suicidi o omicidi.

c) Il coma

Il coma può essere definito una condizione in cui, per cause patologiche cerebrali o extracerebrali, si rileva clinicamente una riduzione fino all'abolizione prolungata o duratura dello stato di coscienza e delle funzioni somatiche (motilità, sensibilità, linguaggio) con alterazioni, talora marcate, delle funzioni vegetative.

Nel coma quindi le funzioni motorie, sensitive, coscienti sono abolite o ridotte, per cui le risposte psicologiche e motorie agli stimoli di qualsivoglia natura sono completamente abolite o ridotte a risposte riflesse rudimentali o ad automatismi semplici o complessi, mentre le funzioni vegetative (specie respiratorie e cardiovascolari) sono talora anche profondamente alterate o più spesso modestamente ridotte.

Classificazioni degli stati di coma. - Il coma, per una utilità esclusivamente semeiologica, viene comunemente distinto in gradi, in rapporto con l'intensità della perdita di coscienza. In questi ultimi anni, studi clinici sul coma e rilievi critici a proposito della distinzione del coma in stadi o gradi, a opera di Plum e Posner (v., 1972), hanno condotto a un ripensamento, attualmente ancora in atto. Plum e Posner sostengono infatti che il coma è una sindrome clinica complessa, rappresentata da quadri clinici diversi, individuabili attraverso una costellazione di segni semeiologici che si riferiscono al tipo del respiro, allo stato delle pupille, all'alterazione della motilità oculare e delle risposte oculocefaliche provocate, all'alterazione della funzione motoria non volontaria (riflesso di prensione, paratonia, rigidità decorticata e decerebrata) oltre che, ovviamente, alle alterazioni dello stato di coscienza. L'insieme di questi segni caratterizza un complesso di sindromi neurologiche che sono espressione di una lesione diretta o indiretta delle strutture diencefaliche e del tronco cerebrale. La sindrome è nell'insieme denominata 'sindrome di deterioramento rostro-caudale' poiché i momenti diversi che si possono cogliere, anche nello stesso caso, esprimono la progressività della lesione dalle porzioni più rostrali (il diencefalo) a quelle più caudali (il bulbo). Si possono quindi osservare sindromi di deterioramento diencefalico (distinte in precoce e tardiva), mesencefalico, pontino e bulbare, e nello stesso caso cogliere la progressione della lesione in senso rostro-caudale.

Come abbiamo detto, il problema è ancora in discussione. Lo studio di Plum e Posner (v., 1972) pone l'accento su un aspetto essenziale del ragionamento neurologico clinico: riferire una determinata sintomatologia a una precisa sede di lesione. Tuttavia l'abolizione di una classificazione basata sull'intensità della perdita di coscienza (gradi o stadi del coma) presenta alcuni inconvenienti, forse non trascurabili. Infatti, l'individuazione della sindrome di deterioramento rostro-caudale non è praticamente valida per i comi metabolici e neppure per tutti i comi da lesione del sistema nervoso centrale, poiché in alcuni casi il disturbo di coscienza può debuttare del tutto improvvisamente (ad es. in caso di embolia cerebrale), rendendo difficile la ricerca dei segni che caratterizzano le diverse sindromi. Del resto gli stessi Plum e Posner (v., 1972) implicitamente utilizzano una gradazione, anche se elementare, quando impiegano i termini di 'stupore' e 'coma come stati di alterazione di coscienza di gravità diversa. È possibile che future più dettagliate osservazioni permettano di prospettare una corrispondenza clinicamente utile tra i due tipi di classificazione; attualmente, seguendo una classificazione (v. Fischgold e Mathis, 1959; v. Loeb, 1958) accettata da molti autori, facciamo le seguenti distinzioni.

1. Grado 1 o coma leggero: si suole designare questo stato con le espressioni di obnubilamento della coscienza, sonnolenza o ipersonnia continua, sopore, torpore. L'indeterminatezza di queste terminologie può essere, almeno in parte, chiarita dalle seguenti precisazioni descrittive: sopore, sonnolenza o ipersonnia continua sono rappresentati da stati in cui può esistere una transitoria possibilità di risveglio per stimoli dolorosi, in genere intensi, oppure da stati in cui la possibilità di risveglio manca del tutto; torpore o alterazione ipnoide della coscienza, obnubilamento indicano uno stato simile al dormiveglia caratterizzato da rallentamento delle operazioni mentali, attenzione labile, pensiero torpido e fluttuante nei temi, reazioni motorie rallentate: in una parola un abbassamento discreto di tutto il livello operativo mentale, ma con mantenimento delle fondamentali caratteristiche dell'attività cosciente per cui la comprensione degli ordini appare incompleta e parziale, le risposte agli ordini sono inadeguate, e la cooperazione insufficiente. Non esistono, in genere, alterazioni del respiro, del diametro pupillare, della motilità oculare, della funzione motoria non volontaria. Questo stadio potrebbe corrispondere, in parte, alla sindrome diencefalica precoce di Plum e Posner.

2. Grado 2 o coma di grado medio: la perdita di coscienza dal punto di vista dell'ispezione clinica sembra completa, il soggetto non sembra comprendere le domande e gli ordini, cui non risponde; il respiro spesso è alterato (a tipo Cheyne-Stokes); le pupille sono miotiche, reagenti parzialmente a luce molto intensa; i riflessi oculo-cefalici sono conservati; a stimoli dolorosi può esistere risposta a tipo rigidità decerebrata o decorticata, o movimenti automatici elementari nel tentativo di allontanare lo stimolo. Questo stadio potrebbe corrispondere, in parte, alla sindrome diecefalica tardiva di Plum e Posner.

3. Grado 3 o coma profondo (coma carus): all'ispezione, la coscienza appare completamente abolita: la stimolazione dolorosa anche molto intensa non suscita risposta, il respiro è spesso a tipo di iperventilazione centrale neurogena o di tachipnea superficiale o di eupnea apparente; le pupille sono midriatiche, non reagenti alla luce; i globi oculari sono immobili in posizione centrale, o talora in deviazione laterale anche strabica; i riflessi oculo-cefalici sono aboliti; l'atteggiamento è in rigidità decerebrata, spesso parziale (solo agli arti superiori) o in progressiva flaccidità. Questo stadio potrebbe corrispondere in parte alla sindrome mesencefalica e ponto-bulbare di Plum e Posner.

4. A questi tre gradi si aggiunge, oggi, anche un grado 4 rappresentato dal cosiddetto coma dépassé (v. Mollaret e Goulon, 1959), o 'coma irreversibile' o 'morte cerebrale' degli autori anglosassoni, anche se la definizione di coma per questi stati clinici appare discutibile.

Le moderne tecniche di rianimazione, infatti, consentendo di mantenere artificialmente la funzione cardiaca e la tensione arteriosa a un livello adeguato, e di regolare il respiro meccanicamente anche quando le

funzioni cerebrali vengono a cessare, hanno determinato la necessità di distinguere un nuovo quadro clinico in cui alla perdita di coscienza e all'abolizione delle funzioni della vita di relazione si associa anche l'abolizione delle funzioni vegetative. Questo stato clinico comporta essenzialmente tre segni peculiari: a) l'assenza di ogni risposta agli stimoli; b) la cessazione del respiro; c) il silenzio elettrico cerebrale.

L'intero problema della definizione di una condizione così peculiare, creata dai progressi dell'assistenza medica, appare per certi aspetti controverso. L'irreversibilità di questa condizione clinico-elettroencefalografica, o, in altre parole, della morte cerebrale, può essere affermata solo se si tiene conto di altri fattori, oltre ai dati clinico-elettroencefalografici, e precisamente di fattori eziologici, di evoluzione e di prognosi: l'intossicazione da CO o da farmaci depressori del sistema nervoso può essere la causa di una condizione in tutto analoga a quella descritta come 'morte cerebrale', ma la reversibilità è ancora possibile. Anche la durata del coma dépassé è fondamentale per la sua definizione, in quanto per affermare l'irreversibilità di questa condizione è indispensabile che i sintomi sopraelencati durino un periodo conveniente di tempo.

In altri termini, per definire una condizione clinica come coma dépassé o 'morte cerebrale' è indispensabile che esistano i tre segni peculiari già ricordati, che l'eziologia non sia da intossicazione da CO o da farmaci, che la durata del quadro superi un certo periodo di tempo variamente stabilito da diversi autori (v. Loeb, *Clinical-electrographic...*, 1974).

Poichè tutti questi elementi non possono essere a disposizione al letto del malato, si comprendono le proposte di definire un tale quadro come 'sospetta morte cerebrale' o, sul piano descrittivo, con le dizioni di 'coma con abolizione delle funzioni vegetative' o semplicemente di 'coma vegetativo'.

Oltre ai segni sopraindicati, e precisamente assenza di ogni risposta agli stimoli, cessazione del respiro, silenzio elettrico cerebrale, sul piano clinico bisogna ricordare che la possibile ricomparsa dei riflessi tendinei o addominali non modifica la prognosi e indica solo una ridotta partecipazione spinale.

L'arresto circolatorio totale che duri oltre 15 secondi, dimostrabile con l'angiografia carotidea e vertebrale, è un segno coadiuvante di notevole valore per la diagnosi clinica, poiché è incompatibile con la vita.

Sul piano elettroencefalografico è opportuno sottolineare che il 'silenzio elettrico' o 'assenza di attività bioelettrica' significa che il tracciato non contiene potenziali al di sopra dei 2 microvolts se registrati dalla teca. Dal punto di vista tecnico, le registrazioni devono essere molto accurate e peculiari, per essere assolutamente certi di registrare un vero silenzio elettrico.

Lo stato di coma dépassé può manifestarsi in malattie cerebrali primitive (encefalopatie primitive di qualunque natura: tumorale, infiammatoria, vascolare, traumatica) e secondarie (arresto cardiaco e/o respiratorio durante

anestesia o nel decorso post-operatorio, avvelenamento da barbiturici e da CO, encefalopatie metaboliche, ecc.) e il meccanismo con cui si realizza è rappresentato essenzialmente dall'anossia con susseguente edema e arresto circolatorio.

Dal punto di vista anatomo-patologico le lesioni che si osservano in questi casi sono diverse: dalla colliquazione totale del cervello ad alterazioni meno importanti, consistenti in autolisi intravitale con degenerazione rilevante e diffusa, ma predominante nelle strutture basali e nel tronco cerebrale (v. Loeb, Pathology..., 1974).

L'intervallo di tempo che deve trascorrere prima che il coma dépassé possa essere considerato veramente dépassé, e cioè irreversibile, è ancora in discussione, e viene osservato da molti che non è possibile accettare criteri assoluti (v. Silverman e altri, 1970).

Riassumendo le opinioni di numerosi autori si può sintetizzare la situazione nei termini seguenti: il coma dépassé è 'irreversibile' quando le condizioni clinico-elettroencefalografiche caratteristiche si manifestano, protraendosi immutate per 12 o 24 o 48 ore. La soluzione di questo problema può essere agevolata dalla conoscenza dell'eziologia: allo stato attuale non sono stati ritrovati in letteratura casi di lesione cerebrale secondaria che si siano ripresi dopo 48 ore di coma dépassé, e d'altro canto non sono stati segnalati casi di lesione cerebrale primitiva che siano regrediti dopo 12 ore di coma dépassé.

Le frontiere tra la vita e la morte si sono notevolmente allargate e invece di una supposta linea di netta demarcazione sembra esistere una terra di nessuno dove può essere difficile stabilire se un uomo è morto oppure ancora vivente: solo quando le condizioni clinico-elettroencefalografiche qui indicate e discusse si osservano continuamente per un periodo di tempo che come abbiamo visto a seconda dell'eziologia - va da un minimo di 12 ore a un massimo di 48 ore (secondo l'opinione di diversi autori) sembra accettabile affermare l'esistenza della cosiddetta 'morte cerebrale'. Ma ogni singolo caso va considerato nella sua peculiarità, al di fuori di ogni schematico preconetto e di ogni generalizzazione statistica, e affidato al giudizio di una équipe medica con competenze diverse in ambiente qualificato.

5. Altre condizioni cliniche dovute ad alterazioni dello stato di coscienza hanno ricevuto denominazioni diverse: mutismo acinetico, parasonnia, disturbi prolungati di coscienza, sindrome apallica, coma vigile. Anche se i diversi termini sono stati usati per sindromi, in parte almeno, diverse, vengono oggi designati come 'mutismo acinetico' (dagli autori di lingua anglosassone), 'coma vigile' (dagli autori di lingua francese), 'sindrome apallica' (dagli autori di lingua tedesca), quadri che possono essere ragionevolmente unificati almeno sul piano descrittivo: si tratta di stati caratterizzati da 'acinesia', cioè da impossibilità di eseguire movimenti volontari, da impossibilità di parlare, con conservazione di movimenti oculari apparentemente

diretti a seguire una mira. Questi stati clinici si osservano in prevalenza nei comi prolungati (specie post-traumatici), ma per breve tempo anche nelle oscillazioni e nei passaggi tra i diversi gradi di coma (v. Loeb, *Clinical-electrographic...*, 1974).

Elettroencefalogramma negli stati di coma. - Le classiche ricerche di 20-25 anni fa sui rapporti tra coma ed elettroencefalogramma (EEG) nell'uomo portarono all'affermazione che la perdita di coscienza è sempre associata a una attività lenta (a 1-3 c/s) organizzata.

Poiché si riteneva che alla base del coma e del sonno vi fosse un meccanismo comune, si affermò che dal punto di vista elettroencefalografico il coma era equivalente al sonno profondo, e per molti anni quindi si sostenne che l'EEG potesse costituire un test valido per individuare il livello di coscienza sia nell'uomo che nell'animale. Più recentemente, e cioè da circa 10 anni, il problema è stato riconsiderato e approfondito e lo stato di coma descritto in associazione con tracciati elettroencefalografici di tipo diverso, inclusi tracciati apparentemente normali.

Le relazioni tra stato di coscienza e attività elettroencefalografica possono essere così sintetizzate: lo stato di coma di intensità diversa (coma di grado 1-2-3) può essere associato a tracciati normali, tracciati focalmente alterati, tracciati unilateralmente alterati, tracciati diffusamente alterati. Da valutazioni statistiche risulta che nello stato di coma in circa il 40-50% dei casi le alterazioni sono diffuse, mentre i tracciati normali o ai limiti della norma rappresentano una quota molto ridotta (circa il 3%). Benché l'approfondirsi dello stato di coma sia in relazione statistica con la comparsa di alterazioni lente diffuse, ciò non accade per le lesioni del tronco encefalico, alle quali possono essere associati stati di coma profondo (coma 3) e tracciati ai limiti della norma; questi, comunque, come è facilmente rilevabile, non presentano risposta elettrica a stimolazioni sensoriali, per cui un tracciato normale dal punto di vista della frequenza non lo è invece per quanto riguarda la risposta elettrica a stimoli sensoriali, anche se in alcuni casi è stata osservata una risposta alla stimolazione visiva (v. Loeb e Poggio, 1953; v. Loeb, 1964).

Eziologia e meccanismi fisiopatologici del coma. - L'eziologia dei quadri morbosi responsabili dello stato di coma è quanto mai varia, e comprende praticamente una elencazione di tutta la patologia encefalica primitiva e secondaria: per un orientamento più preciso, anche se generico, vengono riportati nella tab. II i tipi di lesione cerebrale sopra e sottotentoriale riscontrati in 310 casi di coma di Osservazione personale, e nella tab. II i quadri di encefalopatia metabolica in grado di indurre uno stato comatoso. Numerose ricerche neurofisiologiche condotte in questi ultimi venti anni hanno tentato di individuare le strutture e di chiarire i meccanismi nervosi responsabili dell'attività cosciente nelle sue modificazioni fisiologiche e patologiche.

TABELLA I. – TIPI DI LESIONI CEREBRALI IN 310 CASI OSSERVATI DI COMA.

1. Lesioni vascolari cerebrali (188 casi; 60,6%).	
a) rammollimenti	n. 104
b) emorragie	n. 64
c) edemi diffusi, 'vasoparalisi', arteriosclerosi cerebrali	n. 6
d) aneurismi, angiomi	n. 9
e) emorragie subaracnoidee	n. 5
2. Malattie infettive (19 casi; 6,1%).	
a) encefaliti	n. 7
b) meningiti	n. 6
c) varie (ascessi, toxoplasmosi, ecc.)	n. 6
3. Tumori endocranici (78 casi; 25,2%).	
a) gliomi	n. 49
b) meningiomi	n. 8
c) neurinomi dell'acustico	n. 3
d) tumori congeniti	n. 1
e) tumori metastatici	n. 17
4. Malattie degenerative (13 casi; 4,2%).	
a) parkinsonismo degenerativo	n. 10
b) malattie degenerative plurisistemiche	n. 3
5. Disordini tossici (8 casi; 2,6%).	
a) anossia	n. 6
b) uremia, ipoglicemia	n. 2
6. Traumi cranici (4 casi; 1,3%).	
a) ematomi subdurali	n. 4

TABELLA II. – CAUSE METABOLICHE DELLO STATO DI STUPORE
E DI COMA.

I. Encefalopatia metabolica primaria.

- A. Malattie della sostanza grigia (malattia di Jakob-Creutzfeld; malattia di Pick; malattia di Alzheimer; corea di Huntington, ecc.).
- B. Malattie della sostanza bianca (malattia di Schilder, malattia di Marchiafava-Bignami; leucodistrofie).

II. Encefalopatia metabolica secondaria.

- A. Privazioni di ossigeno, substrato dei cofattori metabolici: 1) ipossia; 2) ischemia; 3) ipoglicemia; 4) insufficienza del cofattore.
- B. Malattie extracerebrali: 1) malattie di organi non endocrini; 2) iperfunzione e/o ipofunzione di organi endocrini; 3) altre malattie sistemiche.
- C. Veleni esogeni: 1) farmaci sedativi; 2) veleni acidi o veleni con prodotti acidi collassanti; 3) inibitori enzimatici.
- D. Anormalità dell'ambiente ionico o acido-basico del sistema nervoso centrale.
- E. Malattie che producono tossine o inibizione enzimatica nel sistema nervoso centrale.
- F. Disfunzione neuronica traumatica senza alterazioni strutturali (concuSSIONE).

(Ripresa, con modifiche, da Plum e Posner, 1972).

Le ricerche sul sonno, alle quali già accennammo in precedenza, mostrano certamente alcuni limiti per poter essere assunte come 'modello' di perdita di coscienza, quale si osserva in patologia; si può quindi affermare che, almeno nell'uomo, il primo gradino è neuropatologico. L'assunto che la coscienza dipenda da processi nervosi che avvengono a livello encefalico rende infatti accettabile, almeno fino a un certo punto, il tentativo di localizzare le strutture encefaliche in cui tale attività ha luogo. Il primo tentativo di stabilire una relazione tra localizzazione della lesione e stato di coscienza risale all'inizio del sec. XIX, con l'affermazione che l'integrità corticale rappresenta un elemento cruciale per il mantenimento della funzione cosciente. Ma dopo le prime considerazioni di J. E. Purkinje (v., 1846), i gangli basali, l'ipotalamo, il grigio periacquedottale, la regione infundibolare, le strutture situate intorno al 3° ventricolo sono ritenute aree criticamente connesse con la funzione della coscienza.

Molti autori della moderna era neurologica, di cui C. von Economo (v., 1917) può essere considerato il pioniere, sono in accordo nel ritenere la porzione rostrale del tronco cerebrale e il talamo mediale come le strutture più importanti nel determinare la funzione di coscienza. Lo stato attuale del problema può essere riassunto come segue: lesioni del diencefalo posteriore, del tegmento mesencefalico e pontino hanno un ruolo determinante nella modificazione di coscienza.

A questo punto bisogna sottolineare come il rapporto tra stato di coscienza e sede della lesione non possa essere visto semplicisticamente come una banale correlazione tra i due fattori: in effetti, molte lesioni sopratentoriali che apparentemente non ledono le strutture mesodiencefaliche provocano il coma mediante la compressione esercitata a livello del tronco encefalico e lo spostamento del cervello e di sue parti dalla sede naturale (ernia uncale, ernia transtentoriale), quindi attraverso un meccanismo di lesione indiretta sulle strutture ponto-mesencefalo-diencefaliche.

La conclusione finale che la porzione rostrale del tronco encefalico e il diencefalo rappresentano le aree critiche per il mantenimento della funzione cosciente e che quindi la lesione diretta o indiretta di queste strutture è la causa della riduzione o dell'abolizione della funzione di vigilanza, appare aperta a qualche obiezione: infatti, non solo alcuni autori mettono in evidenza come anche per lesioni estese unilaterali o per lesioni bilaterali della corteccia si possa registrare perdita di coscienza, ma altri sostengono addirittura che la coscienza non possa essere localizzata, rappresentando per l'appunto il risultato di un'attività globale e coordinata di diverse strutture o di tutto l'encefalo.

L'opinione corrente, comunque, pone l'accento sul fatto che l'area mesencefalo-diencefalica possa essere ritenuta cruciale per il mantenimento dell'attività cosciente che noi abbiamo definito globale.

Pur con le necessarie riserve sopra esposte, deve tuttavia essere posta in rilievo l'importante analogia esistente tra i casi di coma profondo con tracciato normale e i dati sperimentali durante la fase di sonno paradossale. Inoltre, gli stessi casi di stato di coma con tracciato normale suggeriscono l'ipotesi, già sostenuta più sopra a proposito dell'assenza del piccolo male epilettico, che le strutture nervose interessate alla regolazione dell'attività elettrica cerebrale e all'attività dell'esperienza cosciente, che sembrano in molti casi correlate, possano essere, in casi particolari, differenti anatomicamente o funzionalmente.

4. Conclusione

L'esperienza cosciente interna (di se stessi), del proprio corpo e del mondo esterno, rappresenta una funzione che è in rapporto con l'attività di complesse strutture encefaliche. Allo stato attuale delle conoscenze non possono essere tratte conclusioni generali, ma solamente proposte alcune considerazioni cliniche.

Le alterazioni dell'esperienza cosciente possono essere distinte in globali e parziali. Le alterazioni globali, o alterazioni dello stato di coscienza, o alterazioni della vigilanza o della crude consciousness, si osservano con modalità prolungata o duratura nel sonno umano normale e negli stati di coma, con modalità episodica nell'epilessia, nell'ipersonnia parossistica (narcolessia), nelle sincope, nella commozione cerebrale. Esse rappresentano un tipo di turba della coscienza che può essere ragionevolmente ascritta a una lesione anatomica o funzionale dell'area mesodiencefalica. I meccanismi nervosi che sono alla base di tale disturbo non sono del tutto chiari, ma il modello sperimentale offerto dal fenomeno sonno può rappresentare una prima base per affrontare il problema, anche se le differenze tra sonno e alterazione globale della coscienza da malattie encefaliche o extracerebrali sono sostanziali.

Le alterazioni parziali della coscienza rappresentano delle turbe in cui è possibile individuare e descrivere alcuni o numerosi patterns di attività cerebrali alterati. Essi si riscontrano in un vario gruppo di quadri morbosi: con modalità episodiche nell'epilessia psicomotoria, con modalità prolungate o durature nella patologia dell'attenzione parziale o globale (fenomeno dell'estinzione sensoriale), nelle turbe dello schema corporeo (emiasomatognosia, agnosia spaziale unilaterale, anosognosia, autotopoagnosia, ecc.), nella depersonalizzazione, negli stati confusionali.

Non c'è dubbio che per alcuni di tali quadri le alterazioni anatomiche o funzionali sono dimostrabili a livello corticale, ma è possibile rilevare anche lesioni in altre sedi; in una parte di essi, poi, come negli stati confusionali e nella depersonalizzazione, appare pressoché impossibile tentare di stabilire una sede della

lesione. Analogamente i meccanismi nervosi implicati nella genesi della turba cosciente rimangono oscuri e, al momento attuale, non facilmente indagabili.

Neuroscienze. Coscienza

Enciclopedia della Scienza e della Tecnica (2007)

di Giulio Tononi

La coscienza si può definire in modo intuitivo come ciò che scompare quando dormiamo un sonno senza sogni, oppure quando siamo sottoposti a un'anestesia generale e, come si è soliti dire, perdiamo coscienza. La coscienza è dunque tutto ciò di cui abbiamo esperienza: immagini, forme, colori, suoni, pensieri, emozioni e desideri. Quando essa scompare, per quanto ci riguarda, scompare l'universo intero. Il medico crotonese Alcmenone riconobbe già nel VI sec. a.C. che la coscienza è prodotta dal cervello, ma come esso generi l'esperienza soggettiva del mondo e di noi stessi è un interrogativo che lascia ancora perplessi gli scienziati del XXI secolo.

Negli ultimi anni, le neuroscienze hanno fatto notevoli progressi nel localizzare i cosiddetti 'correlati neurali della coscienza': per studiare quelli collegati all'esperienza del colore blu, per esempio, occorre identificare, nel mare di cellule nervose nel nostro cervello, quei particolari neuroni la cui attività segue queste esperienze; essi devono attivarsi ogniqualvolta percepiamo il blu (sia da svegli sia in sogno, e persino se lo immaginiamo), e rimanere silenti se non lo percepiamo. Va poi dimostrato che la stimolazione (elettrica o magnetica) di questi stessi neuroni può produrre un'esperienza di blu, ed è necessario che la lesione o inattivazione di queste cellule elimini la possibilità di percepire tale colore. Soddisfare tutti e tre i criteri non è facile, ma non è neppure impossibile, e per alcuni aspetti della percezione visiva cominciamo ad avere un'idea piuttosto precisa delle aree cerebrali e dei gruppi neuronali implicati.

Eppure, sono in molti a ritenere che il problema coscienza sia e rimarrà comunque al di fuori della portata della scienza. La ragione è che, se anche riuscissimo a localizzare con precisione i correlati neurali di questa o di quella percezione, non saremmo in alcun modo più vicini a una vera spiegazione scientifica di come il cervello possa generare l'esperienza soggettiva. Per quel che ne sappiamo infatti, il cervello non è altro che una

macchina biologica molto sofisticata, costituita da un gran numero di circuiti, i cui componenti sono i neuroni e le sinapsi tra i neuroni, e non si comprende come questi, anche se organizzati in circuiti complessi, possano far scaturire l'esperienza soggettiva. Per fare un esempio, abbiamo un'idea abbastanza chiara di come circuiti nervosi appropriatamente organizzati siano in grado – partendo dai coni retinici e raggiungendo aree specializzate della corteccia visiva – di discriminare efficacemente superfici che riflettono la luce in maniera dissimile (diversa riflettanza). Infatti, non è troppo difficile far replicare questa capacità discriminativa a una macchina artificiale fatta di circuiti integrati. Ciò che sembra difficile è spiegare come e perché tale discriminazione sia accompagnata dall'esperienza soggettiva del colore. Quale ingrediente misterioso fa sì che, quando certi circuiti nervosi effettuano la discriminazione tra riflettanze diverse, vi sia contemporaneamente un soggetto cosciente il quale 'vede', in modo vivido e immediato, due colori brillanti, per esempio il rosso e il blu? Sembra davvero che gli strumenti a disposizione della neurofisiologia siano irrimediabilmente inadeguati per affrontare questo genere di domande.

La ragione di tale inadeguatezza è che una spiegazione scientifica della coscienza implica la soluzione teorica di due problemi. Il primo richiede di identificare le condizioni che determinano il verificarsi o meno dell'esperienza cosciente. Per esempio, perché la coscienza è abolita da lesioni del cervello ma non del cervelletto, essendo quest'ultimo una struttura nervosa altrettanto ricca di neuroni e altrettanto complessa? E perché siamo coscienti quando siamo svegli e quando sogniamo, e lo siamo invece molto meno durante le fasi profonde del sonno a onde lente, se le cellule nervose sono in ogni caso attive? Il secondo problema concerne le condizioni che determinano il tipo di esperienza che si verifica. Che cosa determina le qualità specifiche e fondamentali delle diverse modalità (per es., vista e udito), sottomodaltà (per es., colore e movimento) e dimensioni (per es., blu o rosso) che caratterizzano la nostra esperienza cosciente? Perché i colori ci appaiono in un dato modo, diverso da quello in cui percepiamo una melodia oppure uno stimolo doloroso? Risolvere il primo problema significa determinare il livello (o quantità) di coscienza che un sistema fisico può generare; risolvere il secondo vuol dire determinare il tipo (o qualità) di questa coscienza.

sommario

1. La teoria dell'integrazione dell'informazione. 2. Coscienza, integrazione dell'informazione e cervello. 3. Qualità della coscienza.

1. La teoria dell'integrazione dell'informazione

Partendo dall'osservazione delle proprietà fondamentali dell'esperienza cosciente, la teoria che viene detta 'dell'informazione integrata' cerca di fornire una visione sistematica del rapporto tra coscienza e cervello, e di proporre, almeno in linea di principio, una soluzione ai due problemi della coscienza. Essa sostiene, in breve, che un sistema fisico è cosciente nella misura in cui è in grado di integrare informazione. Questa definizione, apparentemente astratta, prende origine proprio dalla fenomenologia della coscienza, ovvero dall'osservazione delle due caratteristiche fondamentali dell'esperienza soggettiva: (a) l'esperienza cosciente è straordinariamente informativa, nel senso che il repertorio potenziale di stati di coscienza diversi è estremamente grande; (b) l'esperienza cosciente è integrata, ovvero ogni stato di coscienza è esperito come una singola entità. Ricchezza di informazione e integrazione sono due caratteristiche talmente necessarie e connaturate al fluire della nostra esperienza quotidiana che faticiamo a riconoscerle: per comprenderne l'importanza è utile ricorrere a due esperimenti immaginari.

Informazione

Immaginiamo di trovarci di fronte a uno schermo omogeneo che cambia ogni pochi secondi da acceso a spento, e di doverne comunicare lo stato dicendo 'chiaro' o 'scuro'. Di fronte allo schermo c'è anche un fotodiode, un semplicissimo congegno elettronico che sa indicare la presenza/assenza di luce. Il primo problema della coscienza si riduce a questo: quando distinguiamo tra acceso e spento, ciascuno di noi vede uno schermo chiaro o scuro, ha un'esperienza soggettiva di chiaro o di scuro. Il fotodiode sa distinguere altrettanto bene tra chiaro e scuro, ma presumibilmente non ha alcuna esperienza soggettiva. Qual è la differenza fondamentale che rende noi coscienti e il fotodiode no? Secondo la teoria è la seguente: quando il fotodiode indica chiaro, distingue solamente tra chiaro e scuro; quando noi diciamo chiaro, distinguiamo in realtà non solo tra chiaro e scuro, ma tra chiaro e miliardi di miliardi di alternative. Per esempio, lo schermo potrebbe inaspettatamente mostrare, anziché una superficie omogenea chiara o scura, un qualunque fotogramma tratto da un qualsiasi film. Ci sono milioni di film e milioni di fotogrammi, eppure, senza alcuno sforzo e nel giro di una frazione di secondo, ciascuno di essi indurrebbe in noi un'esperienza cosciente diversa. Il fotodiode, invece, non potrebbe far altro che continuare a indicare chiaro o scuro. Questo esperimento immaginario suggerisce che la differenza fondamentale tra noi e il fotodiode sia nella quantità di informazione a disposizione. L'informazione, classicamente, è una misura di quanto sia grande il repertorio di alternative: maggiore è il numero di alternative, maggiore è il numero di bit di informazione. Per noi, la visione di uno schermo chiaro esclude un numero straordinariamente grande di alternative, ed è pertanto oltremodo informativa (anche se, tipicamente, non ci facciamo caso). Per il fotodiode, invece, uno schermo chiaro

esclude soltanto uno schermo scuro, e l'informazione è pari a un solo bit. L'informatività, sostiene la teoria, è una proprietà fondamentale dell'esperienza cosciente – lo è tanto che la diamo per scontata.

Integrazione

L'informatività, tuttavia, non basta a spiegare la coscienza se non va di pari passo con l'integrazione. Consideriamo, infatti, un'ipotetica macchina fotografica digitale che possieda un sensore costituito da un milione di fotodiodi. Sembrerebbe che, con un gran numero di fotodiodi, sia possibile distinguere tra un enorme numero di alternative: basta puntare l'obiettivo in direzioni diverse e il sensore è in grado di rispondere in modo differente a miliardi di scene diverse. L'informazione a disposizione del milione di fotodiodi è enormemente maggiore di quella a disposizione di un singolo fotodiodo, eppure nessuno penserebbe che la macchina fotografica veda coscientemente. Qual è, allora, la differenza fondamentale tra lei e noi? La risposta è che il sensore della macchina non è che una collezione di un milione di fotodiodi indipendenti, ciascuno in grado di distinguere tra chiaro e scuro, e non un sistema integrato capace di discriminare tra miliardi di immagini. Questo perché tra i fotodiodi non è possibile alcuna interazione causale, ovvero alcuno scambio di informazione. Infatti, se il sensore venisse tagliato longitudinalmente in due parti (o in un milione di parti), il funzionamento della macchina fotografica non cambierebbe. Non è così nel nostro caso: se le cellule del cervello fossero mantenute in grado di funzionare ma venissero disconnesse le une dalle altre, non c'è dubbio che la coscienza scomparirebbe.

Basta pensare a ciò che accade quando si divide il cervello in due parti tagliando il corpo calloso, ovvero il cospicuo tratto di fibre nervose (più di 200 milioni) che congiunge i due emisferi cerebrali. Ciò che accade è, né più né meno, che si divide in due anche la coscienza, col risultato che due coscienze indipendenti finiscono per condividere lo stesso cranio. Per esempio, come si può facilmente dimostrare in laboratorio, un emisfero è cosciente di ciò che avviene nella parte destra dello schermo ma non ha la minima idea di ciò che accade a sinistra, mentre per l'altro emisfero è vero l'opposto: un emisfero (e una coscienza) vede, supponiamo, la scritta 'so', mentre l'altro emisfero (e rispettiva coscienza) vede la scritta 'no', ciascuno all'insaputa dell'altro. Un cervello intatto, e una coscienza integrata, vedono invece la parola 'sono'; anzi, proprio perché l'esperienza cosciente è integrata, un cervello intatto non riuscirà mai, per quanto si sforzi, a vedere la parte destra e quella sinistra del campo visivo indipendentemente. In breve, secondo la teoria, la coscienza presuppone un sistema che abbia a disposizione un enorme repertorio di stati diversi, ma che sia nel contempo integrato. Se il repertorio di stati è minimo (come nel caso del singolo fotodiodo), o se il sistema non è integrato (come il sensore della macchina fotografica), non vi è coscienza degna di questo nome.

Riconoscere che la capacità di integrare informazione è alla base della coscienza è essenziale ma non sufficiente. Per arrivare a una teoria scientifica della coscienza occorre definire precisamente che cosa si intende per informazione, che cosa si intende per integrazione, in quali casi l'informazione può essere definita integrata, e come la si può misurare. La teoria dell'integrazione dell'informazione è stata sviluppata proprio con questo obiettivo. Essa introduce una misura dell'informazione integrata, chiamata φ (la barra verticale della lettera greca sta per informazione, il cerchio per integrazione), che si basa sul concetto di informazione effettiva (ovvero sulle cosiddette 'differenze che fanno una differenza' in un sistema di elementi). Insiemi di elementi (per es., cellule nervose) capaci di integrare informazione sono chiamati 'complessi', e ciascuno di essi ha un certo ammontare di φ . La teoria offre un metodo preciso per identificare i complessi e per misurarne la capacità di integrare informazione: in sostanza, esso consiste nello stimolare in molti modi diversi vari sottoinsiemi di un sistema di elementi e nell'osservare quanto è grande il repertorio di risposte indotte nel resto del sistema. Complessi di elementi in cui, indipendentemente da come li si suddivide, stimoli diversi producono un gran numero di risposte differenti, hanno una capacità elevata di integrare informazione. Sistemi che si possono scomporre in molti sottosistemi indipendenti o quasi, o sistemi integrati che però presentano un repertorio di risposte scarso, integrano poca informazione.

2. Coscienza, integrazione dell'informazione e cervello

Disponendo di una definizione precisa di integrazione dell'informazione, e di un modo per misurarla, diventa possibile mettere la teoria alla prova dei fatti, soprattutto di quei fatti fondamentali ma paradossali che hanno sinora eluso qualunque spiegazione scientifica. Perché, per esempio, la coscienza scompare se si asporta la corteccia cerebrale ma non se si asporta il cervelletto, che possiede un numero di neuroni persino maggiore? E perché siamo coscienti durante la veglia ma lo siamo molto meno durante il sonno senza sogni, visto che il nostro cervello è più o meno altrettanto attivo? Armati della teoria, e aiutati da simulazioni al computer di circuiti nervosi semplificati, ciò che sembrava difficile da comprendere diviene invece chiaro e semplice non appena lo si affronta in termini di capacità di integrare informazione.

Sistema talamocorticale e coscienza

Un gran numero di dati clinici e sperimentali indica, senza ombra di dubbio, che la coscienza dipende strettamente dal funzionamento del sistema talamocorticale. Lesioni acute che coinvolgono, direttamente o indirettamente, ampi settori della sua sostanza grigia (cellule nervose, sinapsi e fibre nervose locali) o bianca

(fibre nervose interregionali) esitano invariabilmente nel coma. Il paziente giace a occhi chiusi, in uno stato di immobilità che appare simile al sonno profondo, non risponde agli stimoli e non può essere risvegliato. Il coma può essere secondario a particolari condizioni metaboliche, oppure ad avvelenamenti da farmaci o tossine che causano un malfunzionamento diffuso del sistema talamocorticale; più spesso la causa va ricercata in un trauma cranico, in un'emorragia o in un'ipossia di origine cardiovascolare, che danneggiano in modo esteso il funzionamento dello stesso sistema. Se il coma perdura, la respirazione autonoma e le altre funzioni neurovegetative in genere si ristabiliscono, e riemerge il ritmo sonno-veglia: durante il giorno il paziente apre gli occhi e appare sveglio, ma continua a non rispondere agli stimoli. Si parla allora di stato vegetativo. Questi pazienti possono mostrare frammenti di atti motori stereotipati e anche emettere vocalizzazioni, ma non producono alcun comportamento finalizzato. Il fenomeno sembra suggerire la persistenza di isole di tessuto cerebrale funzionante nel contesto di un sistema talamocorticale silente.

L'anatomia patologica rivela che, nello stato vegetativo, la perdita duratura di coscienza è associata a lesioni diffuse della sostanza grigia della corteccia e del talamo, a lesioni diffuse della sostanza bianca cerebrale, o a lesioni talamiche bilaterali, specialmente dei nuclei vicini alla linea mediana che rappresentano un importante crocevia delle connessioni tra le aree corticali associative. In tutti e tre i casi, l'effetto finale della lesione che sottende lo stato vegetativo è una netta riduzione della capacità interattiva di molteplici aree corticali. Viceversa, lesioni limitate a una parte della corteccia cerebrale non determinano uno stato di incoscienza globale, bensì deficit focali, come per esempio la perdita della percezione del colore o del movimento: nessuna area in particolare sembra possedere la chiave della coscienza in quanto tale. Analogamente, studi di elettrofisiologia e imaging cerebrale mostrano come l'attività nervosa che correla con l'esperienza cosciente non sia localizzata, bensì diffusa a una rete di circuiti che tocca numerose regioni del sistema talamocorticale. In particolare, registrazioni elettroencefalografiche e magnetoencefalografiche hanno messo in evidenza alcuni fenomeni elettrici che correlano significativamente con la presenza di percezione cosciente. Il più riproducibile è l'aumento transitorio della sincronizzazione tra le oscillazioni registrate da sensori posti su aree corticali anche molto distanti tra loro: esso coinvolge soprattutto i ritmi elettroencefalografici veloci (da 30 a 80 Hz) e si instaura circa 100-200 msec dopo la presentazione dello stimolo. Questo fenomeno indica che, con tutta probabilità, quando percepiamo coscientemente uno stimolo, moltissimi gruppi neuronali del sistema talamocorticale stanno interagendo efficacemente tra loro, sia a breve sia a lunga distanza.

Nel complesso, i dati indicano chiaramente che il substrato della coscienza è costituito da una rete talamocorticale di elementi e circuiti fittamente interconnessi. Che cosa rende speciale il sistema talamocorticale? Se ne prendiamo in considerazione la neuroanatomia funzionale, diviene ovvio che l'architettura delle sue connessioni è in effetti straordinariamente adatta a integrare informazione. Sul versante

dell'informazione, il sistema talamocorticale è composto da un gran numero di elementi altamente differenziati, ossia specializzati funzionalmente: i diversi sistemi (visivo, somatosensoriale, ecc.) si suddividono in aree specializzate (forma, colore, ecc.) che, a loro volta, contengono gruppi di neuroni specializzati (direzione, movimento, ecc.). Sul versante dell'integrazione, gli elementi specializzati del sistema talamocorticale sono inseriti in una rete di connessioni, sia a breve sia a lungo raggio, che permette un'interazione rapida ed efficace tra le diverse aree corticali. Un'organizzazione di questo genere, caratterizzata dalla coesistenza di specializzazione e integrazione funzionale, come confermato da simulazioni al calcolatore, risponde esattamente ai requisiti necessari perché un sistema fisico sia in grado di integrare una notevole quantità di informazione.

Cervelletto: una macchina neuronale complicata ma ben poco cosciente

Il cervelletto possiede più neuroni del resto del cervello (50 miliardi, contro i 30 miliardi della corteccia cerebrale), altrettanti connessioni sinaptiche e neurotrasmettitori, e tuttavia non ha nulla o quasi a che fare con la coscienza. I pazienti ai quali è stato completamente asportato sono poco coordinati, possono anche presentare qualche sottile deficit cognitivo, ma sono sicuramente coscienti. Perché l'asportazione del cervelletto non toglie alla coscienza, mentre una lesione diffusa del sistema talamocorticale precipita lo stato vegetativo? Secondo la teoria dell'integrazione dell'informazione, la ragione va ricercata ancora una volta nell'architettura delle connessioni. La corteccia cerebellare sembra essere costituita da tanti circuiti in parallelo: i moduli stereotipati che la costituiscono comunicano scarsamente l'uno con l'altro e sono progettati per lavorare indipendentemente e velocemente su piccoli blocchi di segnali nervosi. Ciò rende il cervelletto una macchina efficiente e veloce dal punto di vista computazionale, a discapito tuttavia della capacità di integrare informazione. L'architettura della corteccia cerebellare, priva di connessioni laterali a breve e lunga distanza, fatta di molti piccoli complessi isolati ciascuno dei quali integra poca informazione, si avvicina a quella del sensore della macchina fotografica.

Attività nervosa corticale e sottocorticale e processi cognitivi inconsci

In ogni istante della nostra vita cosciente vediamo oggetti appropriatamente collocati nello spazio e li riconosciamo, udiamo parole ben distinte l'una dall'altra e ne cogliamo il significato, e facciamo tutto questo in modo apparentemente semplice e immediato, senza che ci sia richiesto alcuno sforzo. Eppure gli studi neurofisiologici dimostrano chiaramente che ciò che vediamo e udiamo è il risultato di una sofisticata elaborazione di segnali nervosi riguardanti la percezione della prospettiva, il riconoscimento degli oggetti e

l'analisi del linguaggio. Molti di questi processi hanno luogo nel sistema talamocorticale e in vari circuiti sottocorticali a esso connessi. Analogamente, registrazioni magnetoencefalografiche dimostrano che anche uno stimolo che rimane inconscio può evocare risposte in molte aree del cervello, inclusa la corteccia frontale. Come mai non siamo minimamente consapevoli di tutto questo incessante lavoro?

La stessa domanda si pone a proposito del versante esecutivo della coscienza. Quando pianifichiamo o diciamo qualcosa, infatti, siamo soltanto vagamente coscienti di ciò che vogliamo fare. Le nostre vaghe intenzioni vengono però tradotte quasi miracolosamente nelle parole appropriate, ordinate nella giusta sequenza, a formare una frase sintatticamente corretta che esprime esattamente ciò che volevamo dire. Anche in questo caso, non siamo affatto coscienti delle complicatissime computazioni che i neuroni corticali eseguono per realizzare le nostre intenzioni. Qual è la spiegazione di questo fenomeno? La più plausibile è che questi processi cognitivi siano svolti da circuiti nervosi che, per quanto sofisticati, e per quanto collegati in ingresso e in uscita a circuiti talamocorticali responsabili della generazione della coscienza, rimangono essenzialmente isolati dal punto di vista informativo. Per esempio, molti circuiti sottocorticali – in particolar modo quelli che coinvolgono i cosiddetti gangli della base – sono organizzati in parallelo, con scarse possibilità di interazione reciproca. Ciascuno di essi rappresenta una sorta di 'linea privata' di elaborazione dei dati a disposizione di singoli elementi talamocorticali, che invece comunicano liberamente tra loro. I circuiti dei gangli della base potrebbero pertanto rappresentare il substrato neuronale per molti di quei processi che, per quanto inconsci, influenzano la coscienza e ne sono a loro volta influenzati.

È probabile che alcuni di questi circuiti, isolati dal punto di vista dell'informazione, si vengano a formare progressivamente nel corso dell'apprendimento di nuove sequenze motorie o cognitive. Per esempio, è esperienza comune che quando ci cimentiamo in un nuovo esercizio siamo consapevoli di ogni dettaglio, commettiamo errori, siamo lenti nell'esecuzione e ci è richiesto un certo sforzo. Una volta che abbiamo imparato a eseguirlo, invece, sappiamo farlo con precisione, velocità, scioltezza e, soprattutto, ne siamo sempre meno consapevoli. Gli studi di neurofisiologia funzionale indicano che quando eseguiamo un esercizio per la prima volta si attiva un gran numero di aree corticali, e che man mano che impariamo l'attivazione si riduce o si sposta, coinvolgendo circuiti differenti, perlopiù sottocorticali. Dunque, se all'inizio lo svolgimento del compito sembra coinvolgere numerose regioni di un vasto complesso talamocorticale, in seguito, con l'apprendimento, alcuni aspetti vengono a quanto pare delegati a circuiti nervosi sottocorticali che, essendo isolati dal punto di vista dell'informazione, non contribuiscono direttamente alla coscienza. È probabile che le cose non stiano diversamente per numerosi circuiti nervosi, contenuti all'interno della corteccia cerebrale, che si occupano di computazioni locali.

Sonno senza sogni

Se l'organizzazione anatomica sembra essere cruciale per l'integrazione dell'informazione e dunque per la coscienza, alcuni parametri neurofisiologici non sono da meno. Un esempio tipico è fornito dal sonno, la più familiare tra le alterazioni della coscienza e allo stesso tempo una delle più radicali. Quando ci risvegliamo da un sonno senza sogni, abbiamo la particolarissima sensazione di non essere esistiti, almeno per un certo tempo: né noi, né il mondo che ci circonda. Quest'esperienza, peraltro quotidiana, ci suggerisce in maniera assai vivida che la coscienza può fluttuare, espandersi e collassare. Tanto è vero che, senza le periodiche interruzioni del sonno senza sogni, ci risulterebbe difficile immaginare che la condizione cosciente non è perenne e inevitabile ma dipende invece, e in modo assai delicato, dal funzionamento del cervello. La perdita di coscienza che si verifica tra l'addormentamento e il risveglio è peraltro più relativa che assoluta: come si può facilmente dimostrare risvegliando un soggetto in corrispondenza di diversi stadi del sonno, un certo livello di coscienza viene mantenuto durante buona parte della notte. Molti risvegli, specialmente quelli che avvengono durante la fase REM (Rapid eye movements), sono seguiti dal racconto di un sogno, che talvolta è persino più vivido e coinvolgente della veglia. Stati di coscienza simili al sogno compaiono anche in alcune fasi del sonno a onde lente, specialmente durante l'addormentamento e nell'ultima parte della notte. Sono tuttavia numerosi i risvegli in occasione dei quali il soggetto non sembra avere alcunché da riferire, e ciò suggerisce una netta riduzione nel livello di coscienza. Questi risvegli 'vuoti' avvengono tipicamente in corrispondenza degli stadi di sonno più profondo (stadi 3 e 4), specialmente durante la prima metà della notte.

Quali parametri neurofisiologici sono responsabili dei notevoli cambiamenti della quantità e della qualità della coscienza durante il sonno? Sappiamo per certo che, contrariamente a quanto si potrebbe pensare, il cervello non si spegne affatto quando dormiamo. Per esempio, durante il sonno REM la frequenza di scarica dei neuroni è simile a quella registrata durante la veglia, se non più alta, e l'elettroencefalogramma mostra un tracciato ad alta frequenza e a bassa ampiezza. Questo tipo di tracciato, comune alla veglia e al sonno REM, è definito 'attivato', perché i neuroni corticali, depolarizzati e vicini alla soglia di scarica, sono pronti a rispondere agli stimoli. Considerata la somiglianza tra l'elettrofisiologia della veglia e quella del sonno REM, non è del tutto sorprendente che la coscienza sia presente in entrambe le condizioni. Ciò tuttavia non esclude che nei due casi la qualità della coscienza sia diversa, in relazione all'attivazione differenziale di aree cerebrali specifiche.

Anche durante il sonno a onde lente la scarica media dei neuroni corticali non è dissimile da quella che si può registrare durante la veglia quieta. Tuttavia, a causa della variazione nel livello di alcuni neuromodulatori, quasi tutti i neuroni del mantello corticale sono coinvolti in un'oscillazione lenta, con un periodo attorno al secondo, che si riflette nelle tipiche onde registrate dall'elettroencefalogramma. L'oscillazione lenta è

costituita dall'alternanza di due fasi: una fase di depolarizzazione, durante la quale il potenziale di membrana dei neuroni corticali è vicino alla soglia e la frequenza di scarica è simile a quella della veglia, e una fase di iperpolarizzazione, durante la quale il potenziale di membrana è fortemente negativo e i neuroni sono silenti. È probabile che, durante la seconda fase, i neuroni corticali siano assai meno pronti a rispondere, qualunque stimolo ricevano. Ciò provocherebbe una caduta, per quanto intermittente, della capacità di integrare informazione, e pertanto del livello di coscienza. Sarebbe un po' come se ci trovassimo a guardare un film spezzettato in frammenti brevissimi, inframezzati da intervalli vuoti durante i quali non possiamo vedere, pensare o ricordare nulla: non stupirebbe affatto se, in queste condizioni, vi fosse ben poco di cui riferire. Uno stato simile, anch'esso caratterizzato da una risposta ridotta dei neuroni corticali e da un ridotto livello di coscienza, è costituito dall'anestesia profonda.

Tempi della coscienza

Oltre che richiedere una speciale architettura anatomica, nonché parametri neurofisiologici adeguati, è evidente che l'esperienza cosciente si svolge con tempi caratteristici. Come dimostrato da studi di psicofisiologia, ci vogliono almeno 100-200 msec per arrivare a una percezione sensoriale compiuta. L'affiorare di una percezione visiva è simile, in un certo qual modo, al processo di sviluppo di una pellicola fotografica: prima vi è soltanto la sensazione che qualcosa sia cambiato, che sia comparso un che di visivo piuttosto che, per esempio, uditivo; poi è la volta di alcune caratteristiche elementari, come il movimento, la collocazione nello spazio e le dimensioni approssimative; quindi emergono la forma e i colori, seguiti infine dalla formazione e dal riconoscimento dell'intero oggetto. Si noti che questa sequenza corrisponde alla progressione da una percezione indifferenziata e aspecifica a una differenziata e specifica. Parallelamente, registrazioni dell'attività della corteccia visiva primaria della scimmia suggeriscono che la scarica dei neuroni correla con la presenza o meno della percezione cosciente di uno stimolo soltanto dopo 80-100 msec. Perché ci vuole tanto per generare un'esperienza cosciente? Perché l'attività di un neurone sembra contribuire alla coscienza soltanto in determinati intervalli temporali? In termini di integrazione dell'informazione, non è difficile comprendere che i requisiti temporali dell'esperienza cosciente dipendono dal tempo che è necessario per consentire interazioni causali efficaci tra gli elementi del sistema. Considerando i tempi di propagazione dell'impulso lungo le fibre nervose, se dovessimo misurare la risposta generata all'interno del sistema talamocorticale dalla stimolazione di un qualsiasi gruppo neuronale dopo appena un millisecondo, l'effetto sarebbe nullo. Tuttavia, dopo qualche decina di millisecondi gli elementi del sistema cominciano a interagire efficacemente, portando all'emergenza di una risposta specifica. In breve, la scala temporale delle interazioni

neurofisiologiche necessarie per integrare informazione tra le aree corticali risulta corrispondere ai tempi della coscienza osservati sperimentalmente.

3. Qualità della coscienza

La corrispondenza tra coscienza e capacità di integrare informazione consente di affrontare in maniera coerente non solo il problema di quanto un sistema fisico sia cosciente, ma anche di quale tipo di coscienza sia dotato (il secondo problema della coscienza). La nostra coscienza, è costituita da diverse modalità (per es., vista e udito), ciascuna suddivisa in sottomodalità (per es., forma e colore), a loro volta suddivise in numerose dimensioni. Che cosa è responsabile del fatto che i colori hanno quella particolare qualità soggettiva, la quale è diversa dal suono di un'orchestra o dal dolore causato da una ferita? E perché non riusciamo nemmeno a immaginare che cosa si proverebbe ad avere un 'sesto senso'? Si pensi a esseri sufficientemente diversi da noi, come i pipistrelli: assumendo che siano coscienti, che esperienze hanno? Quando scandagliano lo spazio con l'eco, il mondo appare loro in maniera similvisiva o similacustica, o in un modo ancora diverso?

Sebbene anche questi interrogativi possano sembrare difficilmente suscettibili di una risposta scientifica, sappiamo che, come la quantità, anche la qualità della coscienza dipende dal funzionamento di certe parti della corteccia cerebrale e del talamo. Per esempio, l'affinamento delle percezioni che avviene quando, nel corso del tempo, si impara ad apprezzare ogni sfumatura di un vino, dipende da modificazioni delle connessioni tra cellule cerebrali. Non solo, ma è ormai chiaro anche che aree diverse della corteccia forniscono qualità diverse alla coscienza. Per esempio, i pazienti con una particolare lesione cerebrale perdono la capacità di discriminare coscientemente i colori, mentre chi ha lesioni in un'altra sede percepisce ogni sfumatura di colore ma non è in grado di percepire il movimento. Evidentemente, un qualche aspetto dell'organizzazione di queste aree corticali è responsabile della diversa qualità delle esperienze coscienti che ne derivano. Ma qual è quest'aspetto cruciale? La teoria dell'integrazione dell'informazione suggerisce al problema della qualità della coscienza una risposta che rappresenta un'estensione naturale di quella relativa al problema della quantità di coscienza. In estrema sintesi, l'idea è che, come la quantità di coscienza è data dalla capacità di un sistema di integrare informazione, così le qualità specifiche dei cosiddetti qualia, del blu e del rosso per esempio, sono dovute al tipo di relazioni informazionali che legano gli elementi di un complesso, mentre il tipo di relazioni informazionali è determinato in larga parte dall'anatomia delle connessioni nervose che si trovano all'interno di ciascuna e tra le diverse aree corticali che costituiscono il complesso in cui l'informazione viene integrata.

Come abbiamo visto, è possibile – almeno in linea di principio – offrire una caratterizzazione teorica delle proprietà fenomenologiche fondamentali dell'esperienza cosciente: essa implica una straordinaria capacità di integrare informazione. È anche possibile sviluppare una vera e propria misura della coscienza (φ), allo stesso modo in cui si è potuto farlo per quantità fisiche fondamentali quali l'entropia o la temperatura (nel senso di energia cinetica media). Soprattutto, alla luce della teoria, è possibile rendere conto in maniera coerente di un gran numero di osservazioni sperimentali e cliniche relative alla neurobiologia della coscienza. Secondo la teoria, infatti, le molteplici manifestazioni della coscienza, e i loro misteriosi legami con l'organizzazione e il funzionamento di certe parti del nostro cervello, sono riconducibili alle modalità di integrazione dell'informazione: laddove cambia la capacità di integrare informazione cambia anche il livello di coscienza, e viceversa; analogamente a come, secondo la meccanica statistica, laddove cambia l'energia cinetica media delle molecole cambia anche la loro temperatura.

Arrivare a una comprensione adeguata della coscienza in tutti i suoi aspetti richiederà ben altri sviluppi, sia teorici sia sperimentali. Per esempio, non abbiamo potuto prendere in considerazione distinzioni importanti come quella tra coscienza primaria e autocoscienza, né i rapporti assai stretti tra coscienza e memoria e tra coscienza e linguaggio. Non abbiamo nemmeno accennato alle grandi difficoltà pratiche che ostacolano la misurazione della capacità di integrare informazione di un cervello vivente. Né è possibile, in questa sede, discutere le numerose implicazioni del postulare l'equivalenza tra coscienza e capacità di integrare informazione. Non è certo difficile, tuttavia, intuirne alcune: da un lato, se la teoria è corretta, qualunque sistema in grado di integrare informazione dev'essere in qualche misura cosciente, non importa se già adulto o ancora no, se umano o animale, se biologico o artificiale; dall'altro, se si considerano i risultati sinora ottenuti misurando l'informazione integrata in sistemi simulati al calcolatore, non sembra affatto facile imbattersi in un'organizzazione che riesca a superare, in quanto a integrazione dell'informazione, il sistema talamocorticale dell'uomo adulto.

COSCIENZA E AUTOCOSCIENZA

XXI Secolo (2010)

di Carlo Caltagirone

Il termine coscienza indica uno stato soggettivo di consapevolezza sulle sensazioni psicologiche (pensieri, sentimenti, emozioni) e fisico-sensoriali riferite sia al mondo interno sia al mondo esterno. La parola deriva dal latino conscientia (da cum scientia) e indica una conoscenza condivisa con sé stessi o con altri. L'oggetto di tale conoscenza, nella connotazione latina, poteva essere sia in generale un contenuto qualsiasi sia qualcosa di segreto, di negativo, da non rivelare. Attualmente, la parola coscienza costituisce una 'parola valigia' per il gran numero di accezioni cui può riferirsi, anche di natura molto differente. Infatti, a seconda dell'ambito di trattazione, può indicare: a) lo stato di vigilanza, e le relative capacità di percepire, interagire e comunicare con l'ambiente circostante; in questa accezione, la coscienza acquisisce carattere di continuità, su un continuum che va dalla veglia al sonno, fino al coma, passando per tutti gli stati intermedi (la GCS, Glas-gow Coma Scale, è stata costruita appositamente per valutare il livello di coscienza secondo vari indicatori comportamentali); b) la capacità psichica di intendere e definire sé stessi come separati dal mondo esterno; c) la capacità di distinguere il bene dal male; d) la consapevolezza come atto conoscitivo, attraverso cui il soggetto acquisisce conoscenze; e) l'autocoscienza come capacità di riflettere su sé stessi; f) in ambito psicoanalitico, la consapevolezza di contenuti psichici contrapposta alla qualità inconscia del materiale rimosso. Anche George P. Prigatano e Sterling C. Johnson (2003) propongono un modello di coscienza a tre vettori che interagiscono e, in parte, si sovrappongono: il ciclo sonno-veglia, la consapevolezza di sé e la capacità di 'entrare' nella mente di un'altra persona e di provare ciò che questa sta provando (teoria della mente).

La coscienza come funzione psichica

Adam Z. Zeman, tra le dodici categorie di significati da lui riportati cui il termine coscienza può essere riferito, si concentra in particolare sulle diverse sfumature di significato della parola in ambito psicologico (Zeman, Grayling, Cowey 1997). La coscienza come contenuto dell'esperienza varia da momento a momento. In quest'accezione viene evidenziata la dimensione qualitativa e soggettiva dell'esperienza, limitata da un punto di vista parziale e caratterizzata da contenuti instabili nel tempo, benché la coscienza permetta di mettere in collegamento contenuti passati e presenti. La coscienza inoltre è selettiva, in quanto alcuni contenuti possono essere portati in primo piano e altri sullo sfondo. Essa accoglie informazioni e contributi da tutte e cinque le modalità sensoriali e li elabora avvalendosi di tutte le facoltà psicologiche (pensiero, emozioni, memoria, immaginazione, linguaggio ecc.). In quest'accezione, è sempre 'coscienza di', nel senso che è sempre in relazione a un oggetto, come nella qualità intenzionale attribuita alla coscienza in ambito filosofico. Ogni volta che diciamo «Mi rendo conto» oppure «Ho preso co-scienza» dobbiamo

necessariamente specificare l'oggetto cui ci riferiamo, altrimenti il significato della frase resta sospeso. In tale prospettiva la coscienza è una funzione, un processo, che si applica ai fenomeni della conoscenza, una modalità con cui il mondo (esterno e interno) si rende accessibile all'individuo. Di fatto, noi non percepiamo la coscienza in sé, quanto piuttosto i suoi contenuti. Le sensazioni coscienti costituiscono la modalità con cui ci rappresentiamo gli elementi significativi del mondo esterno al fine di intraprendere una possibile azione di risposta. In altre parole, quando pensiamo a qualcosa, è evidente immediatamente (cioè in modo non mediato) che di questo qualcosa siamo coscienti, che la nostra attenzione è rivolta a esso e che esso è presente alla nostra mente. I processi del pensiero, invece, rimangono di fatto sconosciuti, sono messi in atto inconsapevolmente. Una loro conoscenza è possibile solo a posteriori, attraverso una riflessione razionale (metariflessione), uno degli atti cognitivi tra i più complessi ed elevati della mente umana. La nostra mente opera a diversi livelli di consapevolezza, anche contemporaneamente e a nostra insaputa, a prescindere cioè da un atto volontario e deliberato. Infatti, una distinzione qualitativa che si può operare è tra coscienza attiva e passiva: la prima implica una scelta, una volontà di focalizzare l'attenzione su contenuti o stimoli, escludendo dal campo cosciente altri fattori, mentre la seconda vede il soggetto semplicemente ricettivo al fluire di diversi stimoli esterni o interni. Questo tipo di funzionamento non riguarda solo la percezione e la conoscenza del mondo esterno, bensì anche le sensazioni interne, le emozioni, gli stati d'animo. Ognuno di noi, infatti, può rendersi conto, in un dato momento, di essere annoiato, allegro, triste, di voler bene a qualcuno e così via. Anche in quest'ottica, dunque, è possibile distinguere vari livelli di coscienza: si va dalla consapevolezza delle semplici esperienze sensoriali e percettive, che rappresenta il livello più 'primitivo', anche in senso filogenetico (in quanto probabilmente condiviso con altre specie animali), per arrivare alla consapevolezza, squisitamente umana, dei propri stati emotivi e dei propri pensieri (autocoscienza).

Autocoscienza e autoconsapevolezza

Un primo dato immediato della coscienza è la consapevolezza di essere, di esistere. Soltanto in gravi patologie psichiche o nelle primissime fasi di sviluppo del bambino, la presenza di questa consapevolezza può essere messa in dubbio. In effetti, non possiamo escludere che una consapevolezza di sé seppur nucleare sia presente anche nel neonato, ma di certo essa si rende evidente all'osservazione solo tra la fine del primo anno di vita e nel corso del secondo, quando il bambino impara a pronunciare 'no', dichiarando una volontà propria e contraria a quella del mondo esterno, a riferirsi a sé non più in terza persona, bensì utilizzando il pronome 'io' e a riconoscersi allo specchio. Prima di questa fase, il bambino è consapevole degli oggetti del mondo esterno,

dell'esistenza delle persone cui si relaziona, ma probabilmente non ha ancora sviluppato la consapevolezza di sé come entità separata e dotata di volontà. In effetti, la coscienza di sé si colloca a un livello psichico più elevato rispetto alla coscienza del mondo esterno. Le forme più elementari di autocoscienza sono quelle legate alle sensazioni fisiche e alle percezioni, attraverso le quali si arriva a definire un'idea della propria esistenza; mentre il passo evolutivo successivo è quello con cui iniziamo a percepirci come agenti attivi e non solo passivi nei confronti di queste sensazioni, cui cominciamo a fornire risposte (dilazione nel tempo, ricerca di modalità di soddisfazione di un bisogno ecc.).

Formulare una definizione in termini scientifici di autocoscienza è estremamente difficile, in quanto l'esigenza di stabilire criteri empirici e descrittivi, facendo riferimento a fenomeni osservabili, contrasta nettamente con l'essenza squisitamente soggettiva del fenomeno. La coscienza, e a maggior ragione la coscienza di sé, è un fenomeno strettamente privato e legato ai vissuti interni dell'individuo, e quindi difficilmente rilevabile secondo le modalità tradizionali della scienza. Inoltre, solitamente, nello studio scientifico vi sono un osservatore (soggetto) e un fenomeno osservato (oggetto), separati e distinti. Nel caso dell'autocoscienza questa distinzione si perde, in quanto soggetto e oggetto coincidono: è infatti la coscienza che riflette su di sé. Siamo nel campo della metacognizione. L'autoconsapevolezza consiste, infatti, nella capacità di percepire sé stessi in termini relativamente oggettivi, pur mantenendo un senso di soggettività, il che rappresenta un vero e proprio paradosso della coscienza umana. La complessità della questione è testimoniata dalle numerose speculazioni filosofiche, religiose, psicologiche, sociali e scientifiche succedutesi nei secoli.

Riduzionismo e antiriduzionismo

Lo studio della coscienza, data la natura stessa dell'oggetto, in ambito filosofico e neuroscientifico ha dato luogo a un'ampia varietà di teorie e modelli esplicativi. I due principali filoni in cui è possibile comprendere le teorizzazioni proposte sono il riduzionismo, che tenta di ricondurre la coscienza esclusivamente nell'alveo dei fenomeni fisici e neurobiologici del cervello, e l'antiriduzionismo, secondo cui questa impostazione sarebbe invece parziale e inadeguata. David J. Chalmers (1996) è stato tra i primi a evidenziare la differenza tra spiegazioni degli eventi neurali che mediano il comportamento cosciente e il più oscuro processo attraverso cui quegli stessi eventi danno luogo alla consapevolezza. Da una parte, i riduzionisti mirano a definire la coscienza unicamente in termini compatibili con un'impostazione scientifica, dall'altra, gli antiriduzionisti si

rifiutano di ricondurre le manifestazioni della coscienza ai meri meccanismi del mondo fisico e si impegnano piuttosto per definirne l'essenza metafisica, squisitamente mentale.

Lo studio scientifico della coscienza di sé

Modelli neuropsicologici dell'autocoscienza e dell'autoconsapevolezza

La scienza per lungo tempo ha ignorato l'autocoscienza, considerandola un fenomeno mentale non oggettivabile e, in quanto tale, al di fuori dei propri interessi. Più recentemente, numerosi autori hanno tentato di affrontare la questione adottando paradigmi scientifici, in particolare inquadrando l'autoconsapevolezza in termini neuropsicologici. In questa prospettiva, le definizioni più recenti di autoconsapevolezza sono: a) la capacità di distinguere, codificare e recuperare informazioni riguardanti la propria persona; b) l'insieme di schemi riguardanti le capacità, i tratti e gli atteggiamenti che guidano comportamenti, scelte e interazioni sociali del soggetto. La differenza sostanziale tra queste due definizioni consiste essenzialmente nell'accento posto sulla funzione adattiva dell'autoconsapevolezza rispetto al mondo-ambiente. Ancora, A.Z. Zeman (2006) distingue varie componenti metacognitive dell'autoconsapevolezza: a) la capacità di percepire stimoli esterni e interni agenti sull'individuo (self-detection); b) la capacità di ricordare le azioni compiute e di predire gli esiti delle proprie azioni (self-monitoring); c) la capacità di percepire il corpo come proprio, di riconoscere la propria immagine allo specchio, di riconoscersi soggetto delle proprie esperienze (self-recognition); d) la capacità di percepirsi protagonista di una rappresentazione mentale coerente estesa nel tempo e contestualizzata nella dimensione spaziotemporale (self-knowledge).

La consapevolezza di sé si basa su un insieme di funzioni psicofisiologiche, quali la memoria, la percezione, l'attenzione, l'elaborazione delle informazioni. Le sensazioni, dopo essere state inizialmente recepite a livello corticale, vengono selezionate ed elaborate. A questa fase segue la percezione, ovvero l'astrazione di informazioni sensoriali selezionate, finalizzata alla formazione di un concetto grossolano di ciò che si sta verificando all'interno e/o all'esterno dell'individuo. Quindi l'attenzione procede a un'ulteriore selezione di informazioni, di cui, quelle trattenute, vengono mantenute temporaneamente nella memoria a breve termine per essere utilizzate nell'immediato per prendere decisioni e agire. I processi motivazionali direzionano tali scelte. La consapevolezza di sé accompagna prevalentemente l'ultima parte di questi processi, rendendo

possibile sia la riflessione sui propri stati mentali e sulle proprie strategie decisionali sia il senso di continuità spaziotemporale di sé (identità). A tale proposito, Alexei V. Samsonovich e Lynn Nadel (2005) sintetizzano nel concetto di Io, inteso come unità funzionale, l'integrazione della consapevolezza cosciente, la percezione sensoriale e il controllo volontario nell'individuo. Inoltre, denominano mappa egocentrica la consapevolezza dell'Io nel qui e ora, e mappa allocentrica la consapevolezza dell'Io legata a specifici momenti del passato che costituiscono tracce esperienziali da utilizzare per orientarsi nel presente e nel futuro. Questi due livelli sarebbero parzialmente indipendenti ma interagirebbero continuamente.

Correlati neurobiologici della coscienza

Il notevole recente sviluppo delle neuroscienze ha offerto validi strumenti d'indagine per studiare il substrato neurale dei fenomeni della coscienza. Tuttavia, quest'ultimo è stato individuato solo parzialmente, in quanto funzioni così complesse e di alto livello difficilmente sono riconducibili a singole strutture cerebrali, mentre è molto più verosimile una loro attribuzione a un'estesa rete neurale. Di notevole interesse è anche l'ipotesi di Ahmad Abu-Akel (2003), il quale descrive una correlazione tra funzioni e strutture, distinguendo tre livelli di autoconsapevolezza e autoriflessione attribuendoli rispettivamente ad aree cerebrali distinte: 1) le rappresentazioni dei propri stati mentali e del sense of agency si formerebbero nelle strutture parietali posteriori destre; 2) queste rappresentazioni verrebbero poi valutate in base a criteri di rilevanza personale e al significato emozionale a esse associato, processo che sarebbe a carico delle strutture limbiche e paralimbiche; 3) le funzioni esecutive, di sintesi e mentalizzazione sarebbero applicate su tali rappresentazioni emotivamente connotate dalle aree corticali prefrontali dorsomediali e dorsolaterali. Il ruolo della corteccia prefrontale (PFC) è messo in risalto anche dagli stessi Samsonovich e Nadel (2005), i quali ipotizzano che la mappa egocentrica risieda nelle regioni dorsolaterali e/o mediali della PFC, mentre la mappa allocentrica potrebbe essere localizzata nell'ippocampo. Queste due aree non sono in diretta connessione tra loro, ma sono collegate attraverso la corteccia entorinale, che fa parte del lobo temporale mediale. Altri studiosi mettono in evidenza il ruolo rilevante del precuneus, situato nella porzione posteromediale del lobo parietale (aree di Brodmann: BA 7 e 31). Il precuneus sarebbe coinvolto nei processi di mentalizzazione dell'autocoscienza; in particolare, un'interazione tra precuneus e PFC (in particolare le sue porzioni mediali e rostrolaterali) è stata ipotizzata in individui impegnati in riflessioni su di sé. L'impiego della tomografia a emissione di positroni (PET) ha evidenziato una diminuzione dell'attività metabolica nel precuneus sia durante attività non autoriferite, sia nel corso di stati di coscienza alterati (sonno, ipnosi, anestesia farmacologica).

I deficit di consapevolezza di sé

Un impulso notevole allo studio dell'autocoscienza da un punto di vista neurologico è stato fornito dall'osservazione di alcuni fenomeni clinici caratterizzati da deficit nella consapevolezza di sé dovuti ad alterazioni funzionali o strutturali a livello cerebrale. Tali compromissioni prendono il nome di anosognosia e deficit di insight. Il primo termine, coniato nel 1914 dal neurologo Joseph Babinski, si riferisce esplicitamente alla difficoltà per un paziente di rilevare o valutare realisticamente un deficit motorio, cognitivo, comportamentale o affettivo, a seguito di un danno cerebrale. Questo tipo di manifestazione è piuttosto diffusa in soggetti vittime di ictus o trauma cranico, i quali, pur riportando evidenti emiplegie o emiparesi, non riescono a rendersene conto, continuano cioè ad affermare di stare bene, di poter camminare o usare l'arto colpito in maniera normale. Questi pazienti difendono le proprie convinzioni anche di fronte a evidenze che provano il contrario e si mostrano generalmente stupiti delle affermazioni di medici e parenti che testimoniano la loro inabilità (Orfei, Robinson, Prigatano et al. 2007). Analogamente, pazienti affetti da sindrome di Anton non sono consapevoli della loro cecità. Un altro tratto peculiare dell'anosognosia nel danno cerebrale è che i pazienti mantengono una normale consapevolezza rispetto a tutti gli altri aspetti della loro vita, della propria identità e possono allo stesso tempo essere realisticamente coscienti di altri sintomi. L'anosognosia è un fenomeno solitamente reversibile spontaneamente nell'arco di 3-6 mesi, solo raramente si protrae per periodi più lunghi. I correlati neuroanatomici riscontrati più di frequente riguardano il prevalente coinvolgimento dell'emisfero destro, le lesioni delle aree corticali frontoparietali, della corteccia temporale superiore, della corteccia dorsale premotoria (BA 6 e 44), delle aree motorie primarie, del talamo e dell'insula.

Anche soggetti colpiti da forme di demenza, come la malattia di Alzheimer o la demenza frontotemporale, non sono in grado di prendere consapevolezza della propria condizione patologica, rendendo probabili comportamenti rischiosi. Tipicamente, questi pazienti mostrano di non avere consapevolezza di disturbi comportamentali (disinibizione) e/o dei deficit cognitivi, dei cambiamenti di tratti di personalità o di umore; attribuiscono a cause errate i deficit mnestici; sottovalutano le sopraggiunte limitazioni nelle attività quotidiane e la conseguente mancata messa in atto di strategie compensatrici, e infine la non consapevolezza dell'impatto della malattia sull'ambiente circostante. Al contrario di quanto osservato nel danno cerebrale, nelle demenze la perdita di consapevolezza è irreversibile e progressivamente ingravescente. In soggetti colpiti da queste sindromi e con chiari segni di anosognosia, sono stati rilevati un'ipoperfusione del lobo frontale

dorsolaterale destro, delle aree corticali frontali destre inferiori e superiori, delle aree temporoccipitali, delle BA 6, 45, 8 e 9 (corteccia frontale laterale destra), del giro frontale inferiore destro, una marcata densità di placche senili nel prosubiculum destro dell'ippocampo, un ipometabolismo dell'area paraippocampale destra, della corteccia orbitofrontale destra, del solco frontale superiore sinistro, dell'insula mediale destra, del giro temporale mediale destro, della corteccia temporoparietale bilaterale, della corteccia inferotemporale bilaterale.

Altre patologie in cui la carente consapevolezza di sé è oggetto di studio sono le psicosi e la schizofrenia, a proposito delle quali si preferisce parlare però di deficit di insight, sia per aderenza a una denominazione più classicamente psichiatrica (K. Jaspers, *Allgemeine Psychopathologie*, 1913; trad. it. 1964) sia perché un'eziologia cerebrale in questi casi è molto più ardua da stabilire (Orfei, Robinson, Bria et al. 2008). Le manifestazioni comportamentali più comuni sono il mancato riconoscimento verbale sia della malattia in generale sia dei sintomi, l'errata attribuzione causale delle esperienze allucinatorie e deliranti, la non consapevolezza dei benefici e della necessità del trattamento terapeutico, dell'impatto sociale della malattia e della possibilità di ricadute. L'andamento dei deficit di insight nelle psicosi può essere molto variabile, ma non necessariamente irreversibile: in alcuni casi, il trattamento farmacologico ed eventualmente psicoterapeutico possono ristabilire un'adeguata percezione della propria condizione patologica. I pochi studi finora realizzati sull'argomento hanno riportato correlazioni tra deficit di insight e riduzione del volume delle aree frontali e prefrontali (DLPFC).

Un atteggiamento strettamente localizzazionista non appare idoneo nello studio della consapevolezza, mentre l'ipotesi di un substrato rappresentato da una rete neurale articolata in diverse aree corticali e subcorticali sembra di gran lunga più verosimile. Secondo i modelli più recenti, i processi della consapevolezza sarebbero cioè generati a partire da varie componenti del sistema nervoso centrale. In ogni momento numerosi circuiti modulari cerebrali sarebbero attivi contemporaneamente ed elaborerebbero le informazioni a livello non cosciente. Nel momento in cui l'attività di una determinata popolazione neuronale viene mobilitata e amplificata da processi attenzionali, l'informazione da essa processata diverrebbe cosciente. La coscienza non coinciderebbe quindi con l'attività cerebrale in toto, dal momento che le informazioni possono accedere alla coscienza oppure rimanere confinate ai processi subcoscienti. L'attenzione invece è un prerequisito indispensabile per la consapevolezza che, a sua volta, è necessaria per svolgere determinati compiti o attività, come, per es., quelli che richiedono la fissazione di alcune informazioni, l'esecuzione di combinazioni nuove

di operazioni cognitive o anche la produzione di comportamenti intenzionali. Le connessioni a lungo raggio che caratterizzano queste reti neurali rendono le informazioni disponibili per un'ampia gamma di operazioni (categorizzazione percettiva, memorizzazione a lungo termine, valutazione ecc.). La disponibilità di questo materiale rappresenterebbe il campo di coscienza soggettivo. Tuttavia, questo modello non riesce ancora a spiegare come alcune rappresentazioni o contenuti ideativi possano rimanere temporaneamente o permanentemente inaccessibili alla consapevolezza. A livello strutturale, l'emisfero destro sarebbe prevalentemente, ma non esclusivamente, coinvolto e le aree prefrontali e temporo-parietali assumerebbero una salienza funzionale rilevante.

La difficoltà nello studio della coscienza risiede in primo luogo in un'elevata complessità fenomenologica e, in secondo luogo, nel fatto di porsi al crocevia di numerose aree concettuali. Le arti, le religioni, la filosofia e la psicologia hanno tutte contribuito alla definizione e alla comprensione della coscienza e dell'autoconsapevolezza, così come, in tempi più recenti, hanno fatto le scoperte nel campo delle neuroscienze. Questa enorme ricchezza di idee e dati rischia tuttavia di rimanere infruttuosa, generando saperi rigidamente separati o peggio ancora una sterile confusione. In altre parole, un'adeguata integrazione di approcci apparentemente diversi, eppure complementari, può permettere un arricchimento sia concettuale sia metodologico straordinario. Se gli approcci filosofici e psicologici illustrano il versante soggettivo e fenomenologico della consapevolezza di sé, la psicologia sociale può aiutare a specificare quando, come e con quali conseguenze vengono effettuate determinate valutazioni, mentre le neuroscienze possono svelare le aree cerebrali e i circuiti neurali implicati nella coscienza e nell'autoriflessione. Ancora, la neuropsicologia può contribuire a stabilire le relazioni tra autoconsapevolezza e altre funzioni cognitive superiori, come la memoria, l'attenzione e i processi motivazionali (v. figura). Inoltre, l'osservazione e lo studio di soggetti con danno cerebrale oppure con particolari patologie neurodegenerative come le demenze consentono di analizzare specifiche componenti del più ampio fenomeno della coscienza, in quanto in questi casi frequentemente vengono danneggiate o rese deficitarie selettivamente alcune subfunzioni. Infine, una migliore comprensione dei meccanismi dell'autoconsapevolezza può aprire nuove importanti prospettive nel campo della teoria della mente e della social cognition (Adolphs 2001), ovvero di tutti quei processi su cui si basano i comportamenti di un soggetto rispetto ad altri individui della propria specie e che, in particolare nella specie umana, sono caratterizzati da grande flessibilità e diversificazione, consentendo a loro volta un elevato grado di adattamento (Adolphs 1999). Anche in questo caso, l'approccio più idoneo è di stampo biopsicosociale, all'interno del quale, per es., si possono intraprendere interessanti studi per verificare il legame esistente tra

autoconsapevolezza e neuroni specchio, ossia le strutture neurali corticali deputate alla comprensione dei pensieri e delle emozioni altrui e per questo motivo alla base dell'empatia (Rizzolatti, Craighero 2004).

Inconscio

Enciclopedia del Novecento (1978)

di Cesare L. Musatti e Enzo Funari

sommario: 1. Via metafisica e via psicologica al concetto di inconscio. 2. L'epoca dell'ipnosi. 3. Ipnosi e isteria. 4. L'inconscio come noumeno o come integrazione della coscienza. 5. Logica dell'inconscio. 6. Dinamica dell'inconscio. 7. Topologia dell'inconscio. 8. Tecniche esplorative. 9. Difficoltà concettuali. 10. Impersonalità dell'attività pulsionale inconscia. 11. Problemi di comunicazione e genetici. 12. L'inconscio collettivo. 13. Conclusioni.

1. Via metafisica e via psicologica al concetto di inconscio

Il concetto di un'attività psichica, o di pensiero, che si svolga al di fuori della coscienza, in forma dunque inconscia, si trova nei tempi moderni espresso per la prima volta in Leibniz.

Si tratta in lui di un'affermazione polemica verso Cartesio, che aveva posto nella coscienza il carattere distintivo del pensiero, e che dalla coscienza ricavava la prima affermazione di realtà, capace di trar fuori dalla negazione del dubbio metodico.

Per Cartesio tutto quello che non è coscienza (*res cogitans*) è materia, *res extensa*. In certo modo tale contrapposizione è ripresa da quei moderni per i quali lo 'psichismo inconscio' appare un concetto contraddittorio (come chi dicesse "vita morta" oppure "movimento fermo", sosteneva l'Ardigò al principio del secolo) e che, per spiegare come i ricordi perdurino anche quando non sono attualmente presenti alla mente, hanno sostenuto che, in quanto non presenti alla coscienza, cessano di essere qualche cosa di psichico (v. Wundt, 1902, p. 248), per esistere soltanto sotto forma di engrammi, o registrazioni, impressi in quella struttura materiale che è il nostro cervello: cartesianamente *res extensa* dunque.

Contro il dualismo sostanzialistico di Cartesio, Leibniz asseriva l'impossibilità di un'azione della materia sul pensiero, e viceversa: il movimento non produce pensiero e il pensiero non genera movimento. Né gli artifici dello stesso Cartesio, che avrebbe voluto distinguere il movimento dalla sua direzione, sulla quale il pensiero

avrebbe potuto influire, né l'intervento miracoloso di Dio, momento per momento, per assicurare la concordanza di pensiero e materia, postulato da Malebranche e dagli occasionalisti, e neppure il parallelismo di Spinoza, ottenuto col degradare materia e pensiero ad attributi di un'unica sostanza, avevano risolto il problema.

Anche per Leibniz tutto è miracolo; ma un miracolo verificatosi una volta per sempre all'atto della creazione, la quale genera la realtà. Questa è costituita da sostanze composte (i corpi materiali, estesi e divisibili all'infinito) e da sostanze semplici (inestese, indivisibili, di natura spirituale: le monadi). I corpi sono dunque ammassi di monadi: e qui ovviamente Leibniz si giovò delle proprie scoperte matematiche nel campo del calcolo infinitesimale, per ammettere che un composto di inestesi, quali le monadi, dia luogo - se sono in quantità infinita - a un quid esteso, e cioè a un corpo materiale.

Ogni elemento della realtà (tanto i corpi quanto le monadi), pur producendo il proprio avvenire per virtù propria e per via naturale (i corpi materiali secondo le leggi della meccanica e le cause efficienti, e le monadi invece secondo le leggi delle cause finali, e sotto la spinta delle proprie appetizioni), è sempre armonizzato con ogni altro (principio dell'armonia prestabilita) e addirittura riflette ogni altro elemento, riproducendolo in qualche modo in sé.

Un frammento di materia, per minuto che sia, contiene un universo del tutto eguale, spazialmente e meccanicamente, all'universo in assoluto. E ogni monade riflette pure lo stesso universo: percependolo nella sua totalità. Eppure ogni monade è distinta da ogni altra, dato che non possono esistere due identici (principio degli indiscernibili). Tale diversità è possibile per Leibniz in quanto le immagini, le percezioni, possono essere variamente chiare. Nella monade creata solo un'infima porzione della realtà può essere chiaramente percepita: tutto il resto è percepito oscuramente. E anzi, nella enorme maggioranza delle infinite monadi esistenti, tutte le percezioni sono oscure: "piccole percezioni senza appercezione", e cioè senza coscienza. Pochissime monadi, in rari periodi della loro esistenza, acquistano un sia pur limitato grado di coscienza: e allora si dicono spiriti, o anime.

Così viene introdotta da Leibniz l'idea di un'attività psichica priva di coscienza, e cioè inconscia. È questa la via metafisica del concetto di inconscio in Leibniz.

Ma vi è anche, nel suo pensiero, una via psicologica, fondata sui fenomeni che possiamo osservare in noi stessi.

Egli nota che siamo talora soggetti a stati di stordimento o di svenimento; inoltre ogni notte ci addormentiamo. Dal fatto che le anime e le monadi non subiscono azioni dall'esterno deriva che ogni impressione, o percezione, ha carattere endogeno: si produce cioè per effetto delle percezioni antecedenti. Il risveglio, o la ripresa della coscienza dopo uno stordimento, può prodursi soltanto per effetto dei contenuti di pensiero esistenti durante il sonno o lo stordimento, e quindi questi contenuti ci sono, anche se non ne sappiamo niente,

anche se sono inconsci. Qualora il sonno corrispondesse al nulla, mai infatti sarebbe possibile il risveglio. La via metafisica dell'inconscio è stata in seguito percorsa da vari pensatori che hanno inteso spiegare il divenire del mondo come determinato da una forza spirituale, avente i caratteri stessi che l'uomo empiricamente ritrova nella propria capacità di pensare, di agire e di produrre, ma priva tuttavia di autoconsapevolezza, e concepita con una certa indeterminazione. Ne è un esempio la "volontà" di Schopenhauer, e in modo più specifico quell'attività che E. von Hartmann denomina proprio l'"inconscio". Bisogna invece arrivare a tempi più recenti, e cioè alla moderna psicologia scientifica, per ritrovare la nozione di un'attività psichica inconscia, elaborata sulla base della diretta osservazione dei dati dell'esperienza. Talora ciò si è verificato soltanto in conseguenza di una eccessivamente rigida classificazione delle funzioni psichiche. Ne è un esempio tipico la posizione di Helmholtz nei suoi studi sulla percezione visiva. La distinzione rigida, che funziona in tal caso, è quella fra l'attività sensorio-percettiva, come effetto dell'azione degli stimoli fisici sugli organi sensoriali, quale era stata studiata dalla psicofisica a metà dell'Ottocento (J. Müller, G. Th. Fechner, E. Weber) e l'attività raziocinante, cartesianamente identificata con la stessa coscienza.

Helmholtz rileva che la percezione visiva si comporta come se sui dati sensoriali si operasse un'elaborazione razionale, le cui conclusioni fornissero l'immagine percettiva in ogni suo aspetto. Questa elaborazione ha tutti i caratteri di un ragionamento cosciente, pur svolgendosi al di fuori della coscienza. Si tratta quindi di ragionamenti o di conclusioni inconscie (*unbewusste Schlüsse*).

Helmholtz partiva da presupposti empiristici; riteneva perciò che questa attività razionale inconscia utilizzasse i dati dell'esperienza pregressa, e interpretasse le impressioni sensoriali attuali conformemente a tali dati del passato. Ma anche le scuole che tendono a minimizzare la partecipazione dell'esperienza nei processi percettivi attuali (come per es. la *Gestaltpsychologie*) mettono in luce una 'razionalità' della percezione, che ovviamente non va confusa con un'attività cosciente. Soltanto quando si trascuri questo carattere generale dell'attività psichica, e si supponga astrattamente l'esistenza di un materiale sensoriale per se stesso amorfo, si è poi costretti a postulare che sopravvenga, quale *deus ex machina*, un'attività logica, simulante i processi della ragione: attività che si dovrà qualificare, perché agisce a nostra insaputa, come inconscia.

Si tratta dunque semplicemente di un carattere formale permanente dell'attività psichica, e non di una differente attività la quale operi contemporaneamente e indipendentemente dal pensiero cosciente.

L'inconscio quale è concepito dalla psicologia contemporanea ha invece proprio quest'ultimo carattere, di attività psichica ulteriore e separata.

2. L'epoca dell'ipnosi

Il diverso modo di affrontare il problema dell'inconscio si è imposto in seguito alle osservazioni e alle ricerche sull'ipnosi, fiorite negli ultimi decenni del secolo scorso.

Sulla natura di questi fenomeni, sulle condizioni che consentono di produrli, e sulla relazione esistente fra ipnosi e suggestione, le opinioni erano assai disparate e le idee poco chiare. Da un lato, ad esempio, Bernheim e la scuola di Nancy ritenevano che il fenomeno di base fosse la suggestione, intesa come capacità, da parte di uno sperimentatore, di provocare in un soggetto i più diversi stati di coscienza, compresi gli impulsi ad agire in un dato modo; l'ipnosi sarebbe semplicemente uno stato esteriormente simile al sonno, provocato per suggestione. D'altro lato Freud (v., 1921) riteneva invece che il fenomeno fondamentale fosse proprio l'ipnosi, e la conseguente trasformazione dello stato di coscienza. Tale trasformazione, implicando una labilizzazione del normale rapporto con la realtà, potrebbe talora favorire l'assunzione degli atteggiamenti che sono tipici dell'individuo dormiente, ma si verificherebbe anche senza questi atteggiamenti esteriori simulanti il sonno, in quegli stati che vengono indicati come stati di suggestione vigile.

È fino a un certo punto indifferente ricondurre l'ipnosi alla suggestione, come fa Bernheim, o la suggestione all'ipnosi, come fa Freud. È invece importante rilevare che entrambe le interpretazioni intendono considerare il fenomeno come unico, e dovuto al rapporto di natura psicologica che si istituisce fra lo sperimentatore (suggestionatore o ipnotizzatore che sia) e il soggetto.

Alcuni fatti osservabili nel corso di questi stati ipnosuggestivi si impongono all'attenzione, e sembrano richiedere l'ipotesi di un'attività psichica inconscia.

Tanto Freud quanto Jung ritennero che questo fosse specificamente evidente nelle situazioni dei cosiddetti compiti postipnotici (o azioni suggestive differite), particolarmente studiate da Bernheim, ma poi osservate da moltissimi ricercatori.

Si tratta di questo. A un soggetto in ipnosi lo sperimentatore può suggerire di compiere le più diverse azioni. In condizioni ottimali, e se le azioni suggerite non presentano caratteri particolari (per es. non sono azioni criminose, o anche semplicemente sconvenienti, nel qual caso la situazione si complica assai), il soggetto eseguisce fedelmente l'ordine che gli è stato dato. Cessato lo stato di ipnosi, se viene interrogato sul suo comportamento, egli dà per lo più risposte alquanto confuse: sembra comunque che non sappia mettere le azioni eseguite in relazione con le parole dello sperimentatore, come se vi fosse in lui una tendenza a dimenticare tali parole. Lo sperimentatore può anche suggerire al soggetto di compiere una data azione a una certa scadenza, parecchio tempo dopo la fine dello stato di ipnosi, invitandolo insieme esplicitamente a dimenticare le parole che ora gli sono state dette.

Il risultato rilevante è proprio questo: un compito dimenticato, e quindi eliminato dalla coscienza, può a distanza di tempo agire sul comportamento, allo stesso modo di un proposito cosciente; e ciò anche se richiede una serie complicata di operazioni mentali e materiali. Il compito rimane dimenticato, tanto nel corso

dell'esecuzione dell'azione, quanto successivamente. All'invito di spiegare e giustificare il proprio comportamento, il soggetto inventa al momento una pseudogiustificazione e si attiene a questa spiegazione, anche se essa è evidentemente impropria o assurda.

Viste dal di fuori, queste situazioni hanno l'aspetto di una commedia, come se il soggetto eseguisse per gioco ciò che gli è stato chiesto, e poi trovasse una scusa qualsiasi per far apparire l'azione un proprio comportamento spontaneo.

Questo aspetto di commedia recitata ha un significato rilevante. Infatti una scena recitata (da un attore, per es.) dà sempre luogo a due piani di realtà: quello dell'attore in quanto persona, e quello del personaggio che l'attore impersona. Ci sono dunque due personalità per così dire sovrapposte.

La differenza fra la vera commedia e la situazione attuata nelle esperienze con i compiti postipnotici, sta nel fatto che l'attore è consapevole di star recitando, per cui anche la parte recitata rientra in qualche modo nella sua stessa realtà personale. Invece è possibile controllare con certezza che i soggetti degli esperimenti di ipnosi non sanno affatto di eseguire una parte che è stata loro suggerita. Le due personalità rimangono in questo caso separate senza interferenze. Anche spontaneamente, in situazioni patologiche, possono aversi casi di personalità alternate. Un individuo in dati periodi della vita presenta una personalità e si comporta in un dato modo, in altre fasi non sa nulla del Sé precedente ed è un'altra persona. Freud cita in proposito un caso particolarmente noto all'inizio di questo secolo, illustrato da Azam. È del tutto comprensibile che la comune narrativa si sia impadronita avidamente di fatti del genere, i quali, mettendo in crisi apertamente il principio dell'identità individuale, minacciano il fondamento stesso della responsabilità della persona.

L'ipnosi consente di comprovare la presenza di un'attività psichica che resta esclusa dalla coscienza anche in situazioni di altra specie. Nelle esperienze sulle allucinazioni negative ottenute negli stati ipnosuggestivi, l'attività che viene artificialmente esclusa dalla coscienza è la stessa percezione.

Intorno al 1920, ad esempio, V. Benussi studiò (v., 1925, pp. 116 e ss.) situazioni sperimentali di questo tipo. A un soggetto in ipnosi, ma a occhi aperti, vengono presentati punti e segmenti luminosi di un dato colore, in movimento stroboscopico.

Ricordiamo che per movimento stroboscopico si intende l'apparente movimento di un elemento visivo che oscilla da una a un'altra posizione, quale si ottiene alternando, con un ritmo opportuno, l'azione di stimoli immobili, collocati oggettivamente nelle posizioni all'incirca terminali di quella che diventerà la traiettoria apparente; si tratta quindi dello stesso fenomeno che è alla base del cinematografo.

Se contemporaneamente a un movimento apparente di questa specie, che si svolga in una data direzione, ad esempio verticalmente dall'alto al basso e viceversa (ottenuto con due punti collocati verticalmente uno sopra l'altro che si 'accendono' alternativamente), si aggiunge un altro movimento apparente sincrono in una direzione ortogonale alla prima, e cioè orizzontale (mediante due segmenti che si alternano), la traiettoria del

primo movimento viene 'deviata'. La deviazione può essere conforme a una combinazione cinematica dei movimenti (come se il movimento del punto venisse trascinato da quello del segmento), oppure, all'opposto, conforme a una relativizzazione dell'un movimento rispetto all'altro.

Se gli stimoli luminosi che danno luogo al primo movimento (i punti) sono di un dato colore (per es. rossi) e quelli che danno luogo al secondo movimento (i segmenti) di un colore diverso (per es. verdi), e se al soggetto in ipnosi è stata data la suggestione: "Lei vedrà sullo schermo davanti a lei 'soltanto' elementi luminosi rossi; non ci sono nel suo campo visivo 'cose' luminose di colore diverso dal rosso", annullando in tal modo la percezione dei segmenti verdi, può accadere che il soggetto veda il movimento del punto rosso con traiettoria verticale non deviata (così come accade quando effettivamente i segmenti verdi non ci sono); ma qualche volta può accadere anche che il soggetto veda invece la traiettoria deviata (in senso 'combinato' oppure in senso 'relativo'), pur non percependo i segmenti, né il loro movimento, in forza dell'allucinazione negativa.

È particolarmente interessante per il problema di cui ci stiamo occupando, la situazione in cui si produce la deviazione della traiettoria del punto rosso, senza la visione dei segmenti verdi. Giacché in questo caso un elemento percettivo sottratto alla coscienza, e quindi fenomenicamente inesistente, continua ad agire sopra altri oggetti percettivi.

Si possono dunque realizzare, e sottoporre a un controllo obiettivo, anche 'percezioni inconscie'.

3. Ipnosi e isteria

Parallelamente a quello per i fenomeni ipnotici, si è accentuato sul finire dell'Ottocento uno specifico interesse per le manifestazioni dell'isteria. Anche gli isterici con il loro comportamento danno l'impressione della simulazione e della commedia. In tempi passati, ma pure del tutto recentemente (da Th. Szasz, per es.), è stato sostenuto che l'isterico sia un simulatore.

Freud, chiamato da un tribunale austriaco nel 1920 a dare il proprio parere sopra i cosiddetti nevrotici di guerra del periodo bellico appena terminato, i quali presentavano una sintomatologia simile a quella isterica, si disse d'accordo con i colleghi che avevano parlato di simulazione; aggiunse però che si trattava di una simulazione non voluta: non voluta dalla personalità cosciente, ma corrispondente invece a un'altra distinta personalità inconscia (v. Freud, manoscritto del 1920).

Era stato soprattutto Charcot a stabilire lo stretto rapporto esistente fra ipnosi e isteria. Non solo i sintomi isterici avevano caratteri del tutto simili ai fenomeni ottenuti con l'ipnosi, sia durante la stessa ipnosi che sotto forma di compiti postipnotici; ma si riusciva, con ordini opportuni dati in ipnosi, a far scomparire (almeno transitoriamente) alcune manifestazioni isteriche (quali contratture muscolari, paralisi, stereotipie, ecc.), oppure a produrre alcuni di questi sintomi in individui che prima ne erano del tutto esenti (v. Freud, 1925).

Questo giustificava il concetto che l'ipnosi fosse un'isteria artificiale, e l'isteria uno stato ipnotico spontaneo, e che esse fossero perciò fondamentalmente un fenomeno unico, di scissione, o alternanza di personalità. Ma poiché in questa personalità plurima una sola persona al momento si presentava alla coscienza, una parte di attività psichica (di pensiero, di ricordo, di conoscenze, di desideri, di impulsi, di volontà) deve persistere in qualche modo fuori della coscienza.

Bisognava però determinare come potesse essere infranta l'unità della coscienza che a tutti sembra tanto ovvia, dato che è connessa con il senso che ognuno ha della propria identità, e dell'essere sempre tutto se stesso.

Le dottrine che cercarono di dare una risposta a tale domanda furono a quei tempi tre.

P. Janet (v., 1889) sostenne che i diversi processi della vita psichica sono fra loro collegati da una particolare funzione, la quale assicura normalmente l'unità della coscienza. In determinati individui questa funzione è - spontaneamente e stabilmente, oppure transitoriamente e per un'azione esterna particolare (quella ipnosuggestiva) - labilizzata. Quale effetto di questa debolezza psicologica, si produrrebbero i fenomeni di distacco e autonomizzazione di alcune funzioni psichiche parziali, oppure la costituzione di due o più nuclei psichici che si contendono l'occupazione della coscienza, oppure ancora la totale disgregazione della personalità.

Joseph Breuer (v. Breuer e Freud, 1895), che fondò la sua concezione di questi fenomeni soprattutto sull'osservazione di un singolo caso (quello di Anna O.), riteneva che l'ipnosi fosse uno stato psichico particolare con gradi diversi di profondità, indotto da un'altra persona, ma che poteva anche prodursi spontaneamente durante episodi fortemente traumatici. Le situazioni vissute durante tali stati 'ipnoidi' resterebbero escluse dalla normale elaborazione a cui sono soggetti gli elementi della nostra comune esperienza, e agirebbero autonomamente come corpi estranei. Solo rimettendo l'individuo in uno stato d'ipnosi e facendogli rivivere coscientemente quelle situazioni passate, si potrebbe ottenere una riannessione alla coscienza di quegli elementi e una 'abreazione' degli impulsi emotivi che erano rimasti 'incapsulati'.

Sigmund Freud, che collaborò inizialmente con Breuer continuandone l'opera, fu indotto a individuare un altro processo per spiegare negli isterici, e poi in generale nei nevrotici, il distacco di determinati contenuti dalla coscienza: un processo automatico di difesa da rappresentazioni dolorose, o suscettibili di provocare reazioni dolorose (ibid.).

Debolezza psichica, stati ipnoidi, processo di difesa (o, come fu detto più tardi, di rimozione) sono dunque i tre fattori indicati da Janet, da Breuer e da Freud come responsabili del distacco di determinati contenuti dalla coscienza.

4. L'inconscio come noumeno o come integrazione della coscienza

Lo stato in cui questi contenuti venivano a trovarsi per effetto di un tale distacco fu detto all'inizio 'subconscio'.

Janet mantenne questa denominazione. Freud e Breuer, pur scrivendo anch'essi 'subconscio' negli Studi sull'isteria del 1895, fin dal 1892, negli Abbozzi per la 'comunicazione preliminare' del 1893 (v. Freud, Brief an..., 1941; tr. it., pp. 142-145) parlarono anche di "ricordo inconscio", o di "secondo stato di coscienza".

È piuttosto importante quest'ultima espressione - che riproduce quelle usate da Charcot di "condizione seconda", e da Janet di "coscienza seconda" - giacché indica come Freud fin dall'inizio abbia concepito l'inconscio, non soltanto per la sua connotazione negativa di assenza di coscienza, ma in senso positivo come un sistema estraneo alla coscienza propriamente detta, un secondo sistema appunto, avente però una sua struttura equivalente, anche se non eguale, a quella che alla personalità cosciente si suole attribuire.

La difficoltà di usare il termine 'inconscio', che si avverte negli psicologi e negli psichiatri del periodo anteriore alla elaborazione della dottrina psicanalitica, e che perdura in alcuni, è dovuta al persistere delle obiezioni "dei filosofi" (come diceva Freud) verso il concetto di inconscio, giudicato contraddittorio.

Freud (v., 1915; tr. it., p. 51) osserva che questa asserita contraddizione dipende soltanto dal fatto che in partenza si è arbitrariamente definito lo psichico come ciò che è dato alla nostra personale introspezione. In tal modo però dovremmo negare realtà anche alla vita psichica degli altri soggetti, e si imporrebbe quella posizione solipsistica che la generalità degli uomini rifiuta come una bizzarria.

A questo punto Freud fa un ragionamento che - per ciò che riguarda il senso interno e i sensi esterni, e la nozione di realtà fenomenica contrapposta alla cosa in sé - riecheggia la posizione kantiana.

Fin dal 1899, nel cap. VII della Interpretazione dei sogni, egli aveva detto (v. Freud, 1899; tr. it., p. 557): "L'inconscio è lo psichico reale nel vero senso della parola, altrettanto sconosciuto, per sua intima natura, di [quanto lo è] la realtà del mondo esterno, e a noi presentato dai dati della coscienza in modo altrettanto incompleto, quanto [lo è] il mondo esterno dalle indicazioni dei nostri organi di senso".

Quindici anni più tardi nel saggio su L'inconscio, appartenente agli scritti di Metapsicologia, egli cita Kant in modo esplicito (v. Freud, 1915; tr. it., p. 54): "Così come Kant ci ha ammonito a non trascurare il condizionamento soggettivo della nostra percezione, e a non ritenere la nostra percezione identica al suo oggetto inconoscibile, così la psicanalisi ci avverte di non scambiare la percezione della coscienza per il processo psichico inconscio che ne è l'oggetto. Come la realtà fisica, anche quella psichica non è nella sua essenza necessariamente tale quale ci appare".

Sembrerebbe da questi passi che Freud intenda considerare i dati della coscienza semplici epifenomeni di una sottostante realtà inconscia. Ma non sempre egli si mantiene su posizioni di questo genere. Nello stesso scritto ora citato l'inconscio viene anche detto il prodotto di una extrapolazione rispetto ai dati della coscienza, extrapolazione necessaria per poter dare di quegli stessi dati coscienti un'interpretazione razionale unitaria

(ibid., p. 50): "Tutti questi atti coscienti restavano scollegati e incomprensibili, fin tanto che ci attenevamo alla tesi che ogni atto psichico prodottosi in noi debba essere sperimentato dalla coscienza, mentre essi si organizzano in una connessione evidente, se interpoliamo gli atti inconsci che abbiamo scoperti".

Ma come si 'scoprono' questi atti inconsci?

Qui sembra di trovarsi di fronte a un circolo vizioso. La scoperta non sempre consiste in un 'trar fuori', alla luce, quello che prima era coperto. Ciò accade soltanto raramente, e per lo più in un secondo tempo. Gli atti inconsci sono invece soltanto immaginati, in funzione di un'esigenza di razionalità e coerenza. Il dato primo non può quindi essere che quello della coscienza, e l'inconscio viene postulato allo scopo di rendere comprensibile e coerente il funzionamento dell'attività cosciente. Perciò l'inconscio è una costruzione che la riflessione critica opera sulla base dei dati dell'esperienza, per una più completa comprensione di questi stessi dati.

La situazione non è allora diversa da quella che si verifica nelle scienze fisiche. Anche là il dato di partenza è soltanto quello dei processi sensorio-percettivi, e cioè l'immagine sensibile del mondo così come esso ci appare. Ma prima ancora che inizi una vera e propria indagine scientifica, tale immagine viene integrata: il mondo si allarga e si completa, con elementi costruiti, postulati, nei termini stessi della realtà sensibile data immediatamente.

Così come accade per i contenuti primitivamente inconsci che in seguito si fanno coscienti, anche questi elementi o aspetti della realtà materiale, inizialmente soltanto postulati, possono qualche volta essere rintracciati e portati alla nostra osservazione tanto da essere percepiti. Ma noi pensiamo il mondo fisico costituito anche da elementi e proprietà destinati a non divenire mai - per definizione, possiamo dire - oggetto diretto di osservazione: come l'elettricità ad esempio, e ogni altra forma di energia, come i fatti che si svolgono su scala subatomica, o i fenomeni di fusione nucleare che avvengono al centro della massa solare, ecc. Nessuno considera scorretto parlare di cose materiali immaginate nei termini di quelli che sono i dati della nostra sensibilità (non esiste un altro tipo di immaginazione) e tuttavia considerate, per definizione, come non accessibili ai nostri sensi.

Questo parallelismo fra costruzione di una realtà psichica inconscia e costruzione della realtà del mondo fisico è significativo. Anch'io (v. Musatti, 1926) ho posto a confronto la concezione di uno psichismo non accessibile, per definizione, all'introspezione e la descrizione di realtà materiali parimenti definite non accessibili ai nostri sensi.

Il procedimento di ricostruzione dell'inconscio, operato soprattutto da Freud, ha dato tuttavia luogo a un risultato particolare.

Quella che Freud ha chiamato una interpolazione (o talora extrapolazione) dei dati introspettivi disponibili è stata da lui operata sopra un materiale tratto da tre fonti principali: la sintomatologia nevrotica, i sogni e i

comportamenti anomali compresi in quella che egli chiamò la psicopatologia della vita quotidiana. Di queste tre fonti, quella costituita dal materiale onirico ha dato i frutti maggiori e più certi. Per questo Freud - che pure cominciò a parlare di "inconscio" fin dal 1892 per l'interpretazione dell'isteria, come sopra abbiamo veduto - ha detto che l'analisi dei sogni è la "via regia" per l'esplorazione dell'inconscio.

L'analisi cerca di individuare, dietro il contenuto manifesto del sogno, un contenuto latente e cioè inconscio. Lo fa raccogliendo le associazioni che il soggetto porta col racconto del sogno, o a proposito del sogno, o durante la rievocazione del sogno; quindi sogno e associazioni sono trattati come indizi di un pensiero nascosto che deve essere rintracciato. Esso viene inizialmente immaginato come del tutto corrispondente al pensiero di tipo razionale e cosciente che siamo soliti osservare in noi stessi, e che attribuiamo ai nostri simili. Se non che, operando in questo modo, Freud si rese rapidamente conto che il pensiero latente del sogno - pur ricostruito partendo dal presupposto che esso dovesse essere un pensiero pienamente sensato e corretto, quale ci illudiamo sia il pensiero della veglia - si rivelava invece, per dati caratteri, profondamente diverso.

Il risultato, da un punto di vista metodologico ed epistemologico, è ovviamente imbarazzante. Trova tuttavia anch'esso un riscontro in quanto accade nelle interpolazioni operate sui dati fenomenici riguardanti la realtà fisica esterna. Infatti il mondo ricostruito dalla fisica non risulta in definitiva omogeneo con l'immagine sensibile della realtà. È privo ad esempio delle cosiddette qualità secondarie, e presenta intrinseche contraddizioni (come quella fra modelli corpuscolari e modelli ondulatori).

5. Logica dell'inconscio

La situazione è dunque questa: di fronte a manifestazioni bizzarre, irrazionali e prive di giustificazioni, quali appaiono ad esempio i sogni, l'analista si pone il compito di individuare un sottostante pensiero corretto, che giustifichi il sogno e gli dia un senso. Ciò che riesce a costruire, coi dati di cui dispone, è invece un pensiero che solo in modo approssimativo si avvicina a quanto ci si aspettava. Bisogna dunque cercare di individuare questo diverso tipo di pensiero.

Non ha caratteri positivi nuovi rispetto al pensiero comune. Poiché si tratta di una ricostruzione effettuata dall'analista che interpreta, caratteri aggiuntivi nuovi non potrebbero essere che arbitrariamente inventati.

Presenta invece tutta una serie di 'assenze', o manchevolezze, rispetto al pensiero cosciente.

Ecco le principali: il pensiero inconscio ignora il no. Positivo e negativo sono intercambiabili. Un'azione rappresentata nel sogno può tanto esprimere che quella azione si compie, si è compiuta o si compirà, quanto che essa non si compie, non si è compiuta, o non si compirà.

Il pensiero inconscio ignora il tempo. Passato, presente e futuro sono la stessa cosa. Non desta meraviglia nel sogno l'accostamento di avvenimenti appartenenti a tempi fra loro assai lontani.

L'inconscio ignora anche l'unità di spazio. Si può essere in sogno contemporaneamente in posti differenti; e i luoghi, i paesaggi, gli ambienti si scambiano con estrema facilità.

Sono sufficienti analogie molto superficiali fra situazioni oppure fra oggetti, perché un elemento entri in un contesto 'in rappresentanza' di un altro, come suo simbolo.

I principi che la vecchia logica formale elencava quali principi della ragione (il principio di identità, di non contraddizione, di ragion sufficiente ecc.) non contano per l'inconscio.

Un'altra caratteristica importante riguarda il rapporto con la realtà. Fin dal 1895, nel Progetto di una psicologia, Freud (v., 1950; tr. it., p. 230) aveva osservato che nell'inconscio manca un "segno di realtà": un segno cioè che distingua ciò che è reale da ciò che è meramente immaginato.

Se la situazione è questa, sembrerebbe impossibile mantenere ancora la tesi che al pensiero inconscio, ricostruito ad esempio come sottostante a un sogno, si pervenga per l'esigenza di riportare le assurdità e le contraddizioni del sogno nell'ambito di un pensiero sensato.

Eppure l'interpretazione analitica è proprio guidata da un'esigenza razionale. Piuttosto, l'interpretazione può rintracciare nel sogno, o in qualsiasi altro prodotto dell'inconscio, solo quel tanto di razionalità che è compatibile con lo stesso psichismo inconscio, e non un di più: che rimane per così dire appannaggio, o quanto meno aspirazione, del pensiero cosciente.

La modalità di pensiero che, esplorando l'inconscio, si ha l'impressione di scoprire era per altre vie già nota. È una modalità primitiva e arcaica, che si ritrova nei discorsi e nei comportamenti dei bambini e dei selvaggi. E basta che si cerchi di applicare gli stessi procedimenti interpretativi usati per i sogni ai prodotti della fantasia e dell'arte, perché anche tali prodotti lascino trasparire una modalità di pensiero analoga.

Non si tratta di pensiero inteso in senso intellettualistico. Questa realtà sottostante è costituita in gran parte da potenti cariche emotive, che presentano la caratteristica di un'estrema mobilità, passando da un oggetto a un oggetto sostitutivo, e che non sono quindi soggette a quell'imbrigliamento delle pulsioni da Freud considerato tipico del comportamento cosciente adulto. L'adulto infatti abbandona il "principio del piacere" (v. Freud, 1911), che spinge a ricercare un'immediata condizione di appagamento, e sostituisce a esso il "principio di realtà", per il quale l'appagamento viene ricercato tenendo conto delle situazioni obiettive, e cioè delle limitazioni e dei condizionamenti imposti dalla realtà, al fine che lo stesso appagamento, anche se postposto nel tempo, risulti in definitiva più stabile.

La mancanza di un esame di realtà nell'inconscio lascia invece le pulsioni allo stato brado.

La tesi, sempre sostenuta da Freud, del carattere ottativo del sogno, del fatto cioè che esso non esprime pensieri, giudizi, costatazioni, rievocazioni, recriminazioni, rammarichi, ecc., ma sempre e soltanto (anche quando utilizza questi giudizi e queste rievocazioni) un desiderio che si appaga allucinatoriamente, è sì empiricamente fondata sopra una vasta casistica di interpretazioni di sogni, ma trova la sua giustificazione

teorica nel fatto che l'inconscio è prevalentemente costituito da pulsioni, da desideri, i quali cercano in ogni modo un, sia pur illusorio, appagamento.

Questo non significa che le cose vadano sempre lisce nell'inconscio. Tutt'altro. Agiscono conflitti permanenti, proprio perché i contrasti non si compongono e perché la contraddizione è per lo stesso inconscio una condizione stabile.

Così si ritrovano accanto a pulsioni di origine remota, che sono rimaste attive lungo il corso della vita, sentimenti di colpa inconsci (v. Freud, 1907; tr. it., p. 346), anch'essi risalenti a vicende antiche.

Freud (v., 1915; tr. it., p. 71, n. 3) riconosce a Breuer il merito di aver individuato, nel suo contributo agli Studi sull'isteria, i due differenti modi di funzionare dell'apparato psichico: quello del processo psichico primario, in cui l'energia è libera e circola quindi con grande facilità per i vari contenuti mentali, senza i vincoli successivamente imposti da un'aderenza alla realtà, e quello del processo psichico secondario, influenzato invece dalla necessità di rimanere vincolati alla realtà e di sottomettersi ai principi di razionalità. Mentre il pensiero cosciente dell'uomo adulto soggetto all'opera di culturalizzazione funziona secondo il processo secondario, nel bambino e nel primitivo (o in coloro che ritrovano in sé un'impostazione corrispondente a quella del bambino e del primitivo), e comunque nell'inconscio di ciascuno, funzionano i processi primari.

L'inconscio appare in tal modo ciò che di infantile e di primitivo continua a essere attivo in ciascuno al di sotto di un diverso sistema psicologico, che si sviluppa al contatto della realtà naturale e sociale.

6. Dinamica dell'inconscio

Le situazioni che sono state citate più su per fornire una prova della legittimità di concepire uno psichismo inconscio (i compiti postipnotici di Bernheim, le allucinazioni negative di Benussi, l'interpretazione freudiana delle psiconevrosi da difesa) fanno tutte riferimento a un fattore specifico che in modo attivo escluderebbe o manterrebbe lontano dalla coscienza determinati elementi o processi psichici. Ciò introduce un punto di vista particolare non più semplicemente descrittivo, ma dinamico.

Freud (v., 1915; tr. it., p. 55) si è sempre reso conto dell'ambiguità che derivava dal servirsi dei due criteri, descrittivo e dinamico, per definire l'inconscio; ritenne tuttavia che non vi fosse modo per procedere altrimenti.

Inconscio e cosciente sono due opposte 'qualità' che un processo psichico può presentare. Ma alcuni processi e contenuti sono inconsci per loro natura (o lo sono divenuti per effetto di dati eventi particolari) e comunque non possono farsi coscienti, perché una data forza, o un ostacolo, lo impedisce loro; altri processi e contenuti invece, anch'essi al momento inconsci, sono in grado di divenire coscienti senza difficoltà. Vi sono infine

elementi che, pur essendo inizialmente inconsci in modo stabile, si fanno "capaci di diventar coscienti" (*bewusstheitsfähig*), secondo un'espressione introdotta da Breuer (v. Breuer e Freud, 1895; tr. it., p. 369 e nota).

Ciò si può esprimere, secondo Freud, immaginando due sistemi: gli elementi inconsci, ma tuttavia suscettibili di divenire coscienti senza difficoltà, rientrerebbero nel sistema preconsciouso (Prec.); mentre la denominazione di inconscio (Inc.) verrebbe riservata agli elementi o del tutto impossibilitati a farsi coscienti, oppure suscettibili al caso di divenirlo, ma soltanto in seguito a una certa modificazione dell'assetto generale delle forze agenti nell'apparato psichico.

Le considerazioni sopra esposte circa la natura dell'inconscio in contrapposizione alla coscienza, circa il processo psichico primario e le cariche emotive non legate, riguardano essenzialmente l'inconscio propriamente detto e non il preconsciouso: che presenta le stesse caratteristiche strutturali della coscienza.

Queste distinzioni e classificazioni non vanno tuttavia intese in senso rigido, giacché i contenuti psichici, nel passaggio dall'uno all'altro sistema, portano con sé in parte i caratteri del sistema da cui provengono. Il sogno manifesto appartiene al sistema della coscienza (Co.), dal momento che lo ricordiamo e lo raccontiamo, ma conserva - allo stesso modo del delirio psicotico (v. lo scritto *Metapsychologische Ergänzung zur Traumlehre*, in Freud, 1924) - i caratteri del processo primario e del sistema inconscio.

Circa gli elementi dinamici che caratterizzano e proteggono l'inconscio come sistema, Freud li indica con diversi termini.

Nei primi scritti dopo il 1892 prevale l'espressione 'difesa' (*Abwehr*). Tuttavia, fin dalla Comunicazione preliminare (v. Breuer e Freud, 1895; tr. it., p. 181) appare anche il termine 'rimozione' (*Verdrängung*) per indicare il meccanismo tipico che rende e mantiene inconscio un contenuto psichico, e anche 'censura' (*Zensur*; *ibid.*, p. 407) che si riferisce - un po' antropomorficamente - a una sorta di sorveglianza nei confronti dei contenuti che si affacciano per penetrare nella coscienza; e 'resistenza' (*Widerstand*), usato dapprima in senso non tecnico da Breuer (*ibid.*, p. 191) per il comportamento riluttante verso la cura da parte del paziente, e poi da Freud (*ibid.*, p. 406) per indicare specificamente la forza che deve essere superata e vinta per consentire a dati elementi inconsci responsabili dei disturbi nevrotici di affiorare alla coscienza. Freud suppone che essa sia la stessa identica forza che in origine ha reso inconsci quei contenuti, divenuti di conseguenza patogeni, e che cioè essa si identifichi con la stessa rimozione.

Questi termini, inizialmente intercambiabili, hanno finito con lo specificarsi.

'Difesa' è divenuto un termine più comprensivo, usato per tutti processi (i vari 'meccanismi di difesa') con cui l'io si premunisce dai pericoli psichici interni che lo minacciano, e di cui la 'rimozione', e cioè il meccanismo che rende inconscio un dato contenuto, è soltanto un caso particolare (v. Freud, 1922).

'Censura' è divenuta quella istanza che subordina l'ingresso alla coscienza (di un'immagine, o di un pensiero

pericoloso) a un suo camuffamento, o a una sua attenuazione compromissoria. In modo specifico nella Interpretazione dei sogni (v. Freud, 1899) il concetto di censura è estesamente utilizzato. In una nota (ibid.; tr. it., p. 139) aggiunta a quest'opera nel 1919 Freud fornisce l'esempio di un sogno (risalente all'epoca della guerra) per il quale il termine censura risulta giustificato in modo pregnante, giacché la difesa da elementi verbali imbarazzanti viene effettuata proprio mediante una sorta di cancellazione delle espressioni più critiche, ottenuta con la sovrapposizione di rumori e borbottii: operazione che è identica a quella della censura epistolare esercitata dalle autorità militari del tempo bellico, e che viene effettuata coprendo le parole incriminate con inchiostro nero. In un suo film, Buñuel ha riprodotto lo stesso procedimento di censura fonetica presente nel sogno citato da Freud.

Infine il termine 'resistenza' è stato specificamente usato per il comportamento del paziente in cura, il quale con una parte di sé preferisce la soluzione costituita dalla malattia alla guarigione, la quale richiede un'accettazione della realtà: e che perciò sviluppa quello che può esser detto l' 'attaccamento alla malattia', in vista di un 'utile primario' (cioè l'appagamento, sia pur travestito e parziale, di date pulsioni), oppure anche di un 'utile secondario' (i piccoli e miserabili compensi che possono essere da lui piatiti per il suo stato di persona sofferente) (v. Freud, 1926, È III).

La dinamica dell'inconscio non si esaurisce con le forze che si oppongono al divenire cosciente. Se così fosse, nulla di inconscio potrebbe mai farsi cosciente.

Poiché soltanto attraverso la coscienza le pulsioni pervengono a modificare la realtà così da raggiungere un appagamento, agiscono nell'inconscio anche forti cariche che urgono verso la coscienza; e i rapporti fra l'inconscio e la coscienza risultano regolati dal gioco di queste opposte forze, le quali vietano o spingono nella direzione della coscienza e dell'azione sulla realtà.

Queste forze non riguardano soltanto singoli elementi. Per la mobilità delle cariche, che si spostano da un oggetto all'altro, e per le influenze esercitate dai vari elementi fra loro (così che la rimozione esercitata su un contenuto si può estendere ad altri con quello collegati) si verifica una situazione generale di equilibrio instabile.

7. Topologia dell'inconscio

Freud (v., 1915; tr. it., p. 65) chiama "metapsicologica" la descrizione di un processo psichico che tenga conto di tre punti di vista: quello topico, quello dinamico e quello economico.

Il punto di vista topico riguarda uno schema di rappresentazione spaziale riprodotto i rapporti fra i vari sistemi entro i quali si svolge l'attività psichica.

Distinti i sistemi della coscienza, del preconcio e dell'inconscio, e stabilito che il preconcio va immaginato

come intermedio fra la coscienza e l'inconscio, la censura deve venir collocata al confine fra l'inconscio e il preconsciouso.

Questo è valido, anche se si può immaginare che una, sia pur più lieve, barriera divida anche il preconsciouso dalla coscienza (ibid., p. 75), dal momento che non tutto ciò che non è rimosso si presenta da solo alla coscienza. Ma una rappresentazione inconscia, per divenire cosciente, deve superare la censura, così da divenire "susceptibile di farsi cosciente" (bewusstheitsfähig).

Questo schema spaziale presenta una certa utilità per una rappresentazione intuitiva dei vari rapporti fra gli elementi psichici. Lascia tuttavia aperti molti problemi, dato che gli elementi della vita psichica non sono palline viaggianti da uno scompartimento all'altro. Ad esempio, quando una immagine, o una situazione, prima coperta da rimozione, viene individuata e riconosciuta dal soggetto, così che possiamo parlarne come di un elemento della coscienza, non sappiamo ancora se con questo il suo posto, la sua carica, la sua realtà, scompaiono nell'inconscio, o se invece quell'elemento, pur essendo divenuto cosciente, continui anche ad appartenere in qualche modo, in proprio o con una sua rappresentanza, allo stesso inconscio (ibid., p. 58). Freud lascia in sospenso questo e altri simili problemi. E si comprende perché. La rappresentazione topica costituisce un modello di sistemazione che consente di descrivere determinati rapporti, ma non può essere assunta come fotografica riproduzione di una realtà.

Così pure, se la rappresentazione topica è, fino a un certo punto, facilmente utilizzabile quando è riferita agli elementi della vita intellettuale (immagini, ricordi, pensieri, ecc.), la sua utilità appare minore per la realtà pulsionale.

Freud afferma che una pulsione non può mai essere cosciente; cosciente può essere soltanto l'idea che la rappresenta. Ma anche nell'inconscio la pulsione non può figurare per se stessa, ma soltanto per la sua rappresentanza ideativa.

Difficoltà analoghe si hanno per i sentimenti, che a rigore non dovrebbero mai essere detti inconsci.

Ciononostante, per brevità e per comodità, Freud parla anche di sentimenti e di pulsioni inconscie, quando tale qualifica dovrebbe riferirsi soltanto alle rappresentanze ideative che vi corrispondono (ibid., p. 60). In tal modo vengono formulate le paradossali espressioni di "angoscia inconscia", o anche di "coscienza di colpa inconscia" (unbewusste Schuldbewusstsein; ibid.).

I punti di vista topico e dinamico della metapsicologia dovrebbero essere completati col punto di vista economico, inteso come valutazione quantitativa dei fattori dinamici agenti sui contenuti dell'attività psichica. Freud ha sempre avuto l'impressione di aver trascurato questa specie di trattazione e se ne duole scrivendo, sul finire della sua vita (v. Freud, *Die endliche...*, 1937), che si sarebbe dovuto sviluppare il punto di vista economico, allo stesso modo come riteneva di aver esaurientemente sviluppato quello topico e quello dinamico.

I motivi di questa presunta manchevolezza sono agevolmente individuabili.

Concetti quantitativi possono certo essere introdotti per le pulsioni, le cariche, le controcariche agenti in noi; hanno tuttavia caratteri diversi dai corrispondenti concetti quantitativi della fisica, e non sono ad esempio riconducibili a qualche cosa che assomigli a un sistema CGS.

Di due forze psichiche in contrasto possiamo dire che sono in equilibrio o che una prevale sull'altra, ma non dare un valore numerico all'entità di quella prevalenza.

Inoltre l'estrema mobilità di queste forze fa sì che quello che in un dato momento è uno stato di equilibrio venga successivamente alterato per una lieve momentanea attenuazione di una delle componenti. È particolarmente visibile una situazione del genere, quando si considerino i diversi procedimenti immaginati e proposti per un'esplorazione dell'inconscio.

8. Tecniche esplorative

Ciò che si indica come inconscio è dunque l'esito di una costruzione effettuata dal pensiero al fine di completare l'immagine che ci facciamo del funzionamento dell'attività psichica. E tale costruzione corrisponde, come si è visto, a quella che nell'ambito delle scienze fisiche si effettua per completare i dati forniti dall'attività sensoriale in un'immagine coerente della realtà materiale.

Talora è possibile convertire elementi di questa realtà ricostruita (interiore o esterna) in qualche cosa di direttamente osservabile. Si ha in tal caso una conferma diretta della validità della costruzione. Altre volte invece questo non è possibile; ma si può ottenere egualmente una conferma indiretta della validità, in quanto viene arricchito il materiale di dati osservabili che rientrano nella sistemazione razionale a base della costruzione. (Il termine "costruzione" in luogo di "interpretazione" fu introdotto da Freud in uno dei suoi ultimi scritti teorici; v. Freud, *Konstruktionen...*, 1937).

Tanto il fisico quanto lo psicologo hanno tuttavia l'impressione di stare proprio esplorando la realtà, come se tale realtà avesse una sua esistenza obiettiva indipendente dalla ricerca scientifica, e come se il loro compito consistesse soltanto nello scovare quella realtà nascosta.

Anche le tecniche esplorative dell'inconscio presentano un simile carattere.

La prima di tali tecniche in ordine di tempo, quella ideata da Breuer (o suggerita a Breuer dalla sua paziente Anna O.; v. Breuer e Freud, 1895; tr. it., pp. 189 ss.), partiva dal principio che le esperienze traumatiche, divenute inconscie perché vissute in uno stato ipnoide, potessero essere recuperate alla coscienza, quando il soggetto fosse collocato in un analogo stato ipnoide, cosicché, rivivendo in tale stato la situazione traumatica, potesse far defluire la carica energetica rimasta incapsulata al momento del trauma.

Freud, invece, partendo dall'ipotesi che le esperienze traumatiche divenissero inconscie per un processo attivo

di difesa dalla loro spiacevolezza (rimozione), pensò inizialmente di utilizzare l'ipnosi come strumento per vincere la rimozione, invitando energicamente il paziente, con imperiosità suggestiva, a ricordare. Egli abbandonò però presto questa tecnica, che dava scarsi frutti, per elaborarne una diversa, che è poi rimasta la sua tecnica fondamentale.

Se al momento di pronunciare il nome di una persona che conosco perfettamente, tale nome mi sfugge e ho, rispetto a esso, come si dice, un'improvvisa ma tenace amnesia, il modo migliore per superare la situazione è - come ognuno sa ed esperimenta su se stesso - quello di abbandonare l'infruttuosa ricerca. Per lo più, dopo poco tempo, mentre la mia attenzione è rivolta altrove, il nome mi si presenta da sé. Freud studiò tali situazioni nella Psicopatologia della vita quotidiana e diede la seguente spiegazione, che era tuttavia già stata anticipata in Meccanismo psichico della dimenticanza del 1898. Se il nome a me noto si rifiuta, per così dire, di essere ricordato, ciò significa che agisce in me una forza (rimozione) la quale tende a escluderlo dalla coscienza. Lo sforzo per rintracciare il nome così da poterlo pronunciare dovrebbe agire in senso contrario. Accade però che, contemporaneamente, questo consapevole proposito di ricordare ha anche l'effetto di rafforzare la rimozione. Se abbandono i miei sforzi di memoria e mi occupo d'altro, anche la rimozione si attenua, mentre rimane attiva, come effetto residuale consecutivo, una spinta a livello inconscio, la quale conduce il nome a presentarsi, sorprendendo in certo modo la sorveglianza delle forze rimoventi.

La tecnica espressa dalla 'regola fondamentale' della psicanalisi consiste precisamente nell'abbandonare ogni ricerca intenzionale di un particolare materiale inconscio, per sostituire tale ricerca con un abbandono al libero, non guidato, scorrere del pensiero. In tal modo le forze della rimozione si attenuano, mentre agiscono invece le forze automatiche che conducono alla rievocazione: forze messe in moto (inconsciamente) dalla situazione complessiva del soggetto (suo rapporto coll'analista, sua decisione di sottoporsi all'analisi, sua aspirazione a guarire, ecc.) e dallo specifico argomento di cui il soggetto si sta occupando.

Si tratta in sostanza di una tecnica della distrazione, contrapposta alla concentrazione attiva sul compito di ricordare. Questa tecnica agisce non soltanto nei confronti di specifici ricordi dimenticati, ma per ogni contenuto soggetto a rimozione, e in modo specifico per gli elementi della vita affettiva e le rappresentazioni che a quella si connettono.

Indipendentemente da Freud, e parallelamente invece alle ricerche di M. Wertheimer e J. Klein (v., 1904) nel campo di quella che fu chiamata la psicologia della testimonianza (cosa che diede origine a una polemica di priorità), Jung (1904-1906) elaborò una tecnica fondata sulle associazioni verbali.

Anche Jung mirava a sorprendere le forze chiamate da Freud rimoventi col chiedere al soggetto di reagire, con la prima parola che gli fosse venuta in mente, a una parola- stimolo convenientemente scelta con criteri provocatori. Lo studio delle risposte ottenute e dei tempi impiegati per rispondere, usando lunghe serie di parole-stimolo, consentiva di stabilire se le parole impiegate avessero per così dire colpito una zona sensibile

dell'inconscio del soggetto, e cioè uno di quelli che poi Jung chiamò complessi. In tal modo era pure possibile trarre qualche informazione circa il contenuto di quei complessi.

Il metodo delle associazioni verbali di Jung mira a sorprendere le difese, e cioè la rimozione, mediante la rapidità richiesta per le risposte.

Un'altra tecnica viene messa in opera con i test proiettivi. In questi l'attenzione è deviata dai contenuti inconsci oggetto di indagine, in quanto viene concentrata sul compito: che consiste nell'interpretare date figure, o effettuare costruzioni, o combinazioni di elementi figurati, o disegnare qualche cosa di apparentemente neutro, ecc. La modalità di esecuzione del compito risulta allora guidata da criteri che esprimono proprio quegli elementi inconsci dai quali l'attenzione era stata distolta.

Si collega invece all'antico procedimento di Breuer la tecnica indicata come narcoanalisi, e cioè l'interrogatorio del soggetto collocato in uno stato di seminarcoasi, ottenuto con barbiturici. I tentativi di questa specie mirano ad attenuare le forze della rimozione facendo così emergere contenuti inconsci. Si ottengono con la narcoanalisi altri risultati; non sembra invece che si raggiunga quello di attenuare le difese del materiale rimosso.

La psicanalisi rifiuta i procedimenti alternativi ora indicati, il cui interesse rimane soltanto teorico. Per i fini terapeutici che essa ha di fronte a sé, un'esplorazione dell'inconscio condotta in modo così frammentario e svincolato da una modificazione generale della personalità non ha senso.

Ciò non riguarda ovviamente l'impiego dei test proiettivi per scopi diversi da quello di un reperimento di materiale inconscio, e cioè per semplici indicazioni diagnostiche sulla base della struttura formale delle risposte, e non dei contenuti.

Per quanto riguarda l'esplorazione dell'inconscio, i vari procedimenti alternativi non utilizzano (o riducono al minimo) un fattore che nella tecnica analitica di Freud è invece essenziale: il rapporto emotivo con l'analista. Si deve soprattutto a tale rapporto, e cioè al cosiddetto transfert, l'efficacia della regola fondamentale dell'analisi. Fin dall'inizio Freud si avvide che esso influiva sulla personalità del paziente, nel senso di farlo regredire, con i suoi pensieri e i suoi ricordi, verso la prima infanzia, sospingendolo insieme verso i temi della sessualità, che sono quelli maggiormente coperti da rimozione.

Ma lo sviluppo del transfert, o traslazione, aveva anche un'altra conseguenza: determinava un fenomeno che rappresenta a sua volta una vera e propria nuova tecnica per l'esplorazione dell'inconscio. E la sua importanza è tale da trasformarsi nel corso del trattamento addirittura in tecnica principale.

Il paziente, in forza del transfert, è infatti automaticamente portato a riprodurre, o mimare, nei rapporti con l'analista, o meglio nelle fantasie che fa su tali rapporti, le relazioni personali di antica origine, che nell'inconscio sono conservate, verso i membri del proprio ambiente familiare. Questo, che Freud ha chiamato l'agire analitico, e che il paziente tenderebbe a tradurre in atto (e cioè in comportamento effettivo), deve

invece, nella pratica analitica, essere continuamente trasformato in memoria del passato, cioè in un'annessione alla coscienza di contenuti prima inconsci (v. Freud, 1914).

9. Difficoltà concettuali

Benché Freud abbia nel corso degli anni ripetutamente affrontato i problemi dell'inconscio, alcune difficoltà, soprattutto per il doppio punto di vista, qualitativo e sistematico, si sono ripetutamente presentate.

Un principio ribadito da Freud riguardava il modo come un contenuto inconscio può penetrare nella coscienza. Egli pensava (v. Freud, 1915; tr. it., p. 85) che ciò avvenisse per un collegamento fra la rappresentanza inconscia e l'espressione verbale corrispondente, tratta dai resti (prevalentemente auditivi) del linguaggio. Attraverso questi collegamenti con i resti verbali, si opererebbe anche la trasformazione del processo primario nel processo secondario. In altri termini sarebbe specificamente il linguaggio lo strumento che imbriglia il pensiero, costringendolo a seguire percorsi logicamente corretti, mentre il processo primario riguarderebbe un pensiero preverbale.

Freud dirà che nulla può divenire cosciente se non lo è già stato. Così nella coscienza penetrano esclusivamente resti mnestici. Ai contenuti inconsci che non possono divenire coscienti direttamente, non rimane che allearsi ai resti mnestici per avere un accesso indiretto alla coscienza.

Qui sembra proprio riaffiorare il concetto dell'inconscio come noumeno, e non più come integrazione dei dati della coscienza. Queste difficoltà fanno dire a Freud (ibid., p. 76) che forse bisognerebbe, nel descrivere i processi psichici, abbandonare l'importanza data all'elemento "consapevolezza", e cioè alla caratterizzazione di un processo come cosciente oppure inconscio.

Un segno di queste difficoltà incontrate da Freud si può rintracciare nella strana vicenda dell'opera *Metapsicologia*. A quest'opera, progettata forse fin dal 1911, egli pose mano nel 1915 scrivendo i dodici saggi che avrebbero dovuto comporla. Ne furono pubblicati, come articoli separati, cinque fra il 1915 e il 1917; e questi furono successivamente riuniti col titolo *Metapsicologia* (v. Freud, 1924). L'opera intera invece, e quindi gli altri sette saggi, non vide mai la luce. Di questi ultimi Freud distrusse i manoscritti senza dare spiegazione ad alcuno.

Si può supporre che dopo la guerra del 1914-1918 non ne fosse più soddisfatto. Affrontò allora nuovamente la trattazione teorica del funzionamento dell'apparato psichico, con opere che sono rimaste fondamentali per la definizione del suo pensiero.

10. Impersonalità dell'attività pulsionale inconscia

In L'Io e l'Es (v. Freud, 1922) sono ripresi concetti, riguardanti l'inconscio, che erano già stati precedentemente enunciati, ma poi - come era stato ipotizzato sette anni prima - l'"elemento della consapevolezza" viene messo in secondo piano. Ed è intrapresa invece una considerazione globale della struttura dell'apparato psichico: la quale tiene sì anche conto dello stato cosciente, preconsciouso, o inconscio, dei vari contenuti, ma considera soprattutto i rapporti dinamici che intervengono nell'organizzazione di quei contenuti.

Freud aveva approfondito poco prima in *Al di là del principio del piacere* (v. Freud, 1920) l'analisi dei fattori pulsionali; e aveva quindi individuato in *Psicologia delle masse e analisi dell'Io* (v. Freud, 1921) una istanza (all'inizio chiamata "Ideale dell'Io" e più tardi "Super Io") operante dentro di noi come elemento normativo, imperiosamente agente su quella parte della persona in cui più propriamente ci riconosciamo, e che denominiamo Io.

L'attività pulsionale, già considerata elemento principale dell'inconscio, con la caratteristica di non divenire mai direttamente cosciente, anche se si fa valere sull'Io mediante le rappresentazioni e gli stati emotivi che ne derivano, è ora presa in considerazione per un carattere particolare, quello dell'impersonalità.

Gli impulsi o le reazioni che ne promanano sono riconosciuti ovviamente come in un certo senso nostri. Nello stesso tempo però appaiono come dovuti a un altro che agisce in noi: un altro che non è fuori di noi, che non possiamo individuare in alcuno, ma col quale neppure propriamente ci identifichiamo del tutto.

Adottando un'espressione usata da G. Groddeck (v., 1923), Freud indica con Es (che è nella lingua tedesca il pronome neutro usato come soggetto dei verbi impersonali) questa attività pulsionale, non domata, agente in forma inconscia, che esercita la propria influenza su tutta la nostra attività.

L'Io, che è la parte organizzata della personalità, operante per lo più sul piano cosciente, ma tuttavia talora anche in modo automatico e perciò inconscio, cerca di dominare, incanalare e controllare le spinte che provengono dall'Es. Quest'opera di controllo, di arginamento e di contrasto non risulta sempre efficace. Ma l'Io è indotto a esercitarla anche e soprattutto perché deve tener conto degli imperativi che provengono dal Super Io.

I rapporti fra le varie istanze che vengono a costituire la persona non sono tuttavia così chiari e semplici come si potrebbe supporre, e le istanze stesse non sono del tutto separate fra loro. Anche la loro collocazione rispetto alle provincie dell'apparato psichico (coscienza, preconsciouso e inconscio) è assai ambigua e non definita. Per avere una rappresentazione di questi rapporti la via migliore consiste nel seguire la personalità umana nel corso del suo sviluppo.

L'Es è la parte più antica: l'essere umano è infatti inizialmente costituito da un insieme di pulsioni che tendono al proprio appagamento, agendo sull'apparato muscolare ed essendo in contatto con la realtà esterna attraverso gli organi di senso. Gli ostacoli opposti dalla realtà all'appagamento delle pulsioni generano, per così dire, alla

superficie dell'Es, rivolta verso l'esterno, una regione più organizzata, che rappresenta il nucleo primo dell'Io. Nell'Io stesso la superficie esterna costituisce il sistema Percezione-Coscienza: che rappresenta quindi una porzione minima dell'apparato psichico complessivo.

L'Io è in gran parte inconscio, o per meglio dire preconscious. Lo è per il patrimonio mnestico suscettibile di esser richiamato alla coscienza, e anche per i processi mentali automatizzati ma sottoponibili all'attenzione. Una parte dei contenuti dell'Io è tuttavia impedita dalla rimozione a farsi cosciente ed è perciò propriamente inconscia.

Nell'Io si forma quello che abbiamo detto Ideale dell'Io, o Super Io, come modello a cui l'Io tende ad adeguarsi. Si istituisce sulla base dell'azione esercitata da determinate figure personali, mediante processi di identificazione. Hanno per questo un rilievo particolare le figure parentali, e soprattutto il padre, come depositario di ogni verità, giudice di ogni azione, guida in ogni vicenda della vita.

Questo mitico padre interiorizzato non è una pura immagine, ma un'istanza attiva, la quale agisce parzialmente sul piano cosciente (come voce della coscienza, ad esempio); tuttavia, per la sua derivazione emotiva dal 'romanzo familiare' (il cosiddetto complesso edipico), che è sprofondato nell'inconscio e che è strettamente collegato con le pulsioni originarie dell'Es, è anche in gran parte inconscio.

Anche le reciproche azioni fra le varie istanze vanno intese senza attribuire alle loro funzioni un carattere rigido.

Grosso modo all'Io compete un'azione mediatrice: nell'uomo adulto normale deve dare soddisfazione alle richieste provenienti dai fattori pulsionali dell'Es: non più tuttavia seguendo come in origine il principio del piacere (e cioè della realizzazione immediata, eventualmente allucinatoria), ma tenendo conto delle condizioni della realtà, con la quale l'Io è a contatto mediante il sistema Percezione-Coscienza. A questo lo spinge il comando del Super Io, il quale ha inoltre molte altre esigenze, come portatore di un codice normativo (morale, religioso, sociale) e come suscitatore nell'Io di un senso di colpa, che si traduce in angoscia.

I rapporti fra il Super Io e l'Io sono parzialmente coscienti, ma assai spesso anche inconsci, come ad esempio accade per i conflitti nevrotici. Né il Super Io è sempre l'avversario dell'Es. Anche in funzione della parentela che lo collega geneticamente all'Es, il Super Io può talora ergersi come avvocato dell'Es contro le restrizioni imposte dalla realtà esterna.

Freud ha tentato in L'Io e l'Es di riprodurre in un disegno dell'apparato psichico i vari rapporti delle istanze (l'Io, il Super Io e l'Es) fra loro, indicando anche la zona della percezione-coscienza e del preconscious. Manca invece in quel disegno l'indicazione dell'inconscio; e ciò perché (pur essendo anche l'Io e il Super Io in gran parte inconsci) l'inconscio, inteso in senso sistematico, coincide essenzialmente con l'Es.

In un analogo disegno schematico pubblicato nella Nuova serie di lezioni di introduzione alla psicoanalisi (v. Freud, 1933) egli fu più preciso e rimediò alla precedente omissione. Tuttavia in molti dei suoi scritti continuò

a impiegare l'espressione "inconscio" al posto di "Es", in ciò spesso seguito anche da altri autori che si rifanno alle sue dottrine.

11. Problemi di comunicazione e genetici

Nella Nuova serie di lezioni di introduzione alla psicoanalisi, alla fine di un'estesa trattazione della lezione XXX, Freud afferma: "Posso dire che la psicanalisi, inserendo, fra ciò che è fisico e ciò che finora è stato indicato come 'psichico', l'inconscio, ci ha preparati ad accettare processi come la telepatia".

Freud era molto critico verso tutto ciò che viene compreso sotto l'ambiguo termine 'occultismo'. Ha anzi fornito talora interpretazioni psicanalitiche per spiegare in modo naturalistico, ed escludendo quindi ogni ipotesi di poteri e di fenomeni extranormali, presunti episodi di premonizione (v. Freud, 1921). Ma proprio volendo raggiungere una spiegazione plausibile per situazioni di questo genere, e in modo specifico per casi in cui sedicenti indovini riescono a fornire indicazioni e notizie esatte che dovrebbero essere note soltanto agli interessati, si trovò nella necessità di ammettere che questi dati erano inconsciamente forniti agli 'indovini' dagli stessi interessati, mediante una trasmissione extrasensoriale.

Va del resto riconosciuto che tutti gli psicanalisti, in quanto si occupano sistematicamente nel corso della loro attività di processi che si svolgono a livello inconscio, nei pazienti come anche in se stessi, si imbattono frequentemente nell'impressione che per determinati contenuti si stabilisca una comunicazione diretta fra gli inconsci della coppia analitica, e cioè fra paziente e analista e viceversa. Anche se poi è difficile sottoporre a controlli obiettivi questi fatti, per cui in mancanza di simili controlli è prudente e corretto astenersi da prese di posizione troppo decise.

Freud enunciò l'ipotesi che nel mondo animale, e in quello umano delle origini, forme di comunicazione di questo tipo fra apparati psichici primordiali (di cui il nostro inconscio costituirebbe un residuo) siano stati molto più frequenti e importanti per i rapporti fra i singoli individui (v. Freud, 1933).

Questo si collega a un altro problema, riguardante la genesi dei contenuti dell'inconscio.

L'Es, in quanto essenzialmente costituito dall'attività istintuale, è portatore di una certa eredità biologica trasmessa nella specie. Ma si osservano comportamenti che da un lato sembrano dovuti a processi svolgentisi nella vita individuale, e dall'altro si ripetono identicamente nei vari individui, secondo uno schema comune, cosicché è difficile considerarli acquisiti ogni volta autonomamente dai singoli.

La stessa formazione di quell'istanza particolare che è il Super Io può essere riferita essenzialmente a processi di identificazione con l'autorità parentale e alla situazione edipica: cioè all'insieme dei sentimenti e delle impostazioni affettive che si generano nell'infanzia, e che perdurano più o meno inalterate nell'inconscio, nei confronti dei componenti la famiglia e in modo specifico dei genitori. Si tratterebbe perciò di un processo

ripetuto in ciascuno. Il fatto però che - anche se con numerose varianti - esista una fondamentale uniformità nella struttura del Super Io spinge Freud ad ammettere che agisca pure un'eredità e una trasmissione psicologica.

Le esperienze ripetute di una situazione fondamentale unica (quella della struttura familiare, e cioè del complesso edipico) attraverso molte successive generazioni avrebbero avuto modo di sommarsi, dando luogo a una sorta di esperienza della specie.

Certo non è facile accordare questo schema di un'esperienza ripetuta all'interno della specie con il concetto di una formazione dell'articolata struttura dell'apparato psichico nel singolo individuo, e cioè mettere insieme la filogenesi e l'ontogenesi.

Nell'individuo singolo, tanto l'Io (che viene differenziandosi dall'Es) quanto il Super Io (che è all'inizio una formazione nell'Io, pur se coll'apporto delle situazioni conflittuali edipiche aventi sede nell'Es) sono formazioni tardive, cosicché non è pensabile una trasmissione ereditaria da Super Io a Super Io.

Soltanto l'Es, strettamente collegato coll'organico, o aperto - come dice Freud - all'organico, così da sfumare in esso, può costituire la sede dove si sommano le esperienze generazionali. In tal modo un nuovo individuo, nel corso del suo sviluppo, trarrebbe dal proprio Es, portatore di questa eredità, le tracce delle esperienze ripetute innumerevoli volte nei progenitori; e le utilizzerebbe - con l'apporto delle proprie esperienze individuali - per la formazione della struttura adulta della personalità, con le distinte istanze, e in modo specifico col proprio Super Io.

Questo spiegherebbe la relativa uniformità di quella struttura, e in genere l'uniformità dell'inconscio, che consente a ciascuno di rivivere in sé, e di comprendere quindi in qualche modo, quanto accade nella personalità profonda degli altri.

12. L'inconscio collettivo

L'uniformità dell'inconscio non ha caratteri diversi da molti altri patrimoni comuni, sia somatici che psichici o spirituali, esistenti fra gli uomini. Nel riconoscere questa comunione non è ovviamente necessario immaginare la partecipazione dei singoli individui a una realtà superindividuale da intendersi ontologicamente.

Le scienze antropologiche non si occupano di quello che è peculiare per ogni singolo individuo, ma di quanto è comune alla generalità delle persone. Ciò consente di immaginare un modello a cui tutti in qualche modo partecipiamo. Ma soltanto per una concezione filosofica come quella di Platone tale modello avrebbe una sua realtà indipendente, e anzi superiore a quella dei singoli.

Questo vale anche per l'inconscio.

Freud, che era uno spirito positivo, si guardò bene dal sostanzializzare l'elemento comune presente negli

inconsci individuali.

Non così Jung che, dopo un periodo di collaborazione con Freud negli anni dal 1907 al 1912, si staccò da lui costituendo una propria scuola. Le ragioni del dissenso furono molteplici, ma il diverso modo di concepire l'inconscio è in un certo senso emblematico.

Jung, studiando i contenuti dell'inconscio, le grandi immagini, cariche di elementi conflittuali, pervase da potenti forze pulsionali, che affiorano in modo concorde nella produzione poetica, fantastica, onirica, allucinatoria, delirante - gli archetipi, come egli li chiama -, da un lato sostanzializza questo inconscio collettivo, dall'altro concepisce il rapporto fra questo inconscio collettivo e i singoli individui come un rapporto di partecipazione.

La realtà vera non sono le fantasie e i fantasmi dei singoli uomini, da cui possa essere ricavata un'astratta immagine in cui tutti si possano riconoscere, ma proprio questo superindividuale inconscio a cui ognuno partecipa.

"L'inconscio, come insieme di tutti gli archetipi, è il deposito di tutte le esperienze umane fino dai più oscuri primordi: non un deposito morto né un desolato campo di ruderi, ma un sistema vivo e pronto a reagire, che per vie invisibili, e appunto perciò attivissime, regola la vita individuale" (v. Jung, 1931; tr. it., p. 175).

Ciò che per i critici di Jung costituirebbe il suo misticismo si ritrova appunto nel rapporto di partecipazione dei singoli con questa realtà superindividuale, concepita come preesistente e indipendente dalle vicende personali dei singoli, e avente, come Jung stesso dice, un carattere "numinoso".

Jung, che è uno spirito poetico e fantastico, ha sviluppato in modo suggestivo questo mito della fabbrica dei miti, quale è la sua ricerca sugli archetipi.

Per Jung quindi il problema che aveva preoccupato Freud, di stabilire come il contenuto dell'inconscio individuale si trasmetta di generazione in generazione, non esiste: perché l'elemento primo non è l'inconscio individuale, considerando il quale divenga possibile costruire un'immagine astratta di una modalità di pensiero comune a ogni uomo (il processo primario di Freud), ma l'inconscio collettivo che per così dire si incarna nei singoli, o si proietta nei loro inconsci individuali.

13. Conclusioni

Questa esposizione è stata condotta seguendo un punto di vista prevalentemente epistemologico, inteso come analisi e valutazione critica dei procedimenti scientifici, mediante i quali nel corso di questo secolo la psicologia ha annesso alla propria sfera di indagine quel nuovo vasto campo estremamente fertile che è l'inconscio psichico.

Si può esprimere con varie immagini questa dilatazione dell'oggetto della psicologia: dicendo ad esempio che

i processi coscienti, che costituivano una volta l'unico oggetto della psicologia, sono come la punta emergente di un iceberg, di cui la massa sommersa nel mare rappresenterebbe l'inconscio; oppure che il salto di qualità operato dalla psicologia con l'annessione dell'inconscio è simile a quello compiuto dalla geografia quando, partendo dalla pura descrizione della superficie terrestre, ha potuto affrontare il problema della struttura interna del globo.

A ogni modo è certo che passando dalla psicologia di superficie alla psicologia del profondo, come diceva H. Bleuler in quella che è stata la prima consacrazione dell'opera freudiana da parte della scienza ufficiale (v. Bleuler, 1910), si è avuta la conquista di una dimensione ulteriore: proprio come se dalla geometria piana si fosse passati a quella dello spazio tridimensionale.

È chiaro che quest'ultima non annulla la precedente: la geometria piana è certo in grado di svilupparsi ancora in modo autonomo, anche se la terza dimensione, una volta acquisita, non può più essere ignorata, giacché lo stesso piano viene avvertito come sezione di una realtà più vasta.

Così è proprio anche per la psicologia. Non soltanto molti psicologi continuano a condurre le loro indagini come se l'inconscio non ci fosse affatto, ma per la forza delle impostazioni tradizionali e delle consuetudini consolidate si ritengono veramente indipendenti dalle ricerche effettuate nel profondo.

Quando invece si intraprenda questa discesa agli inferi, occorre essere disposti a modificare i procedimenti di indagine: e in luogo di esatte determinazioni, eventualmente quantitative, accontentarsi di ragionamenti ipotetici e di schemi interpretativi ancor più provvisori che non quelli costruiti in altre scienze.

Ci si trova inoltre di fronte a determinati pericoli.

La psicologia dell'inconscio, come molti altri modi di studiare la realtà, ha carattere indiziario. E sia la raccolta degli indizi quanto la loro utilizzazione è fragile. Inoltre il principale strumento di analisi è la stessa persona del ricercatore. Anche se attualmente si riconosce che l'obiettività della scienza, considerata una decisiva conquista galileiana, è in gran parte illusoria, in quanto sempre l'uomo non solo è soggetto, ma anche strumento dell'osservazione, la situazione è indubbiamente più delicata per ciò che riguarda la psicologia dell'inconscio.

I pericoli quindi di staccarsi dai fatti, scivolando in costruzioni metafisiche, dove la realtà venga soverchiata da un eccesso di astratta elaborazione intellettuale, oppure perdendosi in fantasticherie mistiche che appagano soltanto oscure aspirazioni personali, sono, come in una certa misura è stato accennato, pericoli sempre incombenti.

Queste considerazioni spiegano come sulla base del concetto di inconscio, quale si è venuto precisando nell'opera di Freud e degli altri pionieri, abbiano potuto fiorire varie scuole, indirizzi, o prospettive individuali, che in modo diverso hanno affrontato il problema dei contenuti che all'inconscio debbono essere attribuiti.

Ma tale questione, che si disperde poi in una ramificazione di molti rivoli distinti, è diversa dal problema qui affrontato: che è quello della fondazione, nella psicologia contemporanea, del concetto di inconscio.

Psicanalisi

Enciclopedia del Novecento (1980)

di Paul Ricoeur, Silvano Arieti

La teoria psicanalitica di Paul Ricoeur

Sommario: 1. Introduzione. 2. La psicanalisi come metodo d'indagine: a) il sintomo; b) il sogno; c) atti mancati; d) fantasia; e) il motto di spirito. 3. La terapia psicanalitica. 4. La 'metapsicologia' e i suoi punti di vista: a) il punto di vista dinamico; b) il punto di vista topico; c) il punto di vista economico; d) punto di vista economico e punto di vista genetico. 5. Interpretazioni della cultura. 6. Considerazioni conclusive.

1. Introduzione

Nell'articolo Psicanalisi, pubblicato nel Handwörterbuch der Sexualwissenschaft di M. Marcuse (Bonn 1923), Freud chiarisce che 'psicanalisi' "è il nome: 1) di un procedimento per l'indagine di processi psichici cui altrimenti sarebbe pressoché impossibile accedere; 2) di un metodo terapeutico (basato su tale indagine) per il trattamento dei disturbi nevrotici; 3) di una serie di conoscenze psicologiche acquisite per questa via che gradualmente si assommano e convergono in una nuova disciplina scientifica" (v. Opere, vol. IX, p. 439). Questa definizione ha il duplice vantaggio di mostrare la reciproca dipendenza dei tre aspetti che vengono isolati e di porre le condizioni che circoscrivono la validità di ogni interpretazione o spiegazione che voglia dirsi psicanalitica. Una teoria che non fosse sorretta da un preciso metodo d'indagine e non promuovesse la cura delle sindromi psiconevrotiche tralignerebbe in speculazione, perché perderebbe di vista le analogie che assicurano la convergenza tra indagine, 'terapia' e 'teoria'.

Sulle tracce del testo succitato, esporremo dapprima il 'nucleo' della psicanalisi, seguendo l'ordine dei tre livelli da Freud stesso distinti. Successivamente si esporranno gli ampliamenti, le applicazioni, le estrapolazioni che, sulla base di analogie dapprima ben fondate e poi sempre più arrischiate, innalzano la

psicanalisi al rango di una visione del mondo; quest'uso analogico della psicanalisi non può essere trascurato, perché sono questi territori, queste sfere concentriche disposte attorno al nucleo centrale, che fanno della psicanalisi uno dei maggiori avvenimenti culturali del nostro tempo e anzi uno degli strumenti più idonei con cui la nostra cultura interpreta se stessa.

2. La psicanalisi come metodo d'indagine

La psicanalisi è una disciplina che mette contemporaneamente in giuoco un metodo d'indagine, una tecnica terapeutica, un insieme di teorie. Nessuno di questi elementi, da solo, è la psicanalisi.

Il metodo d'indagine proprio della psicanalisi resta essenzialmente legato alla scoperta dell' 'inconscio'. È proprio perché parole, azioni, sintomi, produzioni immaginarie - come sogni, fantasie, deliri - hanno un significato che sfugge, e non solo occasionalmente ma sistematicamente, a una presa di coscienza, che è necessario ricorrere, per poterli comprendere, a un'indagine di tipo speciale che faccia emergere il loro significato nascosto. Quest'indagine non consiste affatto in un ampliamento, operato direttamente dal soggetto, della presa di coscienza o dell'introspezione; è anzi proprio in questo che la psicanalisi si distingue da ogni fenomenologia.

Le due nozioni di 'sintomo' e di 'sogno' possono essere prese come pietre di paragone del metodo d'indagine. La prima è immediatamente connessa a un'affezione psicogena, la nevrosi, la seconda è legata al normale fenomeno del sonno. Qui vengono ravvicinate per trarre, dalla loro convergenza, la caratteristica più significativa del metodo d'indagine.

a) Il sintomo

Che si tratti della nevrosi ossessiva, o dell'isteria, o della nevrosi fobica, ciò che caratterizza l'approccio psicanalitico è il mettere in evidenza il 'conflitto psichico' che è all'origine del processo patogeno. La nozione di sintomo viene riacostata alla nozione di conflitto psichico attraverso quella di 'compromesso', di cui il sintomo è l'effetto-segno. Il sintomo manifesta il conflitto e la sua risultante in una sorta di 'linguaggio', che per sua natura non appartiene alla sfera verbale, anche se il malato è capace, almeno in parte, di 'dire' i suoi sintomi. Fin dal 1894, in *Le neuropsicosi da difesa*, Freud caratterizza le psiconevrosi, in opposizione alle nevrosi attuali, in base al ruolo svolto - nelle prime - dal sintomo in quanto espressione simbolica dei conflitti infantili.

Negli *Studi sull'isteria* (1895), il sintomo isterico è definito come simbolo mnestico del trauma; esso è il testimone attraverso il quale l'avvenimento traumatico è in qualche modo commemorato. Parallelamente, il meccanismo della nevrosi ossessiva fa pensare che i sintomi rechino in se stessi la traccia o il marchio del

conflitto difensivo da cui traggono origine. Il sintomo è dunque in generale l'effetto-segno della formazione di compromesso tra le rappresentazioni rimosse e la difesa; in questo effetto-segno, il rimosso ritorna in una forma in cui risulta irriconoscibile al soggetto. Il metodo d'indagine cui compete il nome di analisi consiste nello scomporre le forze - il desiderio e la difesa - il cui conflitto ha trovato nel sintomo una soluzione di compromesso. È dunque naturale che inizialmente la coscienza del nevrotico 'non riconosca' le rappresentazioni rimosse, e questo richiede un metodo originale d'indagine messo in opera da qualcuno che non sia lo stesso malato. L'analisi ripercorre il cammino inverso rispetto alla formazione di compromesso, grazie al ritorno del rimosso nella fase della formazione del sintomo.

Quel che ravvicina il sintomo al sogno è il carattere di equivalenza tra l'effetto-segno e il sistema conflittuale che in esso si esprime; per questo carattere, il sintomo appare come una 'formazione sostitutiva' nel senso che è 'messo al posto' del processo conflittuale. Quale che sia la spiegazione 'economica' che verrà data più tardi del fenomeno nel quadro della teoria, è importante sottolineare, per un primo approccio che si limiti al metodo d'indagine, la natura 'simbolica' di questa sostituzione. È quello che noi esprimiamo con il termine 'effetto-segno': un effetto certamente, ma un effetto che è anche un segno. I legami associativi che l'indagine rivela tra il sintomo e ciò cui si sostituisce, l'affinità con gli spostamenti e le condensazioni propri del lavoro onirico rendono ancor più sorprendente l'affinità tra i due fenomeni del sintomo e del sogno. Sia il sintomo sia il sogno sono espressioni indirette e deformate, che offrono una certa resistenza all'interpretazione. Più precisamente, la psicanalisi ha a che fare con espressioni che manifestano e mascherano nel contempo dei contenuti inaccessibili all'apprensione immediata e alla comprensione diretta del soggetto.

Nelle sue prime opere Freud ha chiamato 'simbolico' il rapporto di occultamento-disvelamento che intercorre tra un desiderio inconscio e la sua rappresentazione indiretta e figurata nelle formazioni sostitutive. Nella Comunicazione preliminare, del 1892, il legame simbolico è la relazione nascosta tra la causa determinante e il sintomo isterico: legame simbolico si oppone così a legame manifesto; lo stesso testo stabilisce per la prima volta un parallelo tra questo legame simbolico e il processo onirico. Limitato dapprima alle algie isteriche, questo legame è progressivamente esteso a tutti i sintomi isterici grazie al rapporto, progressivamente scoperto, tra simbolo e ricordo; il simbolo assume allora valore di reminiscenza della sofferenza e Freud usa l'espressione 'simbolo mnestico' (Studi sull'isteria). Il simbolo diventa così un equivalente della scena traumatica, il cui ricordo è soppresso. Se è vero, come già diceva la Comunicazione preliminare, che "l'isterico soffrirebbe per lo più di reminiscenze" (v. Opere, vol. I, p. 179), il simbolo mnestico è il mezzo attraverso il quale il trauma si prolunga nel sintomo. Il simbolo mnestico, a differenza dei 'residui mnestici' (non modificati), è deformato, 'convertito', nel senso in cui si parla di conversione isterica. La simbolizzazione copre dunque tutto il campo della distorsione legata alla rimozione (identificata a quell'epoca con la difesa). Il Progetto di una psicologia (1895) conserva ancora le tracce di questa prima concezione del simbolo come

equivalente del ricordo di un trauma rimosso; si tende quindi a concepire come simbolizzazione ogni formazione sostitutiva nel caso di resistenza al ritorno del ricordo rimosso. Questo primo uso del termine simbolo è dunque più ampio di quello che troviamo ne *L'interpretazione dei sogni*, dato che comprende tutto ciò che sarà poi chiamato deformazione; tuttavia, il ruolo intermediario attribuito alle espressioni idiomatiche nella formazione del simbolo isterico preannuncia la futura limitazione del simbolismo agli stereotipi culturali. Nella conferenza del gennaio 1893 sul Meccanismo psichico dei fenomeni isterici Freud afferma che "è come se volessero [i pazienti isterici] esprimere la situazione psichica attraverso una situazione somatica, e le espressioni linguistiche forniscono il ponte che permette l'effettuarsi di questa metamorfosi" (v. *Opere*, vol. II, p. 95). Così il dolore facciale di una malata curata insieme da Breuer e Freud simbolizza un affronto avvertito come un colpo ricevuto in pieno viso. Le locuzioni usuali affievolite dalla banalità ritrovano nell'isterico il loro senso originario. Un altro malato, che soffre per il fatto di 'non riuscire a farsi strada' nella vita, simbolizza nei suoi dolori alle gambe - già peraltro giustificati - la sua difficoltà morale. Negli *Studi sull'isteria* Freud ha dunque visto che la simbolizzazione non è solo una trasposizione fantastica del corpo, ma un risorgere del senso originario delle parole, come cercherà di chiarire nel saggio del 1910, *Significato opposto delle parole primordiali*. Almeno in questa accezione larga, il termine 'simbolo' sarà abbandonato già ne *L'interpretazione dei sogni* (1899), certo per evitare ogni confusione con l'interpretazione 'simbolica' del sogno, che "considera il contenuto del sogno nella sua totalità e cerca di sostituirlo con un altro contenuto comprensibile e sotto certi aspetti analogo. Questa è l'interpretazione "simbolica" del sogno, destinata naturalmente a fallire di fronte a sogni che appaiono non solo incomprensibili, ma anche confusi" (v. *Opere*, vol. III, pp. 99-100). Più avanti si vedrà in quale senso ristretto l'interpretazione dei sogni assuma la nozione di simbolo.

b) il sogno

Il secondo pilastro del metodo d'indagine è l'interpretazione del sogno: "L'interpretazione del sogno è la via regia che porta alla conoscenza dell'inconscio nella vita psichica" (ibid., p. 553). La tesi che il sogno ha un senso è anzitutto una tesi polemica, che Freud difende su due fronti. Essa si oppone da una parte a ogni concezione che riduca il sogno a un garbuglio insensato; a ciò Freud obietta l'intelligibilità del sogno: "Mi sono proposto di dimostrare la possibilità di interpretare i sogni [...]. Con la premessa che i sogni sono interpretabili, contraddico immediatamente la teoria onirica dominante, anzi tutte le teorie oniriche a eccezione di quella scherneriana, poiché 'interpretare un sogno' significa indicare il suo 'senso', sostituirlo con qualche cosa che si inserisca come elemento di grande importanza e di pari valore nella concatenazione delle nostre azioni psichiche" (ibid., p. 99). Più avanti, all'inizio del cap. 3, paragona la situazione dell'analista, che

abbia superato le prime difficoltà dell'interpretazione, a quella di chi riveda la luce all'uscita da una stretta gola: "Abbiamo raggiunto la chiarezza di una conoscenza improvvisa" (ibid., p. 121).

La tesi si oppone d'altra parte a ogni spiegazione prematuramente organica del sogno; essa significa che si può sempre sostituire al racconto del sogno un altro racconto, e quindi confrontare i due racconti come si confronta un testo con la sua traduzione; l'interpretazione è anche paragonata alla soluzione di un rebus (ibid., pp. 257-258). Non ci sarebbero tuttavia problemi d'interpretazione se la relazione tra il senso di un racconto e quello dell'altro fosse essa stessa accessibile a una comprensione immediata. È qui che le nozioni di sintomo e di sogno si sostengono a vicenda; il sogno, appartenente - in quanto racconto - al dominio del linguaggio, mostra in modo immediato la sua struttura semiologica e di riflesso quella del sintomo; il sintomo dal canto suo, in quanto effetto-segno, invita a vedere nel sogno l'equivalente di una formazione di compromesso e a cercare, tra il senso manifesto e il senso latente, l'intervento di meccanismi di deformazione, ai quali si deve appunto la necessità dell'interpretazione. Dal punto di vista cronologico, è certamente l'idea di sintomo, comune a Breuer e a Freud, quella che precede; ma l'inversione di priorità è essenziale dal punto di vista metodologico: "I punti di vista per la concezione del sogno mi venivano da lavori precedenti sulla psicologia delle nevrosi, alla quale non dovrei riferirmi in questa sede ed alla quale d'altronde devo riferirmi continuamente, mentre vorrei procedere in direzione inversa, ritrovando a partire dal sogno la connessione con la psicologia delle nevrosi" (ibid., p. 536). È il lavoro onirico che impone il lavoro interpretativo: "Nella formazione del sogno, il lavoro psichico si scompone in due operazioni: produzione dei pensieri del sogno e loro trasformazione in contenuto del sogno"; i pensieri del sogno, aggiunge Freud, non presentano affatto una natura particolare; il lavoro onirico, invece, è caratteristico del sogno: "è qualche cosa di interamente diverso qualitativamente e perciò non immediatamente confrontabile con esso [il pensiero vigile]. Non pensa, non calcola, non giudica affatto, ma si limita a trasformare" (ibid., pp. 462 e 463). Effettivamente, il disvelamento dei pensieri inconsci del sogno mostra che questi pensieri sono gli stessi della veglia; tutta la stranezza del sogno è dovuta al lavoro onirico. Si dirà più avanti quali concetti 'dinamici' sono necessari per render conto della diversità dei meccanismi messi in opera, quali concetti 'topici' possono spiegare la scissione tra i contenuti inconsci del sogno e la loro espressione deformata, quali concetti 'economici', infine, sono necessari per spiegare l'esclusione dei pensieri del sogno dal piano della coscienza. Qui insistiamo soltanto sul metodo d'indagine che giustifica il titolo Interpretazione dei sogni. Si tratta di un'interpretazione nel senso che la comprensione va dal meno intelligibile al più intelligibile; ma è un'interpretazione per mezzo di un'analisi. Il termine stesso, analisi, è strettamente solidale col metodo basato sulle libere associazioni, metodo da cui deriva appunto il carattere 'analitico' - nel senso quasi chimico del termine - dell'interpretazione: si tratta proprio di scomporre la narrazione del sogno in elementi e di lasciar fluire, frammento dopo frammento, le

catene associative in modo da scomporre anche i moventi, i moti pulsionali sconosciuti del soggetto che, attraverso il lavoro onirico, si fondono in quell'effetto-segno che è il sogno sognato.

È l'impiego di questo metodo d'indagine che autorizza a dire che il sogno è "un appagamento di un desiderio rimosso". Si noti fino a che punto questa espressione rassomigli a quelle - applicate al sintomo - di formazione di compromesso e di formazione sostitutiva. Vi si trovano combinate le due affermazioni che il mascheramento è una forma di manifestazione e che la deformazione rende tale manifestazione irriconoscibile. Anche qui la deformazione esprime un compromesso tra forze. Quel che è vero della nozione generale di deformazione, lo è anche dei meccanismi specifici che costituiscono il lavoro onirico. I meccanismi della 'condensazione' e dello 'spostamento' presentano lo stesso carattere di manipolazione del senso, che alterano pur fornendogli nel contempo un'espressione mascherata; donde il carattere di 'sovradeterminazione', comune agli elementi del sogno. Con questo termine Freud vuol significare che il sogno, come il sintomo, rinvia a una pluralità di elementi inconsci che formano differenti catene significative coincidenti nello stesso frammento di senso manifesto; sicché nessun elemento del sogno è l'effetto-segno univoco di un unico contenuto inconscio. La condensazione e lo spostamento non sono affatto i soli meccanismi che deformano i contenuti latenti. Freud introduce un terzo fattore che chiama "la considerazione della rappresentabilità" (ibid., pp. 312 ss.). Questo terzo procedimento dà al sogno il suo carattere specifico di spettacolo, essenzialmente visivo; tale messa in scena costituisce uno dei tipi di regressione che la psicanalisi considera, la regressione formale: sotto questo nome Freud indica il disgregamento sintattico, la sostituzione di tutte le relazioni logiche con equivalenti figurati, la rappresentazione della negazione attraverso la riunione dei contrari in un solo oggetto, il carattere di mimo o di rebus del contenuto manifesto. In questo ritorno all'espressione immaginosa e concreta, Freud vede una regressione al di là dell'immagine-ricordo, fino alla restaurazione allucinatoria delle percezioni arcaiche. Questa regressione all'immagine costituisce un altro ostacolo all'interpretazione, che deve, per esempio, ristabilire le relazioni logiche deformate dalla raffigurazione. Il parallelismo con il sintomo invita a vedere nella raffigurazione una formazione sostitutiva, una scena infantile che esercita una specie d'attrazione sui residui diurni e cerca di realizzarsi per il loro tramite: "Secondo questa concezione, si potrebbe anche descrivere il sogno come il surrogato, alterato attraverso una traslazione su materiale recente, della scena infantile" (ibid., pp. 498-499). Perfino il rimaneggiamento in virtù del quale il sogno prende forma di un racconto relativamente coerente - lavoro che Freud chiama "elaborazione secondaria" - è di ostacolo all'interpretazione. È infatti necessario penetrare il rivestimento di apparente intelligibilità per poter accedere agli strati realmente significativi. Il termine stesso di elaborazione secondaria rivela l'appartenenza di questo procedimento al meccanismo del lavoro onirico, e la sua affinità con gli altri procedimenti di deformazione che richiedono l'interpretazione analitica.

Al termine di questa rassegna degli aspetti del sogno, necessaria per caratterizzare il metodo d'indagine, è possibile ritornare all'uso, alquanto peculiare, del termine 'simbolo' in Freud. Ne *L'interpretazione dei sogni* il suo uso è riservato a certi elementi che appaiono nei 'sogni tipici' (sogni di nudità, sogni di morte di persone care), e cioè a stereotipi frammentari, espressioni sostitutive 'già pronte' nel pensiero inconscio: "Il sogno si serve delle simbolizzazioni già pronte nel pensiero inconscio, perché meglio rispondono, per la loro rappresentabilità e per lo più anche perché esenti da censura, alle esigenze della creazione onirica" (ibid., p. 321). In questi casi, il sogno si serve dunque del simbolismo senza elaborarlo; si comprende allora perché il sognatore non trovi alcun ricordo legato a questi sogni tipici: nel suo sogno egli ha soltanto utilizzato, come se si trattasse di una locuzione usuale, dei frammenti simbolici entrati nel dominio comune: "bisogna chiedersi se molti di questi simboli non si presentino come i 'segni' della stenografia, con un significato fissato una volta per sempre, e ci si sente tentati di abbozzare un nuovo 'libro dei sogni', secondo il metodo cifrato" (ibid., p. 323). Per questo l'interpretazione analitica dev'essere qui sostituita da un 'interpretazione genetica: il simbolo presenta una speciale sovradeterminazione che non è il prodotto del lavoro del sogno, ma un fatto di cultura; spesso è la traccia di un'identità concettuale e verbale oggi perduta; ad ogni modo, interpretazione simbolica e interpretazione analitica restano due tecniche distinte - la prima è subordinata alla seconda "come mezzo ausiliario" (ibid., p. 331)-, mentre la via propria dell'interpretazione resta quella delle libere associazioni. Questa è la ragione per cui Freud non ha mai annoverato il simbolismo, nel senso preciso da lui dato al termine, tra i processi di deformazione che richiedono la strategia dell'interpretazione analitica. Sembra che Freud voglia rinviarne la spiegazione alla storia dell'umanità, al di là delle creazioni fantastiche del singolo sognatore.

Il sintomo e il sogno sono dunque gli oggetti privilegiati del metodo analitico dell'interpretazione; quanto al metodo stesso, consiste principalmente nella ricostruzione, attraverso le libere associazioni, del conflitto latente che si esprime nei suoi effetti-segni.

Sintomo e sogno servono da prototipi a formazioni vicine, che a loro volta ne avranno di analoghe, principalmente nella sfera culturale (folclore, leggende, miti, ecc.). Le estrapolazioni considerate nel cap. 5 hanno così il loro punto di partenza e la loro giustificazione parziale nella forza di espansione dei prototipi dell'interpretazione. Qui di seguito non verranno considerate se non le formazioni che, per la loro vicinanza al sogno e al sintomo, sono ancora passibili di un'analisi adeguata e non soltanto di una spiegazione d'accatto, basata su una trasposizione puramente analogica.

Quel che fa di un sogno un modello può essere riassunto nel modo seguente: il sogno ha un senso, è un appagamento mascherato di desideri rimossi; il mascheramento è l'effetto di un 'lavoro' che richiede, come contropartita, il lavoro dell'analisi; il desiderio del sogno è un desiderio infantile; esso si presta a espressioni 'tipiche' che tendono a costituire un linguaggio cristallizzato, un simbolismo in senso stretto. Queste

caratteristiche vengono attualizzate dal sogno in una situazione precisa, quella del sonno, quando la vita percettiva esterna è interrotta e le difese interne allentate. Il desiderio di dormire e quello di 'salvaguardare il sonno' vengono a patti con quello di 'appagare' i desideri inconsci. Le altre formazioni psichiche che la psicanalisi considera presentano l'appagamento del desiderio al di fuori della connessione con il sonno e suggeriscono l'idea di una vasta funzione onirica, svincolata dal 'contesto notturno'.

c) Atti mancati

Una prima estensione interessante del modello onirico è offerta dagli 'atti mancati', ai quali Freud ha consacrato un'opera, *Psicopatologia della vita quotidiana* (1901); la nozione d'effetto-segno è applicata a tutti gli atti in cui il risultato perseguito non è raggiunto ed è sostituito da un altro, non voluto intenzionalmente; tra questi 'fallimenti' figurano lapsus linguistici, dimenticanze, sbadataggini ecc. A ciascuna di queste categorie viene applicato lo schema della formazione di compromesso (sintomo) e dell'appagamento di desiderio (sogno), con il risultato che il metodo d'indagine 'analitico' si annette tutta una zona della vita quotidiana che è alla frontiera tra il normale e il patologico.

d) Fantasia

La sfera immediatamente contigua a quella del sogno, e che fa da cerniera tra il sogno, prodotto dal sonno, e il mondo delle rappresentazioni nate dalla cultura, è stata chiamata da Freud "fantasia" (*Phantasie*). Nella fantasia (il termine copre tutto il dominio dell'immaginario) si può ravvisare un appagamento di desiderio analogo a quello rivelato dall'indagine del sogno, cioè un'espressione deformata dai meccanismi di difesa. Il 'sogno diurno' ne è il modello. È un fenomeno comune sia nei soggetti sani sia in quelli malati. Gli Studi sull'isteria ne mostrano la frequenza nei nevrotici, presso i quali la fantasia assume un significato particolare, affine a quello del sogno, cioè quello di lasciar emergere, sotto forma mascherata, una 'scena infantile' di carattere sessuale, che spesso rappresenta il coito dei genitori, con una sfumatura di seduzione nei confronti del bambino. Dopo averle prese per ricordi reali, Freud finì per attribuire a tali fantasie soltanto una 'realtà psichica' quando la scoperta del complesso di Edipo, nel corso della sua autoanalisi, gli rivelò come conseguenza il carattere fittizio della scena di seduzione. Con 'realtà psichica' Freud allude al carattere resistente, irriducibile alla mobilità delle altre formazioni immaginarie, del nucleo costituito dalla scena infantile. Ci sono dunque parecchi livelli della fantasia, scaglionati tra il suo affiorare nel 'sogno diurno' e la sua struttura 'reale' nell'inconscio. Ed è in questo secondo senso che Freud parla di "fantasie inconscie", le quali non sono affatto differenti da quelle che l'analisi rivela come nucleo del sogno. Non solo formazioni immaginative ma gli stessi comportamenti possono risultare, all'analisi, come espressioni di tali fantasie inconscie: la dimensione fantastica si estende così a tutte le produzioni psichiche. In questo senso più ampio,

la fantasia designa una modalità di funzionamento della psiche in cui il desiderio è 'messo in scena', drammatizzato, entro un quadro al quale la difesa impone deformazioni simili a quelle del sogno. Freud contrappone nettamente questa modalità di funzionamento psichico a quella dei comportamenti regolati dal principio di realtà e attribuisce la prima a un principio distinto che chiama "principio di piacere" (Precisazioni sui due principi dell'accadere psichico, 1911). Questo principio gli permette nello stesso tempo di generalizzare la funzione della fantasia e di accentuarne il carattere d'illusione, e persino d'allucinazione. Si può infatti riallacciare, progressivamente, alla fantasia tutta una serie di produzioni psichiche, che vanno dal sogno a occhi aperti al gioco, alla finzione romanzesca e ad altre forme della creazione letteraria, ivi compresa la poesia (Il poeta e la fantasia, 1907). Vi è dunque una catena del fantastico dominata tutta dalla stessa legge: "Sono desideri insoddisfatti le forze motrici delle fantasie, e ogni singola fantasia è un appagamento di desiderio, una correzione della realtà che ci lascia insoddisfatti" (v. Opere, vol. V, p. 378). Si delinea così un'apertura in direzione dell'opera d'arte, che prenderemo in considerazione verso la fine di questo articolo; presupposto di tale apertura è il rapporto tra fantasia, desiderio e divieto.

e) Il motto di spirito

Il motto di spirito e la sua relazione con l'inconscio (1905) costituisce un importante anello fra l'indagine delle produzioni fantastiche e quella delle opere d'arte. Studiando le tecniche verbali del motto di spirito, Freud vi ritrova gli elementi essenziali del lavoro onirico: condensazione, spostamento, figurazione mediante il contrario ecc.; ma, oltre a fornire una verifica dell'interpretazione linguistica del lavoro onirico, il motto di spirito mette in moto un processo caratteristico dell'effetto comico. Freud ricollega questo effetto al ruolo del 'piacere preliminare', preso in considerazione nella teoria della sessualità; la sua utilizzazione estetica consiste nell'allettare col miraggio di un profitto di piacere puramente formale, legato alla rappresentazione della fantasia del poeta. Il premio di allettamento, o piacere preliminare, viene definito in Il poeta e la fantasia come un piacere "che ci viene offerto per rendere con esso possibile sprigionare, da fonti psichiche più profonde, un piacere maggiore" (ibid., p. 383). Il motto di spirito mette in moto questo piacere estetico per farne il detonatore di scariche profonde. Esso si presta effettivamente a un'analisi in senso proprio, cioè a una scomposizione che isoli il piacere di superficie, scaturito dalla pura tecnica verbale, dal piacere profondo, attivato dal primo e che i giochi di parole osceni, aggressivi o cinici portano in primo piano. Il piacere del lavoro tecnico è un piacere minimo, legato al risparmio di dispendio psichico realizzato dalla condensazione, dallo spostamento ecc. Così il piacere del non senso ci libera dalle restrizioni che la logica, la morale e il buon gusto impongono al nostro pensiero; questo piacere minimo viene a unirsi come premio alle tendenze erotiche, aggressive o scettiche.

3. La terapia psicanalitica

Il secondo punto della definizione proposta da Freud definisce la psicanalisi come 'prassi' terapeutica. Quest'aspetto della psicanalisi è strettamente legato al precedente. È infatti nel quadro della cura psicanalitica che l'indagine dell'inconscio ha preso il corso sopra descritto. Nella storia della scoperta freudiana, la psicanalisi propriamente detta è derivata dal metodo catartico (1880-1895), a sua volta distaccatosi progressivamente dai trattamenti operati sotto ipnosi, che avevano lo scopo di provocare il ricordo delle esperienze dimenticate e di scaricare per abreazione gli affetti repressi originariamente legati all'esperienza traumatizzante. Freud passa dall'ipnosi propriamente detta alla semplice suggestione, quindi alle libere associazioni, tratto caratteristico del suo metodo d'indagine. Ma la tecnica terapeutica si riallaccia al metodo d'indagine ancor più profondamente di quanto il ricorso alle libere associazioni possa rivelare: subordinando tutta la strategia terapeutica alla verbalizzazione del rimosso, la psicanalisi si definisce come 'cura con le parole'. Questo carattere è così determinante da generare la 'regola fondamentale' che presiede alla relazione analitica; questa regola prescrive una cosa sola, e cioè che il paziente dica tutto quel che gli viene in mente o sente, rinunciando a ogni atteggiamento critico che lo porterebbe a eliminare l'idea originaria o a sostituirla, con il pretesto che sarebbe penosa, moralmente o esteticamente inaccettabile, oppure insignificante. Questa regola di 'dire tutto' - che è anche la regola di 'limitarsi a dire' - diventa immediatamente la regola delle libere associazioni: l'allentamento del controllo favorisce l'emergere di altre produzioni inconscie impigliate nella catena associativa e l'individuazione di costellazioni fisse. Fatto essenziale è che la regola instaura il rapporto 'linguistico' costitutivo della situazione analitica.

Ma, una volta chiarita la connessione fra trattamento analitico e metodo d'indagine, bisogna sottolineare che il primo mette in gioco ben altro che una semplice interpretazione, che basterebbe comunicare e comprendere intellettualmente; esso è un 'trattamento delle resistenze nella situazione di transfert'.

Con 'resistenza' Freud designa ciò che, nelle azioni e nelle parole dell'analizzato, oppone ostacolo al lavoro terapeutico. La spiegazione di questo fenomeno rinvia, sul piano teorico, al punto di vista economico, che introdurremo più avanti; diciamo, grosso modo, che la resistenza è della stessa natura della difesa o della rimozione, poste dalla teoria all'origine dei disturbi: "La resistenza che si manifesta durante la cura proviene da quegli stessi strati e sistemi superiori della vita psichica che originariamente hanno attuato la rimozione" (v. Opere, vol. IX, p. 205). Ma l'attribuzione della resistenza a questa o a quell'istanza della psiche è cambiata nel corso dello sviluppo della teoria: di volta in volta la resistenza è stata riallacciata al sistema conscio-preconscio, poi all'Io, poi alla coazione a ripetere e, attraverso questa, alla pulsione di morte. L'ultimo stadio della dottrina si trova in *Inibizione, sintomo e angoscia* (1926), in cui compaiono forme di resistenza che non si riducono ai meccanismi di difesa caratteristici dell'Io. Quale che sia la spiegazione metapsicologica della

resistenza, essa basta a fare della psicanalisi un 'trattamento', un lavoro che si cimenta con forze, e quindi irriducibile alla mera comprensione intellettuale. Anche l'arte d'interpretare dev'essere quindi considerata come una parte dell'arte di trattare le resistenze, come il segmento intellettuale di una prassi. Ne L'impiego dell'interpretazione dei sogni nella psicanalisi (1911) Freud ha asserito che la preoccupazione di raggiungere un'interpretazione esaustiva del sogno può essere utilizzata dalle resistenze come una trappola, in cui l'analista viene attirato allo scopo di ritardare lo svolgimento della cura. La 'comprensione', quindi, è soltanto un aspetto del lavoro proprio dell'analizzato che, per tale ragione, può ben essere chiamato l' 'analizzante'. Freud ha scritto ne La psicanalisi 'selvaggia' (1910) che "la comunicazione di quanto l'ammalato non sa perché lo ha rimosso è soltanto uno dei preliminari necessari per la terapia. Se la conoscenza dell'inconscio fosse tanto importante per il paziente quanto ritiene chi è inesperto di psicoanalisi, basterebbe per la guarigione che l'ammalato ascoltasse delle lezioni o leggesse dei libri. Ma tali misure hanno sui sintomi della malattia nervosa la stessa influenza che la distribuzione di liste di vivande in tempo di carestia può avere sulla fame. E il paragone può anche essere esteso oltre la sua applicazione immediata: giacché le comunicazioni relative all'inconscio producono regolarmente sull'ammalato l'effetto che il conflitto in lui si accentua, e i disturbi si intensificano" (v. Opere, vol. VI, p. 329). L'arte dell'analisi consiste dunque nel ricollocare il sapere e la comunicazione del sapere nella strategia della resistenza.

È questa strategia che fa del 'divenire cosciente' un problema 'economico', il che distingue in modo radicale la psicanalisi da ogni fenomenologia della presa di coscienza, del dialogo, dell'intersoggettività. Freud chiama "rielaborazione" (Ducharbeiten) questa "elaborazione delle resistenze" che all'analizzato costa sincerità, tempo e denaro, e all'analista tatto e padronanza delle sue proprie reazioni affettive. È qui che il problema della resistenza viene a incrociare quello del transfert, circostanza così importante per Freud da fargli affermare che "il trattamento merita la denominazione di psicanalisi solo quando l'intensità della traslazione è impiegata per vincere le resistenze" (v. Opere, vol. VII, p. 352). Il trattamento del transier: attesta al più alto grado il carattere tecnico della psicanalisi. In Ricordare, ripetere e rielaborare (1914) Freud analizza nei particolari questa costellazione fondamentale nella dinamica analitica: lotta contro le resistenze, trattamento del transfert, tendenza del malato a sostituire la ripetizione al ricordo. È per questo che, rivolgendosi ai principianti (Osservazioni sull'amore di traslazione, 1914), dirà loro che "Ogni principiante in psicoanalisi è probabilmente preso all'inizio soprattutto dalle difficoltà presentate dall'interpretazione delle associazioni del paziente e dal problema della riproduzione del materiale rimosso. Tali difficoltà sono però destinate a rivelarglisi ben presto di scarsa importanza e a essere sostituite dalla persuasione che le uniche vere e serie difficoltà consistono nel modo di impiegare la traslazione" (ibid., p. 362).

Per transfert (o traslazione) Freud intende, in senso lato, lo spostamento di desideri inconsci su oggetti che ne consentono l'attualizzazione; in questo senso il transfert non è altro che un caso particolare dello spostamento

di un affetto da una rappresentazione a un'altra, appartenente al preconscious. In un senso più preciso, destinato a diventare il significato fondamentale del termine, il transfert designa la sostituzione della persona del medico alle figure parentali amate e temute, cioè ai personaggi del dramma edipico. Il lato interpersonale della relazione dev'essere subito sottolineato; non si tratta semplicemente di una sostituzione d'oggetto, ma di un 'altro' privilegiato: l'analista. Ora, è appunto l'inserimento dell'analista nella serie dei prototipi parentali che dà un senso propriamente analitico alla nozione di transfert; è tutto il gioco ambivalente della relazione del soggetto con le figure parentali che viene rivissuto nel transfert. Il transfert diventa allora il principio dinamico della cura, dato che i prototipi dei conflitti infantili trovano nello spostamento sulla persona dell'analista un'espressione omologa, che si presta al lavoro terapeutico. Quanto al legame tra resistenza e transfert, legame che conferisce al metodo terapeutico della psicanalisi il suo carattere proprio, risulta dal fatto che il transfert è dapprima una forma di resistenza: esso prende forma quando dei contenuti rimossi, particolarmente significativi e perciò pericolosi, sono sul punto d'essere smascherati; ma proprio per questo il transfert offre una 'scena' artificiale sulla quale viene rappresentato l'essenziale del conflitto inconscio - principalmente nel suo aspetto edipico - con tutto il suo corteo di fantasie. Ciò che è resistenza deve dunque diventare strumento terapeutico tra le mani dell'analista.

In che modo? La disciplina analitica è essenzialmente una disciplina del soddisfacimento, tutta l'operazione consistendo nell'utilizzare l'amore di transfert senza soddisfarlo. In *Vie della terapia psicoanalitica* (1918) Freud scrive che "un principio fondamentale [...] probabilmente diventerà dominante in questo campo [...]: 'Nella misura del possibile, la cura analitica dev'essere effettuata in stato di privazione, di astinenza'" (v. *Opere*, vol. IX, p. 22). Se è vero che i sintomi hanno valore di soddisfazione sostitutiva, è importante lasciare la richiesta del paziente senza risposta e resistere allo sperpero prematuro della "forza pulsionale che spinge verso di essa [la guarigione]" (ibid., p. 23). Freud aggiunge che "per quanto crudele possa sembrare, è nostro dovere far sì che la sofferenza del malato, quantomeno a un certo livello di intensità e di efficacia, non termini prematuramente. Se l'eliminazione e la svalutazione dei sintomi ha attenuato questa sofferenza, noi dobbiamo ripristinarla altrove, sotto forma di una privazione dolorosa; il rischio che corriamo altrimenti è di non ottenere mai più un miglioramento, se non modesto e transitorio [...]. L'attività del medico deve assumere la forma di un'energica opposizione contro i prematuri soddisfacimenti sostitutivi. [...] Per quanto concerne il rapporto del malato col medico, i desideri del primo devono restare in larga misura insoddisfatti" (ibid., pp. 23-24).

Non si potrebbe caratterizzare compiutamente la tecnica analitica senza aggiungere un cenno sulla posizione dello stesso analista, tanto rispetto alla 'regola fondamentale' - dire tutto e dire soltanto - quanto rispetto al trattamento delle resistenze e al transfert. Infatti il 'non agire' dell'analista è il polo opposto richiesto dalla relazione 'duale'. Mentre il metodo suggestivo implicava l'intervento del terapeuta, il metodo d'indagine che è proprio dell'analisi comporta che vengano messe tra parentesi le convinzioni personali dell'analista, il quale si

astiene dal proporre un ideale e, a fortiori, dal proporre se stesso come ideale; il 'non agire' dell'analista va anche oltre la 'neutralità': nelle Osservazioni sull'amore di traslazione e in Vie della terapia psicoanalitica Freud intende la 'neutralità' nel senso che l'analista si rifiuta di soddisfare le richieste dell'analizzato e di sostenere il ruolo che questi vorrebbe assegnarli. L' 'astinenza' dell'analista, conseguenza della sua neutralità, diventa così un appello all'astinenza dell'analizzato: è necessario che lo scioglimento del conflitto psichico, che è all'origine sia della nevrosi sia del transfert, passi per la via stretta della parola; il prezzo da pagare è la sofferenza di una nuova ferita del desiderio, sotto forma di una privazione che colpisce la richiesta del paziente. Questo 'appello' dell'analista può talvolta prender la forma di una proibizione riguardante certi comportamenti ripetitivi dell'analizzato nella cura stessa, o di un'ingiunzione di rivivere taluni episodi dolorosi, se ciò può servire a facilitare il ritorno del rimosso. Neutralità, astinenza, tecnica attiva sono quindi aspetti diversi di una stessa strategia che mira a mantenere operanti forze capaci di premere fino alla rammemorazione.

4. La 'metapsicologia' e i suoi punti di vista

Secondo la sua terza accezione, la psicanalisi è una 'teoria', cioè un insieme articolato di concetti di base e di ipotesi fondamentali, che regola una sfera di esperienza e coordina leggi particolari in una unità superiore. La psicanalisi, per questo aspetto, non differisce fundamentalmente dalle altre scienze moderne, che sono passate tutte dallo stadio della generalizzazione empirica a quello della teorizzazione, introducendo entità non direttamente osservabili, che strutturano il campo di indagine, e ipotesi non immediatamente verificabili, che servono a concatenare in modo sistematico le leggi derivate dalla generalizzazione empirica. Freud ha chiamato 'metapsicologiche' le considerazioni di questo livello superiore, intendendo con ciò sia che esse vanno al di là del punto di vista della coscienza, che è quello della psicologia del suo tempo, sia che hanno l'ambizione di riformulare nei termini della psicologia dell'inconscio le concezioni della metafisica. A prescindere dall'intenzione che ha determinato la scelta del termine, ciò che qui importa è insistere sullo statuto delle entità introdotte dal discorso teorico della psicanalisi. Queste entità sono di diverse specie; lo stesso Freud le ha ripartite secondo tre registri: dinamico, topico, economico (v. Opere, vol. VIII, p. 65).

a) Il punto di vista dinamico

Dinamico è il punto di vista secondo cui i fenomeni psichici sono considerati come risultanti da un conflitto di forze contrastanti. L'adozione di questo punto di vista fu subito imposta dall'esigenza di spiegare i sintomi, principalmente nella nevrosi ossessiva e nell'isteria. I sintomi ossessivi e isterici, infatti, richiedevano di essere compresi come deformazioni dovute alla composizione o al compromesso delle forze in conflitto. È proprio la

realtà del conflitto psichico che permette a Freud di circoscrivere le psiconevrosi e di distinguerle dalle nevrosi attuali, passibili di una spiegazione in termini di disturbo somatico; la definizione delle prime è 'teorica', nel senso che la delimitazione stessa del fenomeno è inseparabile dalla concezione di base del conflitto nevrotico, la quale contrappone il desiderio e la difesa. Il carattere centrale del conflitto implica il ruolo preponderante svolto dalla rimozione, "la cui essenza consiste semplicemente nell'espellere e nel tener lontano qualcosa dalla coscienza" (v. Opere, vol. VIII, p. 37). Certo, è sulla base di un insieme di fatti clinici che la rimozione si è imposta a Freud come un'operazione con cui il soggetto respinge fuori del suo pensiero cosciente le cose che vuol dimenticare; ed è anche sulla base dell'esperienza clinica che la rimozione viene trattata come il prototipo delle operazioni dinamiche. Essa non entra però nella teoria se non a prezzo di un'elaborazione teorica in seguito alla quale la nozione diventa inutilizzabile al di fuori dell'intero sistema concettuale della psicanalisi. L'accezione propriamente psicanalitica del concetto di rimozione è quindi inseparabile dalle distinzioni teoriche che l'accompagnano. In primo luogo, alla rimozione viene assegnato un posto affatto peculiare fra tutti i meccanismi di difesa, in quanto processo che istituisce l'inconscio come campo separato dal resto dello psichismo. In secondo luogo, s'introduce una distinzione all'interno stesso del concetto di rimozione: si distingue cioè tra 'rimozione originaria' e 'post-rimozione', o 'rimozione propriamente detta'. Ora, sebbene si possa cominciare a intendere questa distinzione con il semplice ausilio delle descrizioni cliniche, non è però possibile concettualizzarla senza tener conto dell'intera teoria delle pulsioni, in particolare senza ricorrere all'ipotesi principale di questa teoria, cioè che la pulsione non entri nel campo dei 'destini' propriamente psichici se non per mezzo di ciò che la 'rappresenta' (nel senso di una delegazione di funzioni) sul piano psichico. Per Freud queste 'rappresentanze della pulsione' sono di due specie: da una parte le 'rappresentazioni' (nel senso ideativo del termine), e dall'altra gli 'affetti'. L'idea di una fissazione 'originaria' della pulsione a rappresentanze ideative e affettive è essa stessa una costruzione teorica, che Freud introduce per spiegare il fatto, risultante dall'esperienza clinica, che la 'rimozione propriamente detta' è sempre già preceduta da una specie d'attrazione esercitata da un primo nucleo inconscio su tutti gli elementi successivamente rimossi; il concetto teorico di rimozione primaria mira a spiegare la formazione di questo primo nucleo d'attrazione, la cui azione si combina con la repulsione generata dalla successiva operazione dinamica. La rimozione originaria non è dunque neanche essa qualcosa di osservabile, come non lo è la 'post-rimozione', la cui base clinica è inseparabile da quella della rimozione originaria'. La clinica mostra infatti che l'azione del passato sul presente non si esercita affatto in modo unilaterale e secondo la legge di un determinismo lineare; nuove esperienze e in particolare traumi recenti agiscono retroattivamente su eventi traumatici remoti, conferendo loro un'efficacia in qualche modo postuma; la crisi puberale è l'occasione più importante in cui un ricordo rimosso non diventa traumatico se non a posteriori.

Pur ammettendo la base clinica dei due concetti complementari di rimozione originaria e di post-rimozione, il loro senso non può, dunque, essere delimitato se non all'interno dell'intera rete concettuale che abbraccia non soltanto il punto di vista dinamico, ma anche quello topico e quello economico, di cui si parlerà più avanti. Il punto di vista dinamico s'estende oltre la nozione di conflitto, pur completata e specificata da quella di rimozione. I grandi testi di metapsicologia del periodo 1914-1917 qualificano come dinamico lo stesso inconscio, in quanto non cessa di agire indirettamente sul campo della coscienza per il tramite di quelli che Freud chiama "i derivati" dell'inconscio. Punto di vista dinamico e punto di vista topico vengono così a sovrapporsi nel concetto psicanalitico di inconscio. Se, infatti, è possibile parlare di un 'luogo' chiamato l'inconscio, questo accade perché esso è costituito da contenuti rimossi ai quali la rimozione impedisce l'accesso al sistema preconsciouso-conscio. Il punto di vista dinamico riceve così dal punto di vista topico l'ampiezza della sua applicazione; è l'intera regione dell'inconscio che esercita in modo permanente una forza che spinge al ritorno del rimosso. In conclusione, il punto di vista dinamico permette di generalizzare le nozioni di conflitto e di compromesso, esse stesse derivate dalla considerazione dei sintomi e di tutti i fenomeni psichici suscettibili d'esser descritti in termini di conflitto psichico.

b) Il punto di vista topico

Il secondo punto di vista qualificante per la psicanalisi come teoria è il punto di vista 'topico', il quale deriva innanzi tutto dal precedente: la distinzione di 'luoghi' psichici l'inconscio, il preconsciouso, il conscio - si riferisce a divisioni che presuppongono la realtà del conflitto psichico. Il punto di vista topico aggiunge però una nuova dimensione rispetto al punto di vista dinamico, fondato sulla nozione di conflitto e dunque di forza; aggiunge cioè una dimensione 'spaziale', come lo stesso termine topico indica. L'idea di assegnare dei luoghi a fenomeni psichici è comune alla fisiologia e alla psicanalisi; tra l'idea di localizzazione cerebrale e quella di topica la filiazione è indubbia. Ma la topica freudiana procede, oltre che da una reazione contro la concezione puramente anatomica delle localizzazioni cerebrali, anche dalla fedeltà del fondatore della psicanalisi al suo retroterra scientifico-culturale; sin da Zur Auffassung der Aphasien (1891) Freud distingue tra 'località' psichica e localizzazione corticale. Che significa allora l'idea di località psichica? La metafora spaziale ha una triplice funzione. In primo luogo, indica la 'diversità' dei 'contenuti': l'inconscio è per eccellenza il luogo del rimosso, dei desideri più arcaici, dei contenuti indistruttibili; il preconsciouso, il luogo dei processi di memorizzazione e di verbalizzazione; la coscienza - luogo dei contenuti disponibili all'evocazione spontanea - è spesso collocata da Freud sotto il titolo generale di 'percezione', per designare tanto la percezione esterna quanto quella interna. Ma il parlare in termini di 'contenuti' non deve trarre in inganno; la seconda funzione della metafora spaziale è di indicare le divisioni interne all'apparato psichico; al confine fra i sistemi Freud

colloca delle 'censure', che impediscono o discriminano il passaggio da un sistema all'altro. Ciò che qui si teorizza, quindi, non sono soltanto i 'contenuti', ma le modalità di accesso al sistema preconsciouso-conscio. L'immagine di base evocata dall'allegoria della censura è quella del giornale russo censurato al passaggio della frontiera austroungarica; trasposta in termini psicologici, l'allegoria designa l'insieme dei processi che regolano l'accesso alla coscienza, a prezzo di un mascheramento mirante a risparmiare dispiacere al soggetto. Sotto veste di metafora, il termine 'censura' indica dunque un concetto teorico dello stesso tipo della rimozione. La topica raffigura in modo grafico lo sbarramento delle resistenze; essa offre i presupposti necessari per render conto di una varietà di fenomeni, alcuni dei quali sono riscontrabili sul terreno clinico della nevrosi - compromesso, simbolizzazione, conversione isterica, ecc. -, mentre altri emergono con l'interpretazione dei sogni. Si tratta di tutti i meccanismi - condensazione, spostamento, messa in scena, elaborazione secondaria - che costituiscono il 'lavoro del sogno': attraverso strategie diverse, essi producono una deformazione o distorsione che è propriamente un effetto di censura nel sogno. La censura - nel sogno - non è più soltanto postulata, ma in qualche modo rilevata sperimentalmente grazie al suo rilassamento parziale nel sonno; ma anche allora essa resta un concetto teorico, solidale con l'intera rete concettuale, come attesta il difficile capitolo VII de L'interpretazione dei sogni, che innalza al livello teorico tutte le descrizioni e le interpretazioni dei capitoli precedenti. L'aspetto teorico è ancor più evidente nella terza funzione dei concetti topici: ciascun 'luogo' si distingue per un'organizzazione 'sistematica', per 'leggi strutturali' differenti: "le leggi dell'attività psichica inconscia si differenziano in larga misura da quelle dell'attività cosciente" (v. Opere, vol. VI, p. 581), e sono queste leggi che determinano l'appartenenza a uno stesso sistema: "Il sistema che ci si rivela come caratterizzato dal fatto che tutti i singoli processi che lo compongono sono inconsci viene da noi indicato, in mancanza di un termine migliore e meno ambiguo, con il nome di 'Inconscio'. Propongo di denotare questo sistema con le lettere Ubw [Inc], abbreviazione della parola Unbewusst" (ibid.). Il capitolo V del saggio L'inconscio, che ha per titolo Caratteri specifici del sistema Inc, afferma: "La distinzione da noi operata fra i due sistemi psichici acquista un nuovo significato se consideriamo che i processi di uno di essi, l'Inc, hanno alcune caratteristiche non riscontrabili nel sistema immediatamente superiore" (v. Opere, vol. VIII, p. 70). Così l'inconscio è fuori del tempo, ignora la contraddizione, segue il principio di piacere e non il principio di realtà. Ma questi caratteri non sono in alcun modo descrittivi; in realtà, "la consapevolezza, l'unica caratteristica dei processi psichici che ci si rivela con immediatezza, non si presta affatto a fungere da criterio per la distinzione fra i sistemi" (ibid., p. 76). Di qui la conclusione: "Nella misura in cui vogliamo conquistare la capacità di considerare metapsicologicamente la vita psichica, dobbiamo imparare a emanciparci dall'importanza del sintomo 'consapevolezza' (ibid.). È questa emancipazione che viene trascritta nella topica. Riassumendo, la funzione della metafora spaziale è quella di sottolineare il carattere analitico, nel senso quasi chimico del termine, che caratterizza nello stesso tempo il metodo d'indagine, la tecnica terapeutica e

l'apparato concettuale. Si tratta di rendere comprensibile un funzionamento scomponendolo; la rappresentazione di un apparato le cui parti sono esterne le une alle altre e l'assegnazione di una funzione distinta a ciascuna di esse favoriscono una prospettiva teorica propriamente 'analitica'. A questo riguardo la "rappresentazione ausiliaria" proposta ne L'interpretazione dei sogni (v. Opere, vol. III, p. 490) è rivelatrice: l'apparato psichico è paragonato a un apparecchio ottico (microscopio composto o apparecchio fotografico), in cui si distinguono "località" differenti, un orientamento spaziale, una successione di processi; gli schemi proposti (ibid., pp. 491, 492 e 494) illustrano le modalità di funzionamento dell'apparato.

Forse si deve andare ancora più lontano: la spazializzazione dello psichismo non sottolinea soltanto la natura dell'esteriorità reciproca delle 'località' psichiche richiesta dalla dinamica del conflitto, ma il realismo e, se così si può dire, il 'concretismo' richiesti dall'esperienza analitica nel suo complesso. L'interpretazione scopre alla radice del sogno desideri 'indistruttibili'; l'esperienza analitica induce a postulare una rimozione 'originaria' più antica di ogni rimozione posteriore - che la spiegazione genetica fa risalire, come si dirà più avanti, a fasi arcaiche di organizzazione libidica, la cui strutturazione permane fino nelle organizzazioni più recenti; l'esperienza analitica, insomma, si imbatte sempre in qualcosa di anteriore, di primitivo, di primordiale, che è come la 'cosa' che precede ogni storia ricostruibile. Infine, negli sviluppi ulteriori della teoria, Freud incontrerà i fenomeni di ripetizione - in particolare, la coazione a ripetere - da lui collegati con la resistenza alla guarigione. Tutti questi fenomeni orientano non solo verso la pulsione di morte, ma verso un tipo di equivalenze meccaniche e spazializzanti nella rappresentazione dell'apparato psichico.

Nell'analisi che precede si è ammessa una certa analogia tra il punto di vista topico e la distinzione operata da Freud tra le tre istanze: inconscio, preconsciouso e conscio. Qualche volta viene chiamata "seconda topica" la triade Io-Es-Super-Io che, dopo il 1920 (L'Io e l'Es, 1923), si è aggiunta alla precedente. A dire il vero, le istanze di questa seconda topica - più che luoghi - sono ruoli diversi nell'ambito di una teoria della persona. Quel che è in questione, infatti, è il rapporto del personale con l'anonimo e con il sovraperonale nell'instaurazione del soggetto; mentre la prima topica concerne il problema dell'accesso alla coscienza, la seconda topica considera i medesimi mutamenti degli investimenti dal punto di vista della forza o della debolezza dell'Io; secondo il titolo di uno dei capitoli de L'Io e l'Es, la seconda topica ha per tema "i rapporti di dipendenza dell'Io" (cap. V).

Da questo spostamento della problematica deriva la non coincidenza dei concetti di inconscio e di Es: non tutto ciò che è inconscio è di ordine pulsionale. L'esperienza clinica rivela che le dighe, le resistenze, funzionano anche all'insaputa del soggetto e che gran parte dei meccanismi di rimozione sono inconsci; la costituzione e lo "sfacelo" del complesso di Edipo mostrano che anche il gioco sottile dell'identificazione con il padre, dell'interiorizzazione della sua immagine, si compie in noi senza di noi; più in generale, la sedimentazione degli ideali è un processo largamente inconscio; è per questo che bisogna dire che "grandi

zone dell'Io e del Super-Io possono rimanere inconscie, e normalmente sono inconscie" (v. Opere, vol. XI, p. 182). Appunto perciò si è dovuto introdurre il concetto di Es, per rendere conto di questa nuova estensione dell'inconscio, che ora abbraccia il rimosso come anche gran parte dell'istanza rimovente. Inoltre, il concetto di Es connota il carattere relativamente informe e caotico del sostrato pulsionale della personalità; dal punto di vista economico, l'Es è il serbatoio primario di ogni energia; l'Io stesso ne deriva sotto forma di energia desessualizzata e sublimata. La nozione di Es riveste nel contempo, oltre al significato economico, un deciso significato genetico, dato che le altre istanze si definiscono non tanto per il loro luogo rispettivo, quanto per la loro derivazione dalle riserve d'energia originarie.

Quanto al Super-Io, è un concetto teorico destinato a render conto di una varietà di dati: autosservazione, coscienza morale, funzione dell'ideale. Con autosservazione Freud intende la sensazione d'esser sorvegliato, criticato, condannato; per coscienza morale egli intende il rigore e talvolta la crudeltà dello sguardo osservante; quanto all'ideale: "Esso [il Super-Io] è anche l'esponente dell'ideale dell'Io, al quale l'Io si commisura, che emula, e la cui esigenza di una sempre più ampia perfezione si sforza di adempiere" (ibid., p. 177). E nel delirio di essere osservati che si rivela, in un mostruoso ingrandimento, la scissione tra l'istanza che osserva e il resto dell'Io, ed è nella melanconia che si manifesta la sua crudeltà. Questa presentazione attraverso la patologia rivela la situazione anzitutto alienata e alienante della moralità. Alla nozione kantiana di 'patologia del desiderio' Freud oppone quella che si potrebbe chiamare una 'patologia del dovere', questa non essendo altro, in fondo, che il prolungamento di quella; infatti, l'Io oppresso dal Super-Io si trova in una situazione analoga, di fronte a questo straniero interiore, a quella dell'Io di fronte alla pressione dei suoi desideri: per opera del Super-Io, noi risultiamo estranei a noi stessi.

Al pari dell'Es e dell'inconscio, neppure l'Io e la coscienza coincidono. Man mano che la problematica del Super-Io si precisa, la problematica dell'Io si distingue da quella della coscienza. Trattata sempre di più secondo un modello embriologico, la coscienza è la sede di tutte le relazioni con l'esterno (Freud dirà che essa è un fenomeno di 'superficie'); anche il 'divenire cosciente' è una varietà di percezione ed è per questo che Freud parla, generalizzando, della percezione-coscienza (P-C). Tutt'altra è la questione dell'Io, dove si tratta di dominio piuttosto che di percezione; l'alternativa non è affatto tra esser vigilianti o non vigilianti, ma tra essere padrone o schiavo. La problematica dell'Io deriva dal tema della difesa, da cui si è a sua volta sviluppato quello della rimozione: l'Io, minacciato da un pericolo interno, si difende in diversi modi. L'ultimo capitolo de L'Io e l'Es rappresenta l'Io come un povero diavolo minacciato da tre padroni: la realtà, la libido, il Super-Io. È facile constatare che questi rapporti di dipendenza, oltrepassando il punto di vista propriamente topico, non si comprendono se non da un punto di vista economico, eventualmente integrato da un punto di vista genetico.

c) Il punto di vista economico

È con il punto di vista economico che l'aspetto realistico, anzi 'concretistico', della nozione di inconscio emerge nel modo più netto. Il punto di vista economico è legato all'introduzione del concetto di pulsione nel campo teorico della psicanalisi. Il concetto di pulsione non è certo meno 'costruito' e, in questo senso, meno teorico degli altri; esso è il postulato necessario perché nella psicanalisi si possa parlare un certo linguaggio, che è quello che consente di descrivere i processi psichici in termini d'energia; il punto di vista economico, afferma Freud, "si sforza di seguire le vicissitudini della quantità di eccitamento e di pervenire a una loro stima, almeno relativa" (v. Opere, vol. VIII, p. 65).

L'antecedente del punto di vista economico è da ricercarsi nel Progetto di una psicologia (1895), nel quale non si trova ancora il concetto di pulsione, che sarà elaborato soltanto nei Tre saggi sulla teoria sessuale (1905), ma si trova il concetto di energia e di quantità d'energia, associato a una rappresentazione ancora anatomica dei vettori d'energia. A quell'epoca Freud condivideva con i suoi maestri viennesi e berlinesi il rispetto per una concezione fisicalista della biologia, fondata sulle idee di forza, di attrazione e di repulsione, rette a loro volta dal principio di conservazione dell'energia scoperto da R. Mayer nel 1842 e ripreso da H. L. F. von Helmholtz; secondo questo principio, l'energia totale di un sistema isolato resta costante. Il Progetto del 1895 postula per il funzionamento dell'apparato psichico un'energia così concepita, caratterizzata da una somma di eccitamento omologa all'energia fisica: è una corrente che circola, che 'occupa' e 'carica' neuroni; la nozione così importante di 'investimento' o 'carica' (Besetzung) è stata dapprima elaborata in questo quadro neuronico. È in questo senso che il Progetto parla di neuroni investiti o disinvestiti; si parlerà anche di elevazione o di abbassamento del livello della carica, di scarica e di resistenza alla scarica, di quantità liberamente mobile o 'legata'. Tutte queste nozioni si ritroveranno in altri contesti - in un'accezione sempre più metaforica. È però degno di nota che nel Progetto Freud non si spinga più avanti sulla via della determinazione della quantità, di cui non indica alcuna misura. Ma, se non obbedisce ad alcuna legge numerica precisa, la quantità è però regolata da un principio, il 'principio di costanza', che Freud elabora partendo da un 'principio d'inerzia'; mentre secondo quest'ultimo il sistema tenderebbe a ridurre a zero le sue tensioni, secondo il principio di costanza il sistema tende a mantenere il più basso possibile il livello della tensione. L'impossibilità - per il sistema - di eliminare tutte le tensioni risulta dal fatto che non esiste niente di equivalente alla fuga per i pericoli provenienti dall'interno: l'apparato psichico è costretto a immagazzinare, a investire una massa di manovra costituita da un insieme permanente di quantità 'legate', destinate a ridurre le tensioni senz'essere capaci di sopprimerle. Freud tenterà sempre di considerare il principio di costanza come l'equivalente del principio d'inerzia per un apparato costretto ad agire e a difendersi da pericoli interni, contro i quali non esiste uno schermo paragonabile all'apparato sensoriale, che funziona da barriera non meno che da recettore. Sarà questo uno dei temi fondamentali de L'Io e l'Es: mentre esiste uno scudo percettivo, l'Io è abbandonato senza protezione alle spinte delle pulsioni.

Il carattere fortemente speculativo e congetturale di questa concezione dell'apparato psichico è evidente; quel che bisogna sottolineare è la messa a punto di un apparato teorico che ha la funzione di metalinguaggio in rapporto alla descrizione clinica. Ciò che qui viene concettualizzato è il rapporto tra la coppia piacere-dispiacere e la coppia carica-scarica, il dispiacere coincidendo con un aumento di tensione e il piacere con una diminuzione di tensione.

È in questo quadro concettuale, e sulla base di questa correlazione, che Freud dà la prima interpretazione di ciò che egli chiama il processo primario, nel quale l'apparato funziona nel modo più vicino al principio d'inerzia, dato che la scarica segue la via del reinvestimento delle immagini mnestiche dell'oggetto desiderato e dei movimenti necessari per ottenerlo; si produce così l'analogo di una percezione, cioè un'allucinazione. Nel capitolo VII de *L'interpretazione dei sogni* Freud postulerà ancora questa non-distinzione fra immagine e percezione nel processo primario, ipotizzando, per spiegarla, una regressione topica nel funzionamento dell'apparato. Quanto al processo secondario, si fonda sul legame tra la distinzione di reale e immaginario e la funzione di inibizione, anch'essa attribuita all'organizzazione dell'Io. È un punto acquisito per sempre: investimento costante dell'Io, funzione d'inibizione, esame di realtà andranno sempre di pari passo.

Questi antecedenti della teoria economica delle pulsioni si distinguono per la pretesa di far corrispondere una psicologia quantitativa del desiderio a un sistema meccanicistico di neuroni; sarà questo l'ultimo tentativo freudiano di una trascrizione anatomica delle scoperte psicanalitiche (anche se la topica esposta sopra conserva, invero, un carattere 'quasi anatomico', più precisamente 'quasi corticale', che, se non è a rigore necessario, non è però neppure eliminabile).

È la scoperta dell'eziologia sessuale delle nevrosi che orienta verso l'idea di una "libido psichica" - scrive Freud a Fliess (Minuta teorica E; v. Opere, vol. II, p. 22) - e più precisamente la scoperta che, in questa eziologia sessuale, il ricordo ha la funzione traumatizzante: è soprattutto di reminiscenze - dicono Freud e Breuer nella Comunicazione preliminare del 1892 - che soffrono gli isterici; quel che scompare per via psichica deve essere restaurato per via fisica.

Ma, se ha imposto l'idea di una 'elaborazione psichica' dell'energia, questa scoperta non esigeva l'abbandono dell'idea di una energia quantificabile, capace di circolare e di suddividersi. La nozione di quantità ha in realtà un sostegno propriamente clinico, che rinforza incessantemente la sua posizione teorica. Il carattere irrimediabile dei sintomi nevrotici, la conversione degli affetti nell'isteria, lo spostamento dell'affetto nella nevrosi ossessiva, la trasformazione dell'affetto nelle nevrosi d'angoscia sono tutti fenomeni, infatti, che suggeriscono l'idea di un'energia spostabile, talvolta libera, talaltra legata (a questo proposito, è forse nell'angoscia che si percepisce nel modo più netto la 'quantità'). È per questo che l'affetto continuerà a essere trattato come una quantità, spostabile o legata, unita alla rappresentazione, e la nozione d'investimento resterà strettamente solidale con questa strana 'quantità', che non sarà mai misurata. Si può anche pensare che la

scoperta e la pratica del metodo delle libere associazioni, sostituito al metodo catartico, abbiano rafforzato, anziché indebolire, l'idea che lo psichismo presenta un certo concatenamento ben definito. Ora, la convinzione che lo psichismo non è un caos, ma possiede un ordine nascosto, da un lato ha generato il metodo interpretativo proprio della psicanalisi e dall'altro ha rafforzato la spiegazione deterministica; il principio di costanza è stato il mezzo attraverso il quale una teoria del desiderio, con le sue nozioni di meta e d'intenzione, è stata subordinata all'ipotesi deterministica.

Allo stesso insieme teorico, che risale all'epoca del Progetto, appartiene l'importante concetto di *Besetzung* (carica, investimento); concetto economico per eccellenza, esso designa un aspetto degli spostamenti d'energia nell'apparato psichico, cioè l'attitudine di un affetto (soprattutto spiacevole) a legare la sua sorte a una rappresentazione diversa da quella cui era inizialmente legato, attaccandovisi in modo tale che il ristabilimento della connessione originaria esige tutta la strategia della terapia analitica. L'accezione militare (occupare una posizione) e l'accezione economica (investire un capitale) sono egualmente presenti nell'idea - propriamente psicanalitica - di una carica affettiva legata alla rappresentazione di un oggetto. Questo concetto, pur avendo anch'esso una portata clinica, principalmente nella spiegazione dei sintomi isterici (e in generale nevrotici) e nel loro trattamento terapeutico, riceve però il suo statuto teorico dal suo inserimento nell'insieme di ipotesi concernenti la conservazione dell'energia, la sua circolazione e la sua fissazione. Ne L'interpretazione dei sogni l'energia d'investimento si ripartisce fra sistemi che non hanno un preciso significato anatomico. La nozione d'investimento di una rappresentazione assume allora un senso metaforico, senza che sia peraltro completamente abbandonata l'idea di una spiegazione propriamente fisiologica. L'accezione metaforica diviene più netta quando si parla d'investimento oggettuale; l'aspetto qualitativo e l'elemento di valorizzazione prevalgono allora sull'aspetto quantitativo. La nozione diventa infine ancor più problematica allorché si tratta di spiegare esperienze negative d'assenza, di negazione, di diniego, ecc., nell'ambito di un concetto energetico che non sembra poter implicare se non grandezze positive. Checché si pensi di tali difficoltà teoriche, il fondamento ultimo della nozione d'investimento sta nella nozione di pulsione; è infatti l'introduzione di quest'ultima che distingue in maniera decisiva il punto di vista economico dal punto di vista semplicemente dinamico.

Considereremo successivamente: 1) la nozione stessa di pulsione nell'unità del suo concetto metapsicologico; 2) il quadro delle pulsioni nei dualismi successivi attraverso i quali Freud ha tentato di concettualizzare il campo pulsionale; 3) i diversi 'destini' pulsionali che regolano l'economia delle trasformazioni pulsionali. Nel prossimo paragrafo, infine, esamineremo i prolungamenti genetici della teoria economica delle pulsioni.

1. Nel concetto freudiano di pulsione sono da distinguere più componenti. Il termine tedesco *Trieb* esprime anzitutto l'idea di una spinta, dunque l'idea di una carica energetica: "Ogni pulsione è un frammento d'attività" (v. Opere, vol. VIII, p. 18). Nello stesso senso si era detto poco prima che "la 'pulsione' ci appare

[...] come il rappresentante psichico degli stimoli che traggono origine dall'interno del corpo e pervengono alla psiche, come una misura delle operazioni che vengono richieste alla sfera psichica" (ibid., p. 17). Questa prima accezione raccoglie il concetto più antico di eccitamento interno e di sottomissione al principio di costanza. Una seconda componente viene introdotta - contemporaneamente alla comparsa del termine stesso *Trieb* - nei Tre saggi sulla teoria sessuale, con la prevalenza del concetto di meta su quello di oggetto: l'oggetto della pulsione è variabile, contingente, tributario dei 'destini della pulsione', mentre "la 'meta' di una pulsione è in ogni caso il soddisfacimento che può esser raggiunto soltanto sopprimendo lo stato di stimolazione alla fonte della pulsione" (ibid., p. 18). L'oggetto dev'essere dunque definito in funzione della meta e non reciprocamente: " 'Oggetto' della pulsione è ciò in relazione a cui, o mediante cui, la pulsione può raggiungere la sua meta. È elemento più variabile della pulsione, non è originariamente collegato ad essa, ma le è assegnato soltanto in forza della proprietà di rendere possibile il soddisfacimento. Non è necessariamente un oggetto estraneo, ma può essere altresì una parte del corpo del soggetto" (ibid.). Questa dialettica della meta e dell'oggetto è chiarita da Freud nei Tre saggi sulla teoria sessuale. La distinzione tra deviazione 'quanto all'oggetto' e deviazione 'quanto alla meta' domina il primo saggio. A dire il vero, non bisogna parlare di una meta, ma di più mete, perché uno degli insegnamenti della psicanalisi è precisamente questo, che le mete sono parziali, frammentarie, e che la loro integrazione, sempre precaria, si deve concepire, da un punto di vista genetico, come una fase particolare. Quanto alla fonte - terza componente della nozione di pulsione - essa è di competenza della biologia e non della psicanalisi. La fonte deve essere nondimeno presa in considerazione per collocare la pulsione stessa al limite tra il somatico e lo psichico: la pulsione è insomma un 'concetto-limite', non essendo afferrabile se non attraverso le sue mete e queste a loro volta solo attraverso le vicissitudini delle scelte oggettuali.

Il carattere postulato - e necessariamente postulato - della pulsione non è più scandaloso del carattere postulato delle altre entità teoriche della psicanalisi. Non è qui la difficoltà, ma piuttosto nello statuto stesso della pulsione, collocata tra il biologico e lo psicologico. Per mettere fine all'equivoco, Freud ha adottato una convenzione terminologica: non si parlerà affatto della pulsione in quanto tale, ma dei 'delegati' psichici che la 'rappresentano' (nel senso in cui si parla di una delega di funzioni da parte di un personaggio ufficiale a un suo rappresentante): delegati ideativi e delegati affettivi. Per render conto di questa distinzione tra i due tipi di rappresentanze della pulsione, il tedesco parla di *Vorstellungsrepräsentanz* - che l'inglese traduce con *ideational representative* -, espressione designante quelli, tra i delegati pulsionali, che sono affini ai pensieri del sogno e alle fantasie. Questa sostituzione, nel discorso psicanalitico, della funzione di *Representanz* alla funzione di 'spinta' della pulsione è ben più che una convenzione linguistica, è anche l'espressione di una confessione: la confessione che la pulsione è l'ignoto, accessibile unicamente attraverso i suoi 'destini'.

Sfortunatamente, Freud non ha elaborato quella teoria dell'espressione che potrebbe inquadrare il rapporto fra la pulsione e la sua rappresentanza.

La nozione di rappresentanza della pulsione è anche l'espressione di una convinzione positiva, e cioè che la rimozione non può esercitarsi che sulle rappresentanze psichiche della pulsione e anzi, più precisamente, sulle rappresentanze ideative; è nella rimozione originaria, postulata per le ragioni prima dette, che la rappresentanza ideativa è respinta fuori dalla coscienza andando così incontro a una fissazione. È per questo che la pulsione è inconoscibile; non c'è tecnica che consenta di risalire al di là della rimozione primaria, cui si deve nel contempo la prima iscrizione della pulsione 'nell' 'inconscio e la prima iscrizione della pulsione 'come' rappresentanza ideativa. La psicanalisi trova in questa 'iscrizione' - nel duplice senso della parola - il confine della sua competenza. È partendo di là che esistono i 'destini', i quali sono vicissitudini della pulsione nelle sue rappresentanze; anzi, ciascuno dei due tipi di rappresentanze subisce, nei processi psichici, una sorte distinta; la separazione dell'affetto dalla rappresentazione è caratteristica del meccanismo della rimozione: la sofferenza rimane nella coscienza, subendovi alterazioni sue proprie, mentre il suo contenuto rappresentativo viene a iscriversi nell'inconscio.

2. La speculazione 'sulla' pulsione non dev'essere separata dai tentativi, più vicini all'indagine clinica, di mettere ordine nel mondo 'delle' pulsioni. In verità, la psicanalisi non è attrezzata per un'indagine esaustiva del campo pulsionale. È infatti la pulsione sessuale o libido, a causa del suo ruolo capitale nei conflitti psichici, che l'eziologia delle nevrosi e l'interpretazione dei sogni conducono a isolare e a innalzare a prototipo della pulsione; ed è essa altresì che meglio attesta il prevalere della meta sull'oggetto e la variabilità delle modalità di soddisfacimento. Non si può però dedurre, da questa posizione centrale della sessualità, un pansessualismo della psicanalisi. Innanzitutto, la pulsione sessuale si esprime in attività così varie, in particolare d'ordine rappresentativo e fantastico, e così lontane dalla genitalità propriamente detta, che cessa di coincidere con la sessualità nel senso biologico del termine. Inoltre, essa si presenta in configurazioni parziali e frammentarie, che la pluralità delle zone erogene, lo svolgimento dell'atto sessuale dal piacere preliminare al godimento, le fasi successive di organizzazione e soprattutto le perversioni permettono di circoscrivere e talvolta d'isolare; l'integrazione eventuale di queste pulsioni parziali è tardiva e non raggiunge mai il tipo d'organizzazione preformata che caratterizza l'istinto negli animali.

Che ne è allora delle altre pulsioni? Freud non ha cessato di concepire le pulsioni a coppie, non senza variazioni nella rappresentazione del dualismo pulsionale. Così egli oppone dapprima pulsioni sessuali e pulsioni dell'Io o di autoconservazione, sul modello del dualismo di amore e fame; i rapporti tra i due poli sono complessi, dato che le pulsioni sessuali si appoggiano su quelle di autoconservazione prima di distaccarsene, mentre queste ultime forniscono l'energia necessaria alla difesa contro la minaccia interna proveniente dalla libido. Nel 1914, in uno studio speciale, Introduzione al narcisismo, Freud ammette che la

libido oggettuale non è tutta la libido, la quale può reinvestire l'Io disinvestendo l'oggetto. In *Lutto e melanconia* (1917) il narcisismo appare come l'interiorizzazione di relazioni anteriori alla scelta di un oggetto d'amore; all'epoca della seconda topica, l'idea di un narcisismo primario, antecedente ogni identificazione con l'oggetto, trova un sostegno nella concezione dell'Es come serbatoio d'energia. Ma la rielaborazione più completa della teoria delle pulsioni è legata all'introduzione, dopo il 1920, della pulsione di morte. Al di là del principio del piacere (1920) è il principale documento del nuovo dualismo, da cui deriva un raggruppamento di tutte le pulsioni di vita sotto il titolo mitico di Eros. Il dualismo di amore e discordia, alla maniera dei presocratici, si sostituisce a quello di amore e fame. In quest'ultima veste, il carattere non solo teorico - nel senso epistemologico del termine - ma speculativo e congetturale del concetto di pulsione si accentua. È bensì vero che della pulsione di morte, essenzialmente 'silenziosa', non mancano indizi nell'esperienza clinica: componente sadica della pulsione sessuale, masochismo primario (nel senso di tendenza autoaggressiva irriducibile), coazione a ripetere (che l'analista ritrova come reazione terapeutica negativa), ecc.; nessuna di queste manifestazioni raggiunge però la radice della pulsione di morte, nella quale Freud vede la tendenza stessa del vivente a ritornare alla stabilità inorganica. Questa tendenza a morire, per cause interne più radicali di tutte le manifestazioni cliniche, si riscontra nello stesso tempo nel carattere ripetitivo di ogni pulsione e perciò in un certo senso, in base al principio di costanza, nell'elemento pulsionale in quanto tale. La speculazione sembrerebbe qui prevalere sul metodo d'indagine e sulla tecnica terapeutica. Liberandosi dalle necessità di teorizzare l'esperienza clinica, la speculazione tende a ritornare all'espressione mitica, in un senso vicino a quello dei presocratici. Quando si tratta di dare un nome a quel che c'è al fondo di ogni pulsione, cioè all'impulso a ripristinare uno stato antecedente, bisogna mitizzare il discorso, parlare del 'principio del nirvana' e collocare la morte, l'avversaria di Eros, in un grande dramma cosmico. Questa rimitizzazione parziale del discorso non resta senza effetto sulla concezione stessa della libido; sotto il nome di Eros, la libido non appare più soltanto come la pulsione che mette in pericolo l'Io, ma come ciò che "tiene unito tutto ciò che è vivente", "ciò che preserva ogni cosa" (v. *Opere*, vol. IX, pp. 236 e 237). Può darsi, dopo tutto, che l'acquisizione più preziosa di questa speculazione sia appunto quella - nel momento stesso in cui il vivente sembra rivolto alla morte - di far apparire Eros come ciò che fronteggia la morte.

3. La nozione di 'destino' della pulsione è strettamente legata alla distinzione tra la meta e l'oggetto variabile della pulsione, come pure all'idea di una ripartizione variabile dell'energia tra l'Io e gli oggetti della pulsione. Il saggio intitolato *Pulsioni e loro destini* (1915) presenta un quadro abbastanza completo di questi destini; la rimozione, unico 'destino' considerato ne *L'interpretazione dei sogni*, si trova ora collocata tra la 'trasformazione nel contrario' e il 'volgersi sulla persona stessa del soggetto' da una parte, e la sublimazione dall'altra. Da queste vicissitudini pulsionali deriva che non soltanto l'oggetto diventa funzione della meta della pulsione, ma l'Io stesso diventa un oggetto della pulsione. In tal modo si viene a introdurre nella psicanalisi il

narcisismo, il che equivale a radicalizzare la nozione stessa di pulsione, dato che la pulsione va allora concepita come più primitiva rispetto a ogni relazione soggetto-oggetto. Inoltre, l'introduzione del narcisismo permette di comprendere gli scambi economici tra l'Io e i suoi ideali; anticipando gli scritti del periodo 1920-1924, Freud tenta una prima genesi degli ideali partendo dal narcisismo attraverso il concetto di 'Io ideale' (che non bisogna confondere con 'l'ideale dell'Io', legato alla nozione di Super-Io). Quanto alla sublimazione - quarto destino della pulsione - si avvicina all'idealizzazione, pur distinguendosene per un tratto essenziale: "La sublimazione è un processo che interessa la libido oggettuale e consiste nel volgersi della pulsione a una meta diversa e lontana dal soddisfacimento sessuale. In questo processo l'accento cade sulla deviazione rispetto alla sessualità. L'idealizzazione è un processo che ha a che fare con l'oggetto; in virtù di essa l'oggetto, pur non mutando la sua natura, viene amplificato e psichicamente elevato" (v. Opere, vol. VII, p. 464). A dire il vero, il meccanismo della sublimazione resta oscuro; Freud non gli ha dedicato alcuno scritto specifico ed esauriente: la sua trattazione resta episodica; così, nei Tre saggi sulla teoria sessuale la sublimazione è di volta in volta avvicinata a mete intermedie nella ricerca del soddisfacimento, alla fase di latenza nello sviluppo genetico, al transfert degli impulsi sessuali verso mete non sessuali; infine, essa appare come terzo esito (dei conflitti psichici) a fianco della nevrosi e della perversione. Freud non esita ad aggiungere che rimozione e sublimazione sono processi il cui "condizionamento interno ci è completamente ignoto" (v. Opere, vol. IV, p. 542). Il solo nuovo chiarimento sulla sublimazione deriva dal suo avvicinamento all'identificazione, essa stessa legata ai problemi del complesso di Edipo e del suo "sfacelo". L'abbandono della meta sessuale, richiesto dall'interiorizzazione d'un modello, è descritto nello stesso tempo come uno scambio tra l'oggetto e l'Io - la libido oggettuale mutandosi in libido narcisistica - e come desessualizzazione: "La trasformazione che [...] ha luogo della libido oggettuale in libido narcisistica implica ovviamente una rinuncia alle mete sessuali, una desessualizzazione, e quindi una specie di sublimazione. [...] E a una considerazione più approfondita si pone l'importante quesito se in via generale ogni sublimazione non si produca proprio a mezzo dell'Io: il quale dapprima trasformerebbe la libido oggettuale in libido narcisistica, per poi indicare eventualmente a quest'ultima un'altra meta" (v. Opere, vol. IX, p. 493). L'incertezza di Freud riguardo alla sublimazione è legata alle difficoltà teoriche circa l'origine del Super-Io, il quale per un verso sembra trarre, per differenziazione, tutte le sue energie dall'Es, mentre d'altra parte interiorizza un'autorità - anzitutto quella del padre - che, rispetto al campo pulsionale, si presenta come affatto esterna. La sublimazione del 'più basso' nel 'più alto' è la controparte dell'introiezione del 'fuori'. Formazione reattiva, formazione d'ideale, sublimazione sono tutte modalità diverse ma affini del compromesso dottrinale con cui Freud si sforza di ridurre il divario di principio tra un'autorità inizialmente esterna (mancando un fondamento etico intrinseco alla posizione dell'Io) e il monismo energetico dell'Es, che esige che ogni formazione d'ideale

proceda dall'Es per differenziazione. È per questo che la subumazione resta in gran parte il nome di una difficoltà piuttosto che di un'operazione economica trasparente all'analisi.

Quanto alla nozione d'identificazione, essa è strettamente solidale con il tentativo di dare un'interpretazione economica del rapporto tra le istanze della seconda topica: Es, Io, Super-Io. Il compito di una siffatta interpretazione consiste nel concettualizzare come una 'differenziazione' del fondo pulsionale ciò che era stato descritto come interiorizzazione dell'autorità. Il Super-Io viene allora trattato come il risultato di una nuova ripartizione d'energie. L'autorità vi figura come una 'varietà' del desiderio. È principalmente il "tramonto" - lo "sfacelo" - dell'Edipo che fornisce i materiali di questo riassetto pulsionale. Freud aveva già spiegato nella Introduzione al narcisismo come il narcisismo contribuisca alla formazione dell'ideale - all'idealizzazione - per differenziazione interna. Nella Psicologia delle masse e analisi dell'Io (1921) Freud aggiunge all'idealizzazione il processo d'identificazione. In questo saggio, il processo che era stato dapprima legato (in Lutto e melanconia) all'interiorizzazione dell'oggetto perduto, viene collocato nell'asse della relazione intersoggettiva: "L'identificazione è nota alla psicoanalisi come la prima manifestazione di un legame emotivo con un'altra persona" (v. Opere, vol. IX, p. 293). Inoltre, l'identificazione viene avvicinata per la prima volta al complesso di Edipo, che essa precede come, d'altronde, gli succede. C'è infatti un'identificazione primaria, che è piuttosto 'desiderio d'essere come' che 'desiderio d'avere'. È poi scontrandosi col desiderio di possedere la madre, che l'identificazione si muta in desiderio di morte; è una forma nevrotica d'identificazione, che procede dalla trasformazione regressiva della scelta oggettuale; si tratta dunque, qui, non dell'identificazione primordiale anteriore a ogni scelta oggettuale, ma di una identificazione derivata, che trae origine - regressivamente - da una scelta oggettuale narcisistica: bisogna pertanto distinguere per lo meno due specie di identificazione. Tutto queste considerazioni vengono poi integrate - ne L'Io e l'Es - in una sintesi di carattere risolutamente topico-economico, nella quale il Super-Io, dal punto di vista storico retaggio dell'autorità parentale, dal punto di vista economico deriva tutte le sue energie dall'Es.

d) Punto di vista economico e punto di vista genetico

Il punto di vista economico richiede un punto di vista complementare, quello genetico, al quale alcuni autori, come H. Hartmann, attribuiscono uno statuto autonomo.

Prima ancora di farsi un'idea precisa delle 'fasi' di organizzazione della libido, Freud s'era misurato con la 'storia', attraverso la scoperta, fatta nel corso della propria analisi, del complesso di Edipo. Ogni lettore dei primi scritti di Freud è colpito dal carattere folgorante della scoperta dell'Edipo, raggiunta, d'un tratto e globalmente, come dramma individuale 'e' come destino collettivo dell'umanità, come fatto psicologico 'e' come fonte della moralità, come origine della nevrosi 'e' come origine della cultura. Scoperto da Freud in se stesso nella sua storia personale, il complesso di Edipo ha bensì un carattere individuale, intimo, segreto; nel

contempo, però, nella filigrana della sua esperienza personale, Freud ne intravede subito il carattere generale: "Qualcosa mi dice, come se io già lo sapessi - quantunque non sappia nulla affatto - che sto per scoprire la sorgente della morale" (v. Freud, 1950; tr. it., p. 147).

L'autoanalisi svela 'l'effetto sorprendente', 'l'aspetto coattivo' della leggenda greca; a sua volta, il mito attesta la fatalità, il carattere di destino non arbitrario, che è insito nell'esperienza individuale. Forse è in questa intuizione di una coincidenza di esperienza personale e destino universale che si deve cercare la motivazione profonda di tutti i tentativi freudiani di innestare l'ontogenesi - cioè il segreto individuale - sulla filogenesi - cioè il destino universale. Orbene, che cosa mai di un segreto individuale fa un destino universale se non il passaggio attraverso l'istituzione? Il complesso di Edipo è l'incesto sognato; ora, "l'incesto è antisociale, e la civilizzazione consiste in questa progressiva rinuncia" (v. Opere, vol. II, p. 66). Così la rimozione, che appartiene alla storia del desiderio in ognuno, viene a coincidere con una delle più formidabili istituzioni culturali, la proibizione dell'incesto. Ecco dunque posto, dall'Edipo, il grande conflitto fra la civiltà e gli istinti, che Freud non cesserà di commentare da *La morale sessuale 'civile' e il nervosismo moderno* (1908) a *Totem e tabù* (1912), fino a *Il disagio della civiltà* (1930) e *Perché la guerra?* (1933). Rimozione e cultura, istituzione intrapsichica e istituzione sociale coincidono quindi in questo punto paradigmatico. L'interpretazione dei sogni ha trascritto pressappoco testualmente le grandi scoperte che le *Lettere a Fliess* ci fanno oggi conoscere, salvo il fatto che la loro portata - ai fini di una teoria della personalità - resta dissimulata dal trattamento del complesso di Edipo come semplice tema onirico, relegato tra gli esempi di sogni di morte di persone care; l'"energica e universale efficacia" della leggenda "riesce comprensibile soltanto ammettendo un'analogia validità generale delle premesse [...] tratte dalla psicologia infantile" (v. Opere, vol. III, pp. 242-243); e poco oltre: "La favola di Edipo è la reazione della fantasia a questi due sogni tipici [di rapporti sessuali con la madre e di morte del padre] e, nello stesso modo in cui i sogni di adulti sono vissuti con sentimenti di rifiuto, così la leggenda deve accogliere nel suo contenuto anche orrore e autopunizione" (ibid., p. 245).

Nella linea ontogenetica, i *Tre saggi sulla teoria sessuale* forniscono la trama tipica di una strutturazione della sessualità in fasi successive, dove il complesso di Edipo viene a trovare il suo posto originario.

Più che questa o quella tesi particolare riguardante le 'aberrazioni sessuali', 'la sessualità infantile' o le 'trasformazioni della pubertà' (sono questi i titoli dei tre saggi), ciò che questo breve lavoro ha voluto mostrare è essenzialmente il peso della 'preistoria' nella storia sessuale dell'uomo. Preistoria in qualche modo cancellata da una non casuale amnesia; soppresso il divieto che ci impedisce l'accesso alla sessualità infantile, grandi e terribili verità si fanno avanti: l'esistenza stessa della sessualità infantile, la sua struttura polimorfa e la sua costituzione potenzialmente perversa; l'incesto infantile, presupposto dal complesso di Edipo, non è che un caso particolare di questo tema generale. L'interpretazione del complesso di Edipo deve inoltre ai *Tre saggi* la prima elaborazione particolareggiata delle fasi e delle organizzazioni successive della libido. Questo tema

genetico è il complemento indispensabile del tema strutturale; le edizioni successive dei Tre saggi, in particolare quelle del 1915 e del 1923, lo differenzieranno progressivamente, sino a distinguere, prima dell'instaurazione della fase propriamente genitale, una fase orale, poi sadico- anale e quindi fallica; è sull'organizzazione fallica che viene a cadere la minaccia di evirazione, il che permetterà di spiegare nel 1924 la dissoluzione dell'Edipo sia con la minaccia di evirazione che con il difetto d'organizzazione e di maturazione della fase corrispondente. Inoltre, insistendo sulla "predisposizione uniforme verso tutte le perversioni", nella quale "è definitivamente impossibile non riconoscere qualche cosa di universalmente umano e originario" (v. Opere, vol. IV, p. 500), i Tre saggi svelano perché l'istituzione provochi necessariamente sofferenze: l'uomo non si educa se non rinunciando a una organizzazione arcaica, abbandonando oggetti e mete sorpassati; l'istituzione è la contropartita della struttura 'perverso-polimorfa'. È questa la ragione per la quale l'essere umano non può vivere l'ingresso nella cultura che in modo conflittuale. Su questo sfondo oscuro si staglia il dramma edipico. Perché questa crisi è più importante delle altre, così importante che Freud le attribuisce nello stesso tempo, e a titolo quasi esclusivo, l'ingresso nella nevrosi e l'ingresso nella cultura? Tra tutti gli episodi caratterizzati dalla perdita di qualche oggetto libidico, la vicenda edipica è quella che comporta una dimensione culturale: "Il rispetto di questa barriera [l'incesto] è prima di tutto un'esigenza civile della società, che deve difendersi contro il pericolo che gli interessi di cui ha bisogno per instaurare superiori unità sociali vengano assorbiti dalla famiglia, e perciò agisce con tutti i mezzi onde allentare in ogni individuo, specialmente nell'adolescente, il legame familiare che nell'infanzia era il solo decisivo" (ibid., p. 530). Il divieto dell'incesto appare così come un'acquisizione di civiltà che, ove non sia già inscritta nell'eredità genetica, ciascun individuo deve assimilare. La spiegazione della sua origine è dunque rinviata dalla psicologia all'etnologia.

A questa linea interpretativa ontogenetica corrisponde una linea filogenetica. Nei due primi capitoli di Totem e tabù si trova un tentativo di spiegazione psicanalitica del fenomeno del tabù, quale viene descritto dagli etnologi all'inizio del secolo. Freud afferma che il selvaggio è il testimone tardivo di una fase anteriore del nostro stesso sviluppo, sicché la sua vita ci offre un'illustrazione della nostra preistoria; afferma inoltre che, per la sua grande ambivalenza affettiva, il selvaggio è il fratello del nevrotico. È in questo quadro di un'etnopsicologia abbastanza antiquata che Freud affronta il nocciolo del problema, cioè il divieto dell'incesto. Lo strumento di questo divieto è la famosa legge dell'esogamia, esposta da Frazer in Totemism and exogamy, che proibisce il matrimonio tra membri di uno stesso clan totemico. La psicanalisi si limita qui a gettare sulla paura dell'incesto la luce della nevrosi. È il tema incestuoso della nevrosi che fornisce il filo conduttore. La fobia dell'incesto, presso i selvaggi, reca soltanto la conferma, da parte dell'etnologia, di questo complesso centrale, oggi perduto nell'inconscio. Quanto all'origine dell'istituzione stessa, Freud tenta di spiegarla postulando, nei tempi primordiali, un complesso di Edipo 'reale', un parricidio originario di cui tutta la storia

culturale porterebbe la cicatrice. Non entreremo certo qui nell'esposizione di questo 'mito scientifico', che occupa l'ultimo capitolo di Totem e tabù. È difficile sottrarsi all'impressione che sia stato il complesso di Edipo, decifrato nel sogno e nella nevrosi, che ha permesso di scegliere, tra i materiali etnologici disponibili, quelli che permettevano di ricostruire un complesso di Edipo collettivo dell'umanità e di concepirlo alla maniera di un avvenimento reale sopravvenuto all'origine della storia. L'interpretazione psicanalitica del complesso di Edipo si è così trovata proiettata in un' 'archeologia realistica'; essa contempla se stessa in un'interpretazione letterale del totemismo. Questa interpretazione lascia, d'altra parte, intatta la maggiore difficoltà, come cioè da un 'parricidio' sia potuto scaturire il divieto del 'fratricidio'; a questo proposito Freud scrive: "garantendosi reciprocamente la vita, i fratelli affermano che nessuno di loro può venir trattato da un altro fratello come il padre è stato trattato dai fratelli tutti insieme. Escludono una ripetizione del destino paterno. Al divieto, fondato sulla religione, di uccidere il totem, si aggiunge ora il divieto, fondato sul sentimento sociale, del fratricidio" (v. Opere, vol. VII, p. 149). Con questa rinuncia alla violenza sotto la minaccia della discordia, si ha tutto quello che è necessario alla nascita dell'istituzione; con il 'patto dei figli' Freud ha scoperto il vero requisito di una spiegazione analitica, risolvendo quello che era stato il problema di Hobbes, di Spinoza, di Rousseau, di Hegel, ossia la trasformazione della 'guerra' in 'diritto'. Rimane la questione di sapere se questa trasformazione sia ancora di pertinenza di un'economia del desiderio. Torneremo su questo problema nel prossimo capitolo.

La scoperta del processo d'identificazione, in rapporto dapprima con la questione del narcisismo, poi con quella del Super-Io, doveva permettere d'introdurre una nuova fase nella costituzione della personalità, in particolare sotto il suo aspetto morale: "Poiché [il Super-Io] risale essenzialmente all'influsso dei genitori, degli educatori e così via, il suo significato risulterà ancora più chiaro se ci rivolgiamo a queste sue radici". Quest'asserzione, tratta dalle Nuove lezioni (v. Opere, vol. XI, p. 179), esprime bene la funzione della spiegazione genetica in una concezione antropologica che si presenta come una varietà di evolucionismo morale. In una tale concezione, altro non è in giuoco se non il confronto dell'autorità esterna con la pulsione. Sui meccanismi d'idealizzazione dell'Io, d'interiorizzazione dell'autorità e soprattutto d'identificazione grava dunque l'intero peso della genesi della personalità etica. E sull'insieme di questi processi che s'innestano i processi descritti ne Il tramonto del complesso edipico, scritto un anno dopo L'Io e l'Es (Opere, vol. X, pp. 27-33). Se è vero che il Super-Io è il suo erede, lo "sfacelo" del complesso edipico e il conseguente abbandono degli investimenti oggettuali incestuosi assumono un rilievo decisivo. È infatti grazie a questo smantellamento che l'investimento oggettuale incestuoso viene abbandonato e sostituito dall'identificazione. Ormai il Super-Io, attingendo alla severità del padre e perpetuando all'interno dell'Io il divieto dell'incesto, è in grado di opporsi al resto dell'Io, il quale viene d'altra parte garantito contro il ritorno dell'investimento libidico incestuoso

appunto dalla minaccia del Super-Io. Lo "sfacelo" dell'Edipo, infine, permette di ravvicinare, fino a un certo punto, gli effetti della rimozione e quelli della sublimazione.

Sono questi i successivi tentativi freudiani di dare un prolungamento genetico alla spiegazione economica. Ma in tal modo e nello stesso tempo la psicanalisi è costretta a ricorrere a diverse congetture circa l'evoluzione dell'umanità e la storia delle sue istituzioni. Viene posto, così, il problema dei rapporti della psicanalisi con una teoria della cultura.

5. Interpretazioni della cultura

Nella nostra esposizione ci siamo deliberatamente mantenuti entro i limiti fissati da una definizione di psicanalisi tratta dallo stesso Freud. Metodo d'indagine, procedimento terapeutico, teoria metapsicologica: questa è la psicanalisi; nessuna di queste tre componenti, presa separatamente, è tuttavia la psicanalisi. Questa solidarietà fra i tre aspetti della teoria psicanalitica ci induce a interrogarci sul posto che occupano, nel campo della psicanalisi, le speculazioni sull'arte, sulla morale e sulla religione, nelle quali le considerazioni psicologiche non sono più sostenute dal metodo d'indagine, né soprattutto da un'applicazione della tecnica terapeutica fondata sul trattamento delle resistenze e del transfert. La questione sembra tanto più imbarazzante in quanto gli scritti sull'arte, sulla morale e sulla religione non sono affatto ampliamenti tardivi del campo psicanalitico. Certo, tutti i grandi testi sulla cultura - *L'avvenire di un'illusione* (1927), *Il disagio della civiltà* (1920), *L'uomo Mosé e la religione monoteistica: tre saggi* (1934-1938) - sono tardi; ma fin dall'inizio, accanto agli scritti propriamente psicanalitici, compaiono numerosi saggi che segnano l'intrusione della psicanalisi nel dominio della sociologia della cultura. Senza dubbio, è allo scoperta del complesso di Edipo che bisogna risalire per far emergere la prima connessione tra la psicanalisi e una teoria generale della cultura. Come si è detto sopra, questa scoperta conduce nello stesso tempo all'interpretazione di un sogno personale e di un mito collettivo. Fin dall'inizio, la psicanalisi è insieme una teoria della nevrosi e una teoria della cultura. Ne risulta che l'estensione della spiegazione psicanalitica a fenomeni quali l'arte, l'etica e la religione è perfettamente legittima; ma, ad onta del buon fondamento teorico, la sua applicazione si trova nondimeno assoggettata a una duplice limitazione. Anzitutto, in mancanza di un controllo attraverso il metodo d'indagine e la stessa tecnica analitica, l'applicazione della psicanalisi ai fenomeni culturali è condannata fin dall'inizio a restare congetturale: è soltanto in virtù della loro analogia con sintomi e fantasie che fenomeni appartenenti alla sfera della cultura - quali un'opera d'arte, ideali etici, miti e rappresentazioni religiose - cadono sotto la competenza della psicanalisi; in secondo luogo, la spiegazione psicanalitica di questi grandi fenomeni culturali non soltanto ha natura congetturale, ma risulta parziale, e ciò proprio in virtù dell'origine clinica dei suoi modelli. Certamente, la competenza della psicanalisi non conosce alcun limite quanto al suo oggetto: niente di

ciò che è umano le è estraneo, poiché niente di ciò che è umano sfugge alla dialettica del desiderio e del divieto; ma tutto quel che è umano non può figurare nel suo campo se non sotto l'angolazione di una semantica del desiderio, cioè dal punto di vista di un bilancio dei fenomeni culturali in termini di piacere e dispiacere. Per vocazione, la psicanalisi vuol conoscere tutto, ma sotto l'angolazione limitata del costo economico dei fenomeni che entrano nel suo campo.

Questa duplice limitazione, lungi dal fornire motivi per la confutazione dei tentativi di spiegazione psicanalitica dei fenomeni culturali, ne sottolinea piuttosto il carattere peculiare e insostituibile.

La specificità della spiegazione psicanalitica, corrispondente al suo carattere semplicemente analogico e alla limitazione del suo punto di vista, appare chiaramente nella definizione stessa della cultura, presa nella sua globalità. L'avvenire di un'illusione comincia con un'interpretazione economica; la cultura vi è definita attraverso la sua triplice funzione: alleviare il peso dei sacrifici istintuali imposti agli uomini, riconciliarli con le rinunce ineluttabili, offrire agli individui delle compensazioni per questi sacrifici. Allo stesso modo, il disagio della civiltà stabilisce il bilancio di piacere e dispiacere che spiega l'irrimediabile insoddisfazione che sembra accompagnare la vita della cultura. La distinzione tra pulsioni di vita e pulsioni di morte, introdotta dall'ultima teoria delle pulsioni, trova qui una delle sue più brillanti applicazioni; infatti, di fronte all'ostilità primordiale dell'uomo nei riguardi dell'uomo, la "civiltà domina [...] dunque il pericoloso desiderio di aggressione dell'individuo in fiaccandolo, disarmandolo e facendolo sorvegliare da una istanza al suo interno, come da una guarnigione nella città conquistata" (v. Opere, vol. X, pp. 610-611). La civiltà appare allora come un fragile compromesso tra Eros, che "preserva ogni cosa", e i mezzi con i quali la società tiene in scacco la pulsione aggressiva.

È in questo quadro generale che si può ricollocare la valutazione dei fenomeni estetici, etici e religiosi.

La spiegazione dei fenomeni estetici si sviluppa nell'estensione della teoria della fantasia, del sogno a occhi aperti, del motto di spirito. Il legame tra la tecnica formale dell'opera d'arte e la produzione di un profitto di piacere costituisce il filo conduttore dell'estetica analitica. Il Mosè di Michelangelo (1914) e Un ricordo d'infanzia di Leonardo da Vinci (1910) sono a questo riguardo le illustrazioni meglio riuscite del metodo. L'interpretazione del capolavoro di Michelangelo è condotta alla maniera dell'interpretazione di un sogno, partendo dai particolari, in modo da far apparire, nella postura e nel gesto, una formazione di compromesso tra più flussi di pensiero. Allo stesso modo, le opere di Leonardo sono trattate come il sintomo di inibizioni, persino di perversioni, ma anche di sublimazioni della libido nella curiosità: "Forse Leonardo ha superato con la forza dell'arte l'infelicità della sua vita amorosa, creando queste figure in cui la beata fusione della natura maschile con quella femminile rappresenta l'appagamento dei desideri del fanciullo infatuato della propria madre" (v. Opere, vol. VI, p. 258). L'opera d'arte appare così nello stesso tempo come sintomo del conflitto e come avvio alla sua cura. È per la sua duplice funzione economica che l'arte è così altamente apprezzata da

Freud. D'altro canto, è facile rendersi conto di come la fecondità dell'interpretazione sia inseparabile dal suo carattere congetturale e ristretto.

Lo stesso approccio 'economico' spiega la posizione di Freud riguardo ai fenomeni morali; Totem e tabù non esita a spiegare allo stesso modo il divieto dell'incesto e il funzionamento del divieto nella nevrosi ossessiva. Più tardi, all'epoca della seconda topica, le funzioni del Super-Io - autosservazione, coscienza morale e ideale dell'Io - sono avvicinate ai fenomeni patologici della nevrosi ossessiva e della melanconia: la sua natura analogica condanna la spiegazione psicanalitica a raggiungere l'etica dal suo lato 'quasi nevrotico'.

Nondimeno, il carattere strutturante dell'Edipo, il ruolo positivo dell'identificazione, i fenomeni di costituzione e di rafforzamento dell'Io legati allo "sfacelo" del complesso di Edipo tendono a provare che i rapporti fra Super-Io e Io non sono tutti di natura patogena e che l'Io non potrebbe emergere dall'Es senza la mediazione del Super-Io. L'insegnamento più prezioso della psicanalisi per la riflessione morale risiede senza dubbio nel fatto di dirigere l'attenzione da una parte su ciò che abbiamo chiamato sopra la patologia del dovere e, dall'altra, sulla funzione strutturante di un complesso di Edipo felicemente risolto.

L'interpretazione psicanalitica della religione è ancor meno di quella dei fenomeni morali suscettibile di un apprezzamento favorevole. L'approccio analogico ai fenomeni religiosi parte sia dalla nevrosi ossessiva, sia dalla melanconia, sia dalla paranoia. Il primo raffronto tende a mettere l'accento sull'affinità tra "azioni ossessive" e "pratiche religiose" (1907): "la nevrosi ossessiva non è che la caricatura, per metà comica e per metà tragica, di una religione privata" (v. Opere, vol. V, p. 343); il secondo raffronto sottolinea, in L'avvenire di un'illusione (1927), l'affinità con l'illusione e la fantasia: "Caratteristico dell'illusione è il suo derivare dai desideri umani [...]. Diciamo dunque che una credenza è un'illusione qualora nella sua motivazione prevalga l'appagamento di desiderio, e prescindiamo perciò dal suo rapporto con la realtà, proprio come l'illusione stessa rinuncia alla propria convalida" (v. Opere, vol. X, p. 461); il terzo raffronto, infine, mostra un'affinità tra la credenza religiosa e la formazione dei sintomi per proiezione, secondo il modello proposto dal 'caso Schreber' (Osservazioni psicoanalitiche su un caso di paranoia, 1911). Si è visto sopra quale sostegno Freud abbia cercato nell'etnologia (Totem e tabù) e poi nella storia delle religioni (L'uomo Mosé e la religione monoteistica) per stabilire la realtà di un assassinio la cui vittima sarebbe stata il padre primordiale, nella memoria del quale gli uomini tenterebbero incessantemente di riconciliarsi. Un complesso di Edipo collettivo sarebbe così all'origine dei fenomeni religiosi, e l'assassinio del profeta sarebbe un anello importante nella trasmissione del complesso: "L'uccisione di Mosé ad opera del suo popolo ebraico [...] diviene così un pezzo indispensabile della nostra costruzione, un importante anello di congiunzione tra l'evento dimenticato dei primordi e il suo più tardo riapparire in forma di religione monoteistica" (v. Opere, XI, p. 411). Mai come in questo caso appare più chiaramente come l'acutezza delle idee di Freud sulla religione sia inseparabile dal carattere congetturale delle analogie e dalla ristrettezza del punto di vista economico, il che non rende peraltro

l'apporto della psicanalisi meno interessante. La relazione della religione con il desiderio e con la paura è certamente un tema vecchio; quel che è proprio della psicanalisi è la sua decifrazione come una relazione dissimulata e il rapportare questa decifrazione a un'economia del desiderio. Quel che è in causa non è la verità del fondamento, ma la funzione delle rappresentazioni religiose nel bilancio di rinunce e di soddisfazioni attraverso cui l'uomo tenta di rendere sopportabile la sua 'dura' vita. In quest'impresa non soltanto legittima ma necessaria la psicanalisi non si comporta affatto come una varietà di razionalismo; essa esercita una sua funzione peculiare. Per ognuno rimane poi il problema di sapere se la distruzione degli idoli è totale; ma questo problema non appartiene più alla psicanalisi.

6. Considerazioni conclusive

Il vero contributo della psicanalisi alla cultura contemporanea non consiste, forse, nella sua interpretazione dei fenomeni fondamentali della cultura, ma nell'atteggiamento etico connesso con la psicanalisi in quanto metodo d'indagine, tecnica terapeutica e teoria fondamentale. Quest'atteggiamento sembra dapprima puramente riduttivo di tutto ciò che la filosofia chiama 'valori'. La spiegazione economica del fenomeno culturale induce la psicanalisi a smascherare le falsificazioni del desiderio che riguardano la vita 'superiore' dell'uomo. La forza della psicanalisi è quella del 'sospetto', non quella della giustificazione, della legittimazione, ancor meno quella della prescrizione. In un senso vicino a Nietzsche e alla sua Genealogia della morale, l'esplorazione degli arcaismi della coscienza morale rivela che l'uomo è anzitutto accusato a torto. Per questo è vano chiedere alla psicanalisi un'etica senza aver prima mutato la posizione della coscienza morale nei riguardi di se stessa. Ma il significato etico della psicanalisi non si esaurisce né nella neutralità né nel 'sospetto' dell'analista. La situazione analitica, che è in definitiva la pietra di paragone di tutte le interpretazioni, mette in gioco un valore, e uno solo, in cui l'etica della psicanalisi si riassume: la 'sincerità'. Se la psicanalisi è una tecnica, essa non s'inserisce nel ciclo del dominio; è una tecnica della sincerità: la sua posta è il riconoscimento di se stessi, e il suo itinerario va dal misconoscimento al riconoscimento. A questo riguardo, essa trova il suo modello nell'Edipo re di Sofocle.

Bibliografia

Adler, A., *Über den nervösen Charakter. Grundzüge einer vergleichenden Individualpsychologie und Psychotherapie*, Wiesbaden 1912 (tr. it.: *Il temperamento nervoso*, Roma 1971).

Adler, A., *Die Technik der Individualpsychologie*, 2 voll., München 1928.

- Adler, A., *Praxis und Theorie der Individualpsychologie*, München 19304 (tr. it.: *Prassi e teoria della psicologia individuale*, Roma 1967).
- Amado Levy-Valensi, E., *Les rapports intersubjectifs en psychanalyse*, Paris 1962.
- Anzieu, D., *L'auto-analyse de Freud et la découverte de la psychanalyse*, Paris 1959 (tr. it.: *L'autoanalisi di Freud e la scoperta della psicoanalisi*, 2 voll., Roma 1976).
- Balint, M., *Early developmental states of the Ego. Primary object-love*, London 1952.
- Bettelheim, H., *Symbolic wounds*, New York 1954 (tr. it.: *Ferite simboliche*, Firenze 1973).
- Brown, N. O., *Eros and Thanatos. Life against death*, Middletown, Conn., 1959 (tr. it.: *La vita contro la morte. Il significato psicanalitico della storia*, Milano 19782).
- Dalbiez, R., *La méthode psychanalytique et la doctrine freudienne*, Paris 1936.
- Dolto, F., *Psychanalyse et pédiatrie*, Paris 1970 (tr. it.: *Psicanalisi e pediatria*, Milano 1973).
- Erikson, E., *Young man Luther. A study in psychoanalysis and history*, New York 1958 (tr. it.: *Il giovane Lutero. Studio storico-psicanalitico*, Roma 1967).
- Erikson, E., *Insight and responsibility*, New York 1964 (tr. it.: *Introspezione e responsabilità*, Roma 1968).
- Ey, H., *La conscience*, Paris 19682.
- Fairbairn, W. R., *Psychoanalytic studies of the personality*, London 1952 (tr. it.: *Studi psicanalitici sulla personalità*, Torino 1970).
- Feigl, H., Scriven, M. (a cura di), *Foundations of science and the concepts of psychology and psychoanalysis*, in *Minnesota studies in the philosophy of science*, vol. I, Oxford 1957.
- Fenichel, O., *The psychoanalytical theory of neurosis*, New York 1945 (tr. it.: *Trattato di psicoanalisi delle nevrosi e delle psicosi*, Roma 1951).
- Ferenczi, S., *Thalassa. A theory of genitality*, New York 1938 (tr. it.: *Thalassa. Psicanalisi delle origini della vita sessuale*, Roma 1965).
- Ferenczi, S., *Final contributions to the problems and methods of psychoanalysis*, London 1955.
- Fine, R., *Freud, a critical re-evaluation of his theories*, London 1963 (tr. it.: *Freud: riesame critico delle sue teorie*, Roma 1965).
- Flugel, J. C., *Man, moral and society. A psychoanalytical study*, London 1945.
- Fodor, J. A., *Psychological explanation*, New York 1968.
- Freud, A., *The Ego and the mechanisms of defence*, London 1937 (tr. it.: *L'Io e i meccanismi di difesa*, Firenze 1967).
- Freud, S., *Gesammelte Werke* (a cura di A. Freud ed E. Bibring), 18 voll., London 1940 ss.; *The standard edition of the complete psychological works of Sigmund Freud* (a cura di E. Strachey), 24 voll., London 1953 ss. (tr. it.: *Opere*, a cura di C. Musatti, 11 voll., Torino 1967-1979).

- Freud, S., *Aus den Anfängen der Psychoanalyse. Briefe an Wilhelm Fliess 1887-1902*, London 1950 (tr. it.: *Le origini della psicoanalisi. Lettere a Wilhelm Fliess 1887-1902*, Torino 19682).
- Freud, S., Pfister, O., *Sigmund Freud-Oskar Pfister: Briefe 1909-1939*, Frankfurt a. M. 1963 (tr. it.: *Sigmund Freud. Psicanalisi e fede: carteggio col pastore Pfister 1909-1939*, Torino 1970).
- Hartmann, H., *Ich-Psychologie und Anpassungsproblem (1939)*, Stuttgart 1960 (tr. it.: *Psicologia dell'Io e problema dell'adattamento*, Torino 1966).
- Hesnard, A., *L'oeuvre de Freud et son importance pour le monde moderne*, Paris 1960 (tr. it.: *L'opera di Freud*, Firenze 1971).
- Hook, S. (a cura di), *Psychoanalysis, scientific method and philosophy*, New York 1959 (tr. it.: *Psicoanalisi e metodo scientifico*, Torino 1967).
- Horney, K., *The neurotic personality of our time*, London 1937.
- Huber, W., Piron, H., Vergote, A., *La psychanalyse science de l'homme*, Bruxelles 1964.
- Jones, E., *Papers on psychoanalysis*, London 1912, 19485.
- Jones, E., *Sigmund Freud: life and work*, 3 voll., London 1953-1957 (tr. it.: *Vita e opere di Freud*, 3 voll., Milano 1977).
- Jung, C. G., *Wandlungen und Symbole der Libido*, Leipzig-Wien 1912, 19382 (tr. it.: *Simboli della trasformazione*, in *Opere*, a cura di L. Aurigemma, vol. V, Torino 1970).
- Jung, C. G., *Psychologische Typen*, Zürich 1921 (tr. it.: *Tipi psicologici*, in *Opere*, a cura di L. Aurigemma, vol. VI, Torino 1969).
- Jung, C. G., *Archetypen des kollektiven Unbewussten*, München 1935 (tr. it.: *Gli archetipi dell'inconscio collettivo*, Torino 1973).
- Kris, E., *Psychoanalytic explorations in art*, New York 1952 (tr. it.: *Ricerche psicanalitiche sull'arte*, Torino 1967).
- Kroeber, A. L., *An ethnologic psychoanalysis*, in "American anthropologist", 1920, XXII.
- Kroeber, A. L., *Totem and taboo in retrospect*, in "American journal of sociology", 1939, XLV.
- Lacan, J., *Écrits*, Paris 1966 (tr. it.: *Scritti*, Torino 1975).
- Lagache, D., *L'unité de la psychologie*, Paris 1949.
- Lagache, D., *La psychanalyse*, Paris 1964.
- Laing, R. D., *The divided self: a study of sanity and madness*, London 1959 (tr. it.: *L'io diviso*, Torino 1969).
- Laplanche, J., *Hölderlin et la question du Père*, Paris 1961.
- Laplanche, J., *Vie et mort de la psychanalyse*, Paris 1970 (tr. it.: *Vita e morte nella psicanalisi*, Bari 1972).
- Laplanche, J., Pontalis, J. B., *Fantasme originaire, fantasme des origines, origine du fantasme*, in "Les temps modernes", aprile 1964, pp. 1833-1868.

Laplanche, J., Pontalis, J. B., Vocabulaire de la psychanalyse, Paris 1967 (tr. it.: Enciclopedia della psicanalisi, Bari 19742).

Lévi-Strauss, Cl., Les structures élémentaires de la parenté, Paris 1949 (tr. it.: Le strutture elementari della parentela, Milano 1969).

Lorenzer, A., Sprachzerstörung und Rekonstruktion. Vorarbeiten zu einer Metatheorie der Psychoanalyses, Frankfurt a. M. 1970 (tr. it.: Crisi del linguaggio e psicanalisi, Bari 1975).

Macdonald, M. (a cura di), Philosophy and analysis, Oxford 1954.

Macintyre, A. C., The unconscious, London 1957.

Madison, P., Freud's concept of repression and defence, its theoretical and observational language, Minneapolis 1961.

Malinowski, B., Sex and repression in savage society, London 1972 (tr. it.: Sesso e repressione sessuale tra i selvaggi, Torino 1966).

Mannoni, M., Le psychiatre, son 'fou' et la psychanalyse, Paris 1970 (tr. it.: Lo psichiatra, il suo 'pazzo' e la psicanalisi, Milano 1972).

Marcuse, H., Eros and civilisation. A philosophical inquiry into Freud, Boston 1955 (tr. it.: Eros e civiltà, Torino 1964).

Moscovici, S., La psychanalyse, son image et son publique, Paris 1961.

Nacht, S., De la pratique à la théorie psychanalytique, Paris 1950.

Nacht, S., La présence du psychanaliste, Paris 1963 (tr. it.: La presenza dello psicanalista, Roma 1973).

Nacht, S., Traité de psychanalyse, Paris 1965.

Peters, R. S., The concept of motivation, London 1957.

Pontalis, J. B., Après Freud, Paris 1955 (tr. it.: Dopo Freud, Milano 1973).

Pumpian-Mindlin, E. (a cura di), Psychoanalysis as science, Stanford 1952.

Rapaport, D., Organisation and pathology of thought, New York 1951.

Rapaport, D., The structure of psychoanalytic theory (a systematic attempt), in Psychology. A study of a science (a cura di S. Koch), vol. III, New York 1958 (tr. it.: Struttura della teoria psicoanalitica, Torino 19732).

Ricoeur, P., De l'interprétation. Essai sur Freud, Paris 1965 (tr. it.: Dell'interpretazione. Saggio su Freud, Milano 1967).

Rieff, Ph., Freud. The mind of moralist, London 1960.

Robert, M., La révolution psychanalytique, Paris 1964 (tr. it.: La rivoluzione psicanalitica, Torino 1967).

Safouan, M., La structure en psychanalyse, contribution à une théorie du manque, in Qu'est-ce que le structuralisme?, Paris 1968.

Sartre, J.-P., l'être et le néant, Paris 1945 (tr. it.: L'essere e il nulla, Milano 1964).

Sherwood, M., *The logic of explanation in psychoanalysis*, New York-London 1969.

Skinner, B. F., *Science and human behavior*, New York 1953.

Waelhens, A. de, *Existence et signification*, Louvain 1958.

Waelhens, A. de, *La philosophie et les expériences naturelles*, den Haag 1961.

Il movimento psicanalitico di Silvano Arieti

Sommario: 1. La scuola freudiana classica: a) concetti generali; b) pulsioni istintuali e teoria della libido; c) l'Es e il processo primario; d) i sogni; e) l'Io e le difese; f) il Super-Io e il complesso di Edipo; g) latenza e adolescenza; h) la terapia; i) sviluppi della psicanalisi postfreudiana; l) influssi su altri rami della psichiatria; m) scambi culturali fra la psicanalisi freudiana e altri campi. □ 2. I primi scissionisti: a) Carl G. Jung; b) Alfred Adler; c) Otto Rank. □ 3. Le scuole britanniche: a) Melanie Klein; b) Donald Fairbairn. □ 4. Le scuole neofreudiane americane: a) l'indirizzo interpersonale di Harry Stack Sullivan; b) l'indirizzo culturale di Erich Fromm; c) l'indirizzo olistico di Karen Horney.

1. La scuola freudiana classica

a) Concetti generali

La psicanalisi è un metodo scoperto da Sigmund Freud per l'esplorazione della mente umana e il trattamento della malattia mentale, che differisce da altri metodi psicologici e psichiatrici in quanto si occupa in particolare di processi inconsci e si vale di tecniche speciali, quali le libere associazioni e l'interpretazione.

Il concetto di inconscio è rimasto quello fondamentale dei primi studi psicanalitici di Freud. Egli rifiutò l'idea sostenuta dalla maggior parte dei filosofi e degli psicologi che la coscienza fosse un presupposto necessario dei fenomeni psicologici, e riuscì a dimostrare che i fenomeni inconsci si potevano trasformare in fenomeni coscienti, avanzando l'ipotesi che alcuni desideri siano mantenuti allo stato inconscio dalla rimozione.

Le due date iniziali, d'importanza fondamentale nella storia della psicanalisi, sono il 1895 e il 1900, quando apparvero due libri di Freud che formarono la base della nuova scienza: nel 1895 gli *Studi sull'isteria*, scritti in collaborazione con Breuer, e nel 1900 *L'interpretazione dei sogni*. In realtà, per il lavoro compiuto negli anni fra il 1880 e il 1882, Breuer, un medico viennese vissuto dal 1842 al 1925, va considerato il precursore della psicanalisi. Egli credeva che i sintomi presentati da una paziente isterica fossero il risultato di stimoli cui era stata sottoposta quando curava il padre malato. Mentre la paziente si trovava in stato d'ipnosi, Breuer le fece ritrovare il nesso fra la situazione originaria col padre e i sintomi. Una volta stabilito questo nesso, i sintomi

scomparvero. Breuer non proseguì nei suoi studi fino al momento della sua collaborazione con Freud nella stesura del libro ricordato.

I concetti fondamentali delle teorie successive sono già espressi in questo libro. Il processo mentale iniziale, che dà origine al sintomo, subisce la 'rimozione' dalla coscienza e la 'conversione' in un sintomo somatico. Il sintomo isterico è pertanto un sostituto di ciò che è stato rimosso dalla coscienza. La guarigione si verifica soltanto mediante il processo dell' 'abreazione', per mezzo della quale l'energia dell'atto mentale rimosso trova una normale via di scarica. L'intero processo venne chiamato col termine aristotelico di 'catarsi', intendendo con ciò la liberazione o la purificazione della psiche da quanto in precedenza le causava disturbo. Ben presto Freud scoprì che il legame affettivo tra medico e paziente era molto importante nel determinare la catarsi. Egli inoltre sostituì l'ipnosi col metodo delle libere associazioni.

La psicanalisi fu dapprima studiata e praticata allo scopo di alleviare alcuni disturbi mentali. Freud scrisse che non si doveva considerarla una panacea per tutti i disturbi psichici, bensì un trattamento per alcune psiconevrosi quali l'isteria, le fobie e gli stati ossessivi. Egli aggiunse che essa poteva dare risultati favorevoli anche in forme quali i disturbi del carattere, le difficoltà sessuali e la depressione. Mise invece in dubbio il suo effetto terapeutico sulla schizofrenia e la paranoia, pur prevedendo esattamente che alcune modificazioni nella tecnica avrebbero in futuro permesso l'applicazione del trattamento psicanalitico alle psicosi. La psicanalisi si estese ben presto oltre i confini della psichiatria ed entrò a far parte del campo più vasto della psicologia.

Mentre le scuole precedenti di psicologia e psichiatria si occupavano soltanto di ciò che era cosciente, e soprattutto del comportamento esteriore, la psicanalisi si occupò prevalentemente, benché non esclusivamente, dei meccanismi inconsci e di ciò che viene denominato realtà psichica. Pertanto, nel momento stesso in cui essa apriva nuove prospettive, dava meno importanza ad altri aspetti tradizionali della ricerca scientifica, per esempio al riferimento quasi esclusivo a dati quantitativi e oggettivi. La psicanalisi, più di altri indirizzi psicologici precedenti, vede ogni processo mentale come il risultato di una serie longitudinale di fattori, i più importanti dei quali si verificano nell'infanzia. Pertanto, ogni funzione psichica va studiata non isolatamente o secondo una sezione trasversale, bensì secondo uno schema di riferimento storico, in cui la storia è rappresentata dallo sviluppo ontogenetico dell'individuo. Inoltre, la psicanalisi attribuisce al 'conflitto' una particolare importanza nella vita dell'individuo, sia nella normalità che nella psicopatologia. Molte funzioni psicologiche, quando vengono studiate dalla psicanalisi, si rivelano espressioni di conflitti o di compromessi creati per far fronte a dei conflitti che, secondo la psicanalisi classica, hanno origine per la maggior parte nell'infanzia e riguardano la vita sessuale.

Esporremo ora alcuni dei fatti più importanti della storia della psicanalisi classica.

Sigmund Freud nacque a Freiburg, in Moravia, il 6 maggio 1856, e vi trascorse i primi quattro anni della sua vita. Egli visse poi sempre a Vienna, eccetto un breve periodo a Parigi e l'ultimo anno della sua vita a Londra.

Nacque da famiglia ebrea, in un'atmosfera culturale in cui si fondevano la componente ebraica e quella mitteleuropea dell'impero austroungarico degli Asburgo. Poco dopo la pubblicazione dei due libri già ricordati, gli psichiatri svizzeri Eugen Bleuler e Carl Jung s'interessarono a questi studi e nel 1908 ebbe luogo a Salisburgo il primo Congresso internazionale di psicanalisi. Nel 1909 Freud e Jung furono invitati dalla Clark University a tenere una serie di conferenze a Worcester, nel Massachusetts. Da quel momento l'interesse generale per la psicanalisi crebbe in Europa e in America, ma la quasi totalità delle scuole di medicina continuò a rifiutare o a ignorare la nuova scienza fino agli anni quaranta. L'espansione, tuttavia, continuò, specialmente in virtù del lavoro di Freud stesso e di un gruppo di allievi. Due degli allievi più promettenti, Jung e Adler, si staccarono presto dal movimento psicanalitico e fondarono scuole proprie.

Contemporaneamente, l'inglese Ernest Jones contribuiva a far conoscere la psicanalisi soprattutto nel mondo di lingua inglese. Quando il partito nazista prese il potere in Germania e più tardi in Austria, la maggioranza degli psicanalisti di origine ebraica emigrò negli Stati Uniti, dove la loro influenza determinò un rapido sviluppo della nuova scienza. Freud si rifugiò a Londra e vi morì il 23 settembre 1939. Dopo la fine della seconda guerra mondiale, la psicanalisi si diffuse ampiamente anche in Europa. Negli Stati Uniti essa continuò a diffondersi dal 1940 alla metà degli anni sessanta; ma dalla fine degli anni sessanta si è notato un rallentamento nello sviluppo della scuola freudiana ortodossa, benché l'influenza culturale della psicanalisi abbia continuato a crescere e a ramificare.

b) Pulsioni istintuali e teoria della libido

La teoria basata sulle cosiddette pulsioni istintuali e sulla libido svolge una funzione fondamentale nella psicanalisi classica, eppure, come vedremo più avanti in questo articolo, questa teoria rappresenta la parte del sistema freudiano che ha subito le più aspre critiche ad opera delle scuole revisioniste. Alcuni autori ritengono che la resistenza ad accettare questa parte del sistema freudiano sia dovuta soprattutto al fatto che la parola tedesca *Trieb* è stata tradotta con la parola 'istinto'.

Istinto, in inglese e nelle altre lingue in cui vengono usate parole equivalenti di derivazione latina, significa una proprietà o funzione innata, in contrapposizione con quelle acquisite. In tedesco, invece, la parola *Trieb* si riferisce a una pulsione potente dell'organismo vivente, che è insita nella natura biologica e comprende aspetti della vita quali la sessualità, la fame, la sete e l'autoconservazione.

Nella teoria psicanalitica le 'pulsioni istintuali' vengono concepite come forze che spingono ad agire. Esse sono impulsive e impellenti e determinano in alcuni organi o nell'intera persona uno stato di tensione che dura finché il bisogno non è stato soddisfatto. Le pulsioni hanno tre caratteristiche: una fonte, un oggetto e una meta. La fonte è una parte del corpo, per esempio gli organi sessuali. L'oggetto è una persona o una cosa necessaria alla soddisfazione della pulsione, per esempio un partner sessuale. La meta è la particolare attività

necessaria per ottenere la soddisfazione, per esempio il rapporto sessuale. Una pulsione istintuale possiede una certa quantità di energia chiamata 'catessi'.

Le pulsioni istintuali sono di due tipi: quelle erotiche o libidiche e quelle aggressive. I primi studi di Freud riguardavano soltanto le pulsioni erotiche o sessuali, che fino a oggi rimangono le più conosciute. Tali pulsioni hanno origine in alcune zone particolari del corpo chiamate zone erogene: la bocca, l'ano e i genitali. La prima forma di sessualità, che prevale durante il primo anno di vita, è polarizzata attorno alla bocca e viene chiamata 'orale'. La seconda forma, che prevale negli anni compresi fra uno e due e mezzo, viene chiamata 'anale'. La terza forma, che è la più matura, è polarizzata attorno ai genitali e viene chiamata 'genitale'. Mentre durante l'infanzia vi sono diversi tipi di sessualità, nell'adulto normale essa è fissata alle zone genitali, ma nelle perversioni e nelle deviazioni mantiene le fissazioni precedenti.

Intorno al concetto di sessualità sono sorti molti malintesi, perché talvolta tale parola viene usata come nel linguaggio comune per denotare e connotare soltanto ciò che si riferisce all'attività genitale adulta; altre volte essa si riferisce a qualsiasi tipo di tensione che ha origine nelle zone erogene e a ogni comportamento indotto da tali tensioni. Per esempio, la soddisfazione sperimentata dal bambino nel succhiare e nello stringere viene chiamata sessuale. Nei tipi pregenitali di sessualità non è necessario alcun partner: la libido è autoerotica. Tra i due e i tre anni il bambino comincia a cercare un oggetto sessuale, generalmente il genitore dell'altro sesso. La sessualità femminile è più complicata di quella maschile. Essa presenta delle fasi pregenitali (orale e anale), come nei maschi, ma comprende inoltre una fase fallica di breve durata, caratterizzata da invidia del pene, prima di raggiungere uno stadio genitale con comportamento femminile. Vi è pertanto nelle donne un inizio bifasico della sessualità.

A partire dall'età di circa quattro anni, la sessualità viene rimossa e si ha un periodo di latenza. Il flusso dell'energia sessuale non viene pertanto interrotto, ma deviato da quelle che Freud chiamò metaforicamente 'dighe'. Una pulsione che era in origine sessuale subisce un processo di desessualizzazione e cambia meta. Questo processo viene chiamato 'sублиmazione': l'energia dei desideri sessuali infantili viene ora utilizzata per scopi non sessuali e socialmente validi. Nel 1910 Freud scrisse: "È probabile che noi dobbiamo i nostri successi culturali agli apporti di energia forniti in questo modo alle nostre funzioni mentali". La sublimazione non spiega il meccanismo su cui si basano le attività superiori della mente, ma vuole piuttosto spiegare la forza propulsiva che vi sta dietro.

La teoria della sessualità e della sua rimozione ha svolto una funzione importante nella psicanalisi classica, specialmente prima della comparsa della cosiddetta psicologia dell'Io. I concetti fondamentali sono i seguenti: a) la sessualità viene rimossa, ma la rimozione non ottiene lo scopo desiderato. Come conseguenza delle mancate soddisfazioni della sessualità rimossa insorgono dei sintomi nevrotici; b) la sessualità comincia alla nascita, e non nella pubertà, come generalmente si crede. Essa raggiunge il suo primo punto culminante al

quinto anno o prima e viene interrotta poco dopo, durante il periodo di latenza. Il secondo punto culminante si ha nella pubertà. Questo duplice culmine dello sviluppo sessuale rappresenta una delle caratteristiche più specifiche dell'uomo; c) la sessualità non va confusa con la genitalità. La genitalità è la forma ultima e più matura della sessualità.

La teoria psicanalitica è stata molto meno esplicita riguardo alla seconda pulsione istintuale, quella aggressiva. Le zone somatiche da cui essa trae origine, come pure le sue fasi di sviluppo, sono sconosciute. Sembra tuttavia che durante le fasi di sviluppo orale e fallica vi sia una certa fusione delle due pulsioni. La pulsione aggressiva viene anche chiamata Thanatos o istinto di morte.

Prima di proseguire con l'esposizione degli altri aspetti della teoria freudiana, è opportuna una breve valutazione - per quanto possibile, imparziale - della teoria della libido e delle pulsioni istintuali.

Indubbiamente, si deve dare atto alla psicanalisi di avere rivelato in quale misura la sessualità sia rimossa e le conseguenze nascoste di tale rimozione. Si deve inoltre dare atto alla psicanalisi di avere scoperto l'esistenza della sessualità prepuberale. Tuttavia è ancora una questione dibattuta se la sessualità infantile sia davvero così importante nel determinare le nevrosi come pensava Freud. Molti neofreudiani ritengono che egli abbia sopravvalutato il significato patogeno della sessualità nel corso della vita e specialmente durante l'infanzia. Un altro punto controverso è se la sessualità rimossa sia veramente sublimata. Un terzo e più generale punto controverso è il cosiddetto aspetto economico della teoria psicanalitica. Secondo questo punto di vista, ogni evento psichico richiede una certa quantità di energia (catessi) o libido. Freud era spinto a valutare i fatti psicologici secondo concetti quantitativi e a interpretare la psicologia secondo i principi della fisica del sec. XIX. L'energia libidica, che secondo Freud trascende il sesso, non è però mai stata individuata, e i neurofisiologi ritengono che non sia necessario postulare la sua esistenza per spiegare come funziona il sistema nervoso centrale. L'eccitamento nervoso da un neurone all'altro e la motivazione sotto forma di emozioni, pulsioni, sentimenti, affetti e altre funzioni dell'organismo possono spiegare l'attività psicologica senza rendere necessario il ricorso alla teoria della libido.

c) L'Es e il processo primario

Secondo la psicanalisi classica, la psiche si divide in tre parti principali: Es, Io e Super-Io. L'Es è la parte primitiva, quella dove hanno origine le pulsioni istintuali. Si dice talvolta che l'Es si trova allo stato di natura, in contrasto con le altre parti della psiche che sono molto più sottoposte all'influenza dell'ambiente umano e culturale. Si dice anche che l'Es è una fonte ribollente di energia, che non ha struttura, che rappresenta una riserva di libido. L'Es stimola le altre parti della psiche ad allontanare la sensazione spiacevole causata da un accumulo di energia. Lo scopo è la scarica immediata. Pertanto, 'psicologia dell'Es' è un'espressione che si usa spesso per indicare quell'insieme di funzioni che sono impulsive, incontrollabili o difficili da controllare. L'Es

segue il cosiddetto principio del piacere: lo scopo è il piacere (o la scarica), indipendentemente dai limiti o dalle richieste della morale e della società.

Freud vede il conflitto umano come un conflitto tra l'Es che esige un soddisfacimento immediato e le altre parti della psiche che si oppongono a tale soddisfacimento. Prima che egli modificasse la sua teoria generale (topica) e adottasse la cosiddetta teoria strutturale che divide la psiche in tre parti, le funzioni successivamente attribuite all'Es venivano attribuite all'inconscio. Più tardi, Freud giunse a pensare che lo stato inconscio potesse competere non soltanto ai fenomeni dell'Es, ma anche a quelli delle altre due parti della psiche.

L'Es presenta un tipo di organizzazione che Freud chiamò 'processo primario'. Benché questo processo regoli anche alcune attività dell'Io e del Super-Io, esso prevale specialmente nell'Es. La descrizione del processo primario e la sua separazione dal processo secondario furono fatte per la prima volta da Freud nel cap. VII dell'opera *L'interpretazione dei sogni*. Ernest Jones ha scritto: "Il contributo rivoluzionario di Freud alla psicologia è rappresentato non tanto dalla sua dimostrazione dell'esistenza dell'inconscio e forse nemmeno dall'esplorazione da lui compiuta del suo contenuto, quanto dalla sua affermazione che vi sono due tipi fondamentalmente diversi di processi mentali, che egli chiamò primario e secondario".

Freud fornì la prima descrizione dei due processi e cercò di differenziare le leggi particolari o i principi che regolano il solo processo primario. Egli lo chiamò così perché, secondo lui, esso si verifica più precocemente nello sviluppo ontogenetico, e non perché sia più importante di quello secondario. Anzi, Freud sottolineò il fatto che il processo secondario diventa dominante nell'adulto normale. Inoltre chiari molto bene due dei meccanismi mediante i quali opera il processo primario: i meccanismi dello 'spostamento' e della 'condensazione'. Vi è spostamento quando un oggetto istintuale o uno scopo istintuale viene sostituito da un altro. Quando le catessi istintuali, da oggetti e scopi diversi, convergono e si fondono, si ha la condensazione. Questi due meccanismi saranno illustrati in riferimento all'analisi dei sogni.

d) I sogni

Secondo Freud, la motivazione e il contenuto onirici derivano dall'inconscio, generalmente dall'Es. Il suo libro *L'interpretazione dei sogni* è considerato un classico di tutti i tempi e senza alcun dubbio la sua opera più importante. Alcuni critici ritengono che la massima parte delle più importanti scoperte di Freud si trovi in questo libro, e che gli altri suoi scritti siano tentativi spesso infruttuosi di integrare i contributi rivoluzionari di quest'opera con una teoria psichica globale. Freud stesso affermò che quel suo lavoro rappresentava ciò che soltanto una volta nella vita una mente può concepire in modo creativo.

Secondo la teoria psicanalitica il sogno ha due contenuti: quello manifesto, o cosciente, e quello latente, o inconscio. Il sognatore vive il sogno al suo livello manifesto. Per esempio, se nel sogno vede un serpente, egli reagisce come farebbe di fronte a un serpente vero. Uno degli obiettivi della psicanalisi è di interpretare il

sogno, vale a dire di scoprirne il significato latente o inconscio. Il nucleo originale del sogno è un desiderio infantile che esperienze successive hanno reso difficile da accettare. Il sogno rappresenta anche una richiesta fatta dall'Es del sognatore, richiesta che è rimasta insoddisfatta. Almeno una parte del sogno consiste nei cosiddetti residui diurni: il nucleo originario viene influenzato e modificato da impressioni e conflitti di origine recente.

Il 'lavoro onirico' è l'insieme dei meccanismi attraverso i quali il desiderio inconscio, o il contenuto onirico latente, viene trasformato nel contenuto onirico manifesto, che è ciò che il sognatore percepisce. Per esempio, il desiderio di una donna di avere un pene può trasformarsi in un sogno in cui essa possiede un bastone. Nello stesso momento in cui la donna è felice di possedere il bastone (pene) essa non si punisce per aver desiderato un pene. In altre parole, secondo Freud, esiste un 'censore' che inibisce, limita e neutralizza le forze istintuali che cercano soddisfacimento. In tal modo il lavoro onirico determina delle distorsioni oniriche. Il contenuto latente non è più riconoscibile da parte del sognatore. Se il sognatore si sottopone a un trattamento psicanalitico, finirà col diventare capace, con l'aiuto del suo analista, di comprendere il significato latente dei suoi sogni, vale a dire dei suoi desideri segreti, nascosti non soltanto agli altri ma anche a lui stesso. Secondo Freud, tutti i sogni sono dei tentativi di ottenere la realizzazione di un desiderio. Alcuni sogni, per esempio gli incubi, non sembrano realizzazioni di desideri perché il lavoro onirico ha trasformato il loro contenuto in un contenuto spiacevole. Altri sogni rappresentano dei tentativi di risolvere dei conflitti aventi origine in diverse parti della psiche, e risultano spiacevoli proprio nella misura in cui comportano dei conflitti. Il lavoro onirico è paragonabile all'elaborazione di un codice segreto che nasconde i significati reali. Ciò che appare nel sogno è pertanto simbolico, vale a dire sta al posto di un'altra cosa, così come i sintomi dei pazienti nevrotici stanno al posto di un'altra cosa che è stata rimossa.

L'interpretazione dei sogni consiste quindi nella comprensione dei simboli, dei meccanismi di distorsione e di rimozione e nella scoperta della motivazione inconscia. La motivazione inconscia nello studio dei sogni, così come nelle psiconevrosi, resta il tema più importante della psicanalisi. Come si è già accennato, i meccanismi dello spostamento e della condensazione vengono molto usati nel lavoro onirico. Per esempio, lo scopo e l'oggetto originari, un pene, vengono spostati su un bastone.

Secondo Freud, alcuni simboli sono universali, come la casa, che simboleggia il corpo umano, generalmente quello femminile. L'universalità di alcuni simboli può far pensare che l'inconscio contenga un'eredità comune derivata dal passato della specie. Benché Freud, in alcuni periodi della sua vita, sia sembrato favorevole a questa opinione, che trasse probabilmente da Jung, egli non la sostenne mai con convinzione. Ciò che invece egli affermò ripetutamente fu l'aspetto protettivo del sogno e del lavoro onirico. I desideri e i conflitti inconsci terrebbero sveglio il soggetto o ne interromperebbero il sonno, se non fossero mascherati dal lavoro onirico. Quando i sogni non sono sufficientemente deformati il sognatore si sveglia.

e) L'Io e le difese

L'Io è quella parte della psiche i cui compiti principali sono l'autoconservazione, l'adattamento alla realtà e i rapporti col mondo esterno. Esso è il grande mediatore fra le richieste istintuali cui bisogna opporre resistenza e le esigenze dell'ambiente. Benché l'Io abbia sempre avuto una funzione molto importante nel sistema teorico freudiano, esso ha svolto un ruolo piuttosto secondario nelle applicazioni e negli studi clinici di Freud. I contributi da lui dati alla comprensione di questa parte della psiche sono di gran lunga inferiori a quelli da lui dati alla comprensione dell'Es e del Super-Io.

Nei suoi primi lavori Freud mise in evidenza la passività dell'Io in contrapposizione alla natura primitivamente impetuosa dell'Es e alla rigidità del Super-Io, ma non spiegò mai con chiarezza l'importante funzione dell'Io come mediatore nei confronti della realtà. Freud considerava l'Io come uno strato dell'Es che, partendo dalla matrice comune, subisce un'ulteriore differenziazione. Successivamente l'Io acquistò maggiore importanza psicodinamica, quando si studiarono le sue cosiddette difese.

Una delle principali funzioni dell'Io è l'esame di realtà. Esso controlla il contenuto delle sue percezioni e delle sue esperienze psicologiche e lo confronta con la realtà esterna. Altre sue funzioni riguardano la regolazione dell'apparato motorio, il linguaggio, il ragionamento e la capacità d'identificarsi con gli altri. Il bambino si identifica con quelle persone del suo ambiente con le quali ha forti legami affettivi. Egli desidera diventare simile alle persone che ama e talvolta anche a quelle che odia.

Mentre l'Es esige un soddisfacimento immediato secondo il principio del piacere, l'Io fornisce i meccanismi che permettono un soddisfacimento differito, o una scarica differita di energia istintuale. Tale rinvio è reso possibile dall'adozione prevalente (ma non esclusiva) da parte dell'Io del 'processo secondario'. Mentre Freud ha descritto in dettaglio alcuni dei meccanismi del processo primario, i suoi contributi allo studio del processo secondario sono molto scarsi. Egli presuppone che tale processo segua le modalità di funzionamento della mente sveglia, matura e logica. Quando nel pensiero si usa il processo secondario, si presume che si usi per lo più la logica aristotelica.

Un'altra importante funzione dell'Io è quella di affrontare e comporre il conflitto che, come si è già ricordato nel capitolo introduttivo, svolge una funzione molto importante nella psiche. Esso si rivela prevalentemente attraverso l'angoscia, che è un concetto fondamentale in psicanalisi. Fin dai primi contributi di Freud il conflitto ha sostenuto una parte molto importante non soltanto in psicanalisi ma in tutta la psichiatria. Freud aveva dapprima concepito l'angoscia come un eccesso di energia che non può essere scaricato, per esempio come il risultato del coito interrotto o di altre privazioni sessuali. Nella sua seconda teoria dell'angoscia egli interpretò questo fenomeno psicologico come un segnale di pericolo. Il pericolo si evidenzia nella consapevolezza che un bisogno istintuale non verrà soddisfatto. Nei primi anni della psicanalisi l'angoscia

venne messa in rapporto con la paura dei bisogni sessuali, o con l'incapacità di soddisfarli, o con la previsione di una punizione per tali bisogni. Più tardi, l'angoscia venne anche interpretata come 'angoscia di separazione', ossia come il timore di perdere l'affetto, l'aiuto, l'amore, la compagnia della madre. L'angoscia è una paura che si prova non soltanto in rapporto all'Es ma anche in rapporto al Super-Io e a una punizione prevista. Spetta all'Io costruire delle difese per comporre il conflitto e le sue espressioni di angoscia. La rimozione è forse la più tipica difesa psicanalitica. L'Io allontana dalla coscienza i desideri e le idee riprovevoli e ansiogeni. Ogni volta che il materiale rimosso tende a ritornare alla coscienza, le difese lo fanno tornare allo stato inconscio, e la rimozione può richiedere una grande quantità di energia o controcattesi.

La 'formazione reattiva' è una difesa che consiste nel fare l'opposto di ciò che la tendenza primitiva spingerebbe a fare. Per esempio, se una persona odia il suo principale, essa diventa estremamente gentile e sollecita nei suoi confronti; se ha forti impulsi sessuali, può diventare esageratamente pudica e vittoriana per essere in grado di respingere o nascondere questi impulsi.

L'introiezione' è messa in rapporto dalla psicanalisi classica con la tendenza orale primitiva a inghiottire o incorporare l'oggetto d'amore. L'introiezione avviene assimilando alcune delle caratteristiche dell'oggetto d'amore, come le idee, i sentimenti, le abitudini, ecc. La 'proiezione' è l'opposto dell'introiezione: è uno 'sputare fuori' anziché un 'inghiottire'. A un livello meno primitivo, essa significa attribuire agli altri idee e sentimenti che l'individuo ha e allo stesso tempo rifiuta di avere. Nelle sue forme più accentuate, la proiezione si trova nella paranoia e nella schizofrenia, ma in misura limitata si verifica anche nel nevrotico. L'isolamento' è una difesa usata spesso nella psicnevrosi compulsivo-ossessiva. L'affetto viene isolato dall'idea, così che un desiderio o un impulso possono apparire alla coscienza senza l'abituale componente emotiva. La 'regressione' è un ritorno a livelli precedenti di sviluppo istintuale per sfuggire all'angoscia che insorge ai livelli superiori. La 'razionalizzazione' consiste nel dare un'apparenza di razionalità o plausibilità a una richiesta irrazionale o riprovevole dell'Es. La 'negazione' si riferisce generalmente all'impossibilità di percepire la presenza di qualcosa di indesiderabile o pericoloso nel proprio ambiente o in se stessi. L'annullamento retroattivo' consiste nel compiere azioni che tendono a neutralizzare desideri pericolosi o azioni precedenti.

La figlia di Freud, Anna, è l'analista che ha più contribuito a chiarire i meccanismi di difesa dell'Io.

f) Il Super-Io e il complesso di Edipo

Il Super-Io è la terza istanza della psiche, che si sviluppa all'età di quattro o cinque anni. Quando i genitori insegnano al bambino ad adottare certe forme di comportamento, specialmente per quanto riguarda l'educazione sfinterica, la pulizia in generale, le abitudini alimentari, ecc., essi sono precursori del Super-Io. I loro ammonimenti e le loro ingiunzioni vengono interiorizzati, così che dopo l'età di quattro anni il bambino comincia a dare a se stesso ordini e contrordini. Ciò che dapprima era paura della punizione e bisogno di

amore e di affetto, è ora regolato da un'istanza della psiche, che agirà da coscienza. La formazione del Super-Io viene favorita da ciò che Freud chiamò il "complesso di Edipo". Con una certa analogia col personaggio di Edipo nella tragedia di Sofocle, il bambino che ha iniziato la fase fallica dello sviluppo libidico manifesta un attaccamento appassionato alla madre, vuole sposarla, mostra un'intensa rivalità nei confronti del padre e vorrebbe allontanarlo dal letto della madre. La bambina, a sua volta, desidera sposare il padre e prova gelosia per la madre che vorrebbe allontanare e sostituire. I desideri incestuosi e di morte nei confronti del genitore dello stesso sesso emergono come sentimenti e idee fortemente sentiti e temuti. È a questo punto che il bambino prova una grande paura dei genitori punitivi: egli ha paura di essere castrato e la bambina ha paura di perdere l'affetto della madre. La bambina può sentirsi già castrata, e ciò accresce in lei un senso d'inferiorità. Secondo Freud, è in questa fase che il bambino rinuncia al genitore amato come oggetto d'amore. Le figure parentali, cioè gli adulti che impongono le inibizioni e le proibizioni, vengono introiettate ed entrano a far parte del Super-Io.

Le proibizioni morali, o le esortazioni a conformarsi a determinati modelli di comportamento, costituiranno la parte della psiche che svolge approssimativamente le funzioni della coscienza. Si tratta tuttavia di una coscienza dura, severa e spesso irrazionale, perché svolge il ruolo che il bambino (spesso a torto) attribuisce agli adulti che minacciano e puniscono. Anche gli ideali ai quali - secondo il bambino - gli adulti si aspettano che egli si adegui, possono essere ideali di perfezione, impossibili da raggiungere. In alcuni stati nevrotici e psicotici si sviluppa un Super-Io crudele che è fonte di molta angoscia, senso di colpa e depressione per il soggetto. Nella teoria freudiana il nucleo della morale è rappresentato dalle reazioni ai desideri incestuosi nei confronti di uno dei genitori e ai desideri di morte nei confronti dell'altro, così come si verificano nella fase del complesso di Edipo.

L'amore e l'odio dei figli per i genitori si sviluppano nell'infanzia. La lotta contro queste intense emozioni dà origine alla coscienza. Il bambino sperimenta minacce e timori anche in rapporto alla masturbazione. Ulteriori identificazioni con figure autoritarie e personaggi mitici o reali contribuiscono in seguito alla formazione di altre parti del Super-Io, ma i conflitti che hanno avuto origine durante il periodo edipico conservano questa importante funzione restrittiva. La coscienza primitiva del Super-Io segue la legge del taglione, occhio per occhio e dente per dente. Le sue caratteristiche vengono riprodotte nella psicologia della folla e alcune di esse possono perfino essere trasmesse geneticamente.

g) Latenza e adolescenza

L'organizzazione del Super-Io viene seguita da un periodo di relativa quiete degli istinti. È il periodo di 'latenza', caratterizzato da una relativa inattività della sessualità, che dura dall'inizio del sesto anno di vita all'insorgere della pubertà. Durante questo periodo il bambino rimuove i sentimenti incestuosi e aggressivi e si

identifica generalmente col genitore dello stesso sesso. L'interesse sessuale scompare quasi completamente: l'amore per i genitori diventa desessualizzato e l'interesse per l'altro sesso è assente o quasi. In generale, i ragazzi preferiscono la compagnia dei ragazzi e le ragazze quella delle ragazze. Con il sopraggiungere della pubertà vi è una recrudescenza dei desideri sessuali e dei conflitti. Le vicissitudini della sessualità e i conflitti insorti in rapporto a essa si manifesteranno secondo le modalità difensive già adottate nella fase edipica. Tuttavia la madre non è più un oggetto sessuale per il ragazzo e il padre non è più un oggetto sessuale per la ragazza, a meno che non permangano delle fissazioni determinatesi in età precedente. Per Freud, l'adolescenza è la fine dello sviluppo.

Le fasi dalla nascita all'adolescenza sono in psicanalisi un derivato concettuale della teoria darwiniana. Vi è in Freud un tentativo, anche se incompleto, d'interpretare l'ontogenesi come una ricapitolazione della filogenesi. Il concetto di regressione o di ritorno a livelli precedenti di sviluppo deriva forse dalle teorie di Hughling Jackson. Il concetto di 'fissazione' o di arresto a una determinata fase è invece freudiano; per Freud questo arresto è dovuto a una quantità di libido che rimane 'fissata' a un certo stadio dello sviluppo e predispone il soggetto a ritornare psicologicamente a quello stadio.

h) La terapia

Benché la terapia psicanalitica sia stata più tardi applicata a parecchi disturbi mentali, la sua teoria e i suoi procedimenti tipici rimangono quelli sviluppati in rapporto al trattamento delle psiconevrosi. Lo scopo fondamentale della psicanalisi è l'eliminazione delle rimozioni presenti e specialmente di quelle passate. Con la tecnica psicanalitica i conflitti ritornano alla coscienza e quando il paziente ne diventa consapevole trova delle soluzioni non nevrotiche.

Per riportare alla coscienza tutti gli avvenimenti traumatici, sia quelli precoci sia quelli successivi, Freud all'inizio usava i metodi dell'ipnosi, cui abbiamo già accennato parlando dei suoi primi lavori con Breuer. Scontento di questo metodo, fece dei tentativi con quello che egli chiamava il "metodo della concentrazione", che consisteva nello stimolare il paziente a ricordare avvenimenti dimenticati, esercitando una leggera pressione sulla sua fronte. In seguito Freud sviluppò il metodo delle 'libere associazioni', che è rimasto quello consueto in psicanalisi. Tale metodo mira a richiamare alla coscienza non soltanto ciò che è stato rimosso, ma anche le difese o i meccanismi della rimozione. Ciò che è rimosso non è costituito soltanto da traumi avvenuti veramente nella vita del paziente, ma anche da fantasie inconscie, e a volte è difficile distinguere fra le due cose. Freud fece un'importante correzione delle sue teorie quando si rese conto della confusione fra traumi reali e fantasie. Egli aveva creduto che i suoi pazienti gli descrivessero fatti reali quando gli riferivano di essere stati sedotti dai genitori nell'infanzia, ma più tardi si accorse che essi riferivano delle fantasie. Egli

tuttavia non le scartò come materiale privo di senso, anzi il loro studio e la valutazione dei loro significati aprì alla sua ricerca tutto il campo della sessualità infantile (1905).

Il metodo delle libere associazioni esige che il paziente dica all'analista tutto ciò che gli viene in mente senza modificare, sopprimere o selezionare: questa è la 'regola fondamentale'. Le idee vanno espresse liberamente, anche se appaiono futili, e il paziente non deve fare alcuno sforzo per dirigerle verso un certo scopo, organizzarle o imporre loro una struttura logica. La terapia psicanalitica richiede molte sedute e si protrae talvolta per molti anni, poiché il paziente impiegherà del tempo per dire molte cose che non sono pertinenti ai suoi problemi. Ma in un'atmosfera di 'alleanza terapeutica', caratterizzata dall'assoluta sincerità del paziente e dall'assoluta riservatezza dell'analista, ha luogo un graduale emergere dapprima di materiale che si trova abitualmente alla periferia della coscienza, e poi di materiale inconscio. Le difese abituali cedono, appaiono i derivati dei conflitti e alla fine si giunge alla conoscenza dei conflitti originari.

Si chiede al paziente di sdraiarsi su un lettino e di mantenere la posizione supina. Il fatto che egli non veda l'analista e non senta in lui un censore lo aiuta a non esercitare una censura su se stesso. Il paziente resta spesso sorpreso da ciò che ricorda e da ciò che può dedurre dai suoi ricordi. Ciò che gli si chiede, tuttavia, non è facile a farsi e ben presto egli scopre di non collaborare pienamente. Ciò non è dovuto a una vera e propria amnesia, poiché tutto ciò che è avvenuto o è stato vissuto psicologicamente ha lasciato una traccia nella sua mente e secondo la psicanalisi può essere riportato alla coscienza. La difficoltà consiste nel fatto che il paziente 'resiste'. Le resistenze, che si manifestano quando il materiale rimosso minaccia di riemergere, lo mantengono allo stato inconscio.

Un altro fenomeno importante si verifica in terapia: il 'transfert'. Il paziente trasferisce sull'analista alcuni atteggiamenti, sentimenti, tendenze e comportamenti che un tempo egli ha avuto nei confronti di persone importanti della sua infanzia, generalmente i genitori. Il transfert è pertanto un ripetersi di situazioni o desideri infantili. Finché il paziente vive con l'analista questa situazione, egli si trova in una 'nevrosi di transfert'.

Anche l'analista può sviluppare un sentimento nei confronti del paziente: il 'controtransfert'. Secondo Freud, l'analista non dovrebbe provare questo sentimento, che vizia la situazione analitica, ma dovrebbe comportarsi come uno specchio che riflette ciò che il paziente trasmette. Più tardi, S. Ferenczi e molti neofreudiani hanno contestato questa idea di Freud, ritenendo che il controtransfert sia una componente necessaria della terapia analitica. L'analista, tuttavia, è molto più di uno specchio anche nella psicanalisi freudiana classica. Uno dei suoi compiti principali, infatti, è quello d'interpretare. Egli è in grado di ricostruire le esperienze passate del paziente e pertanto di fornire 'interpretazioni' delle esperienze passate e presenti grazie a tali ricostruzioni. Per esempio, un atteggiamento bizzarro che un paziente ha verso le donne più anziane può essere interpretato come una ripetizione di una situazione edipica che il paziente ha vissuto in passato con la propria madre. Le

interpretazioni riguardano anche i sogni che il paziente è invitato a riferire all'analista. Come si è già detto, l'interpretazione dei sogni ha una funzione importante nella terapia.

Le interpretazioni possono dare un senso di sollievo, giacché rendono non più necessarie la resistenza e la rimozione. D'altra parte, esse possono anche indurre angoscia poiché il paziente può dover affrontare dei fatti spiacevoli che lo riguardano. Le interpretazioni devono dunque essere fornite quando egli è capace di tollerare l'angoscia che vi è associata o quando è in grado di utilizzare in modo positivo ciò che ora comprende. Le interpretazioni possono interessare materiale dell'Es, dell'Io e del Super-Io e la situazione di transfert. Secondo la maggior parte degli analisti, la terapia non può essere considerata completa finché non è stato risolto il transfert.

i) Sviluppi della psicanalisi postfreudiana

Fin dai primi tempi della storia della psicanalisi si distinse Karl Abraham, specialmente per il suo lavoro sulla malinconia. Nel 1912 egli ebbe l'idea originale di confrontare la depressione malinconica con il lutto normale. Entrambi questi stati vengono causati da una perdita subita dal soggetto, ma mentre chi è in lutto s'interessa della persona perduta, il paziente depresso è tormentato da sentimenti di colpa. Egli dirige verso se stesso l'ostilità inconscia che provava per l'oggetto perduto. Abraham fece anche l'ipotesi che vi fosse una regressione a uno stadio pregenitale ambivalente di rapporto oggettuale.

Tra parentesi, possiamo aggiungere che Freud accettò più tardi le idee di Abraham sul rapporto tra il lutto e la malinconia e mise in evidenza che, mentre nel lutto l'oggetto è perduto a causa della morte, nella malinconia vi è una perdita interna, perché la persona perduta è stata incorporata. Il sadismo presente nel rapporto ambivalente è allora diretto contro l'oggetto d'amore incorporato. Questo concetto d'introiezione aiutò Freud a sviluppare il concetto di Super-Io.

Anna Freud diede alcuni tra i più significativi contributi al campo di ricerche del padre, scrivendo un importante studio sulle difese dell'Io, che viene considerato un classico dagli analisti freudiani.

I problemi che riguardano l'Io sono stati recentemente oggetto di notevole interesse, poiché si è osservato che Freud non si era occupato di questa parte della psiche così estesamente come delle altre. Si svilupparono due scuole di psicologia dell'Io. Una fu rappresentata da Paul Federn, che formulò i concetti di confini dell'Io e di sentimento dell'Io e li applicò specialmente allo studio delle psicosi. La scuola di Federn non ha avuto un grande sviluppo: il suo allievo più importante è stato E. Weiss, uno psicanalista di Trieste emigrato negli Stati Uniti quando il governo fascista iniziò in Italia le persecuzioni antisemitiche.

La seconda scuola di psicologia dell'Io ebbe come suo maggiore esponente Heinz Hartmann. Altri autori, come E. Kris, R. Loewenstein, D. Rapaport e O. Klein, hanno dato importanti contributi in questo campo. Tutti questi studiosi hanno compreso che - se le funzioni dell'Io riguardano settori così disparati come la

coscienza, le percezioni delle sensazioni e gli affetti, il pensiero, il linguaggio, la memoria, il controllo dell'attività motoria, i meccanismi di difesa, l'esame di realtà e la capacità d'integrare, armonizzare e sintetizzare tutte le funzioni della psiche - l'Io deve essere oggetto di molta più attenzione di quanta gliene abbia dedicata Freud.

Per Hartmann, l'Io non è soltanto un mediatore del conflitto o un verificatore della realtà. Esso ha anche un'importante funzione nell'adattamento e nella soluzione dei problemi dell'individuo. Hartmann vede le funzioni dell'Io come indipendenti dalle spinte motivazionali originali delle pulsioni: esse sono libere da conflitti. Egli vede pertanto l'Io come 'autonomo'.

Molti lavori della scuola di Hartmann riescono difficili al lettore, poiché si occupano spesso di energetica, quella parte della psicanalisi che studia l'energia libidica. Molti studi riguardano le vicissitudini della libido, ossia le modalità con cui l'Io utilizza la libido che ha origine nell'Es. Uno dei principali concetti di Hartmann è infatti quello di 'neutralizzazione' della libido. La libido acquisterebbe un carattere di forza indipendente e neutralizzata. Alcuni critici della scuola di Hartmann vedono nel lavoro degli psicologi dell'Io un tentativo d'integrare la teoria freudiana con la psicologia tradizionale o accademica. Tale tentativo è giustificato, perché, come si è detto, la struttura teorica originale di Freud trascura molti aspetti della psiche attribuiti all'Io. Resta il fatto però che uno schema di riferimento concepito specialmente in rapporto alla psicologia dell'Es e al concetto di libido non si presta molto bene a un'integrazione con la psicologia accademica. A questo proposito dobbiamo ricordare che vi sono stati parecchi tentativi non completamente riusciti, per esempio da parte di Odier e di O. Klein, d'integrare la psicologia di Freud con i risultati e le teorie di J. Piaget. Le scuole neofreudiane, che non ritengono che tutti i fenomeni motivazionali abbiano origine nell'Es e siano mediati da un Io non dinamico e libero da conflitti, non devono affrontare queste difficoltà.

Un terzo indirizzo, iniziato da Erik Erikson, si concentra sull'epigenesi dell'Io'. Erikson non usa lo stesso linguaggio e lo stesso schema di riferimento teorico del gruppo di Hartmann. Mentre Freud poneva l'accento sullo sviluppo della libido e Hartmann sullo sviluppo autonomo dell'Io, Erikson si occupa dell'Io nel suo rapporto con la società. I suoi studi non si fermano al momento in cui si raggiunge la maturità genitale, ma abbracciano tutto il ciclo della vita. Secondo Erikson, il ciclo vitale si divide in molte fasi, ciascuna delle quali ha un compito evolutivo e mira alla sua soluzione; inoltre non si tratta soltanto di una sequenza di fasi, bensì di una gerarchia: la soluzione di una fase conduce alla successiva.

Erikson sostiene che vi è una coordinazione o 'reciprocità' fra l'individuo in via di sviluppo e il suo ambiente sociale. Gli adulti che si occupano dell'individuo in via di sviluppo sono rappresentanti della società. Essi possono essere istituzioni e persone specifiche per ogni fase (genitori, scuole, insegnanti, ecc.). Il carattere sociale dell'individuo viene fatto risalire all'incontro con questi rappresentanti. Più che aggiungere strati

artificiali alla personalità, la società influenza il modo in cui l'individuo risolve i problemi specifici di ciascuna fase dello sviluppo. Erikson distingue le seguenti otto fasi.

1. La fiducia di base contrapposta alla sfiducia. Questa fase evolve a partire dal livello orale-sensoriale nel primo anno di vita. L'atteggiamento psicosociale di base che il bambino deve apprendere in questo stadio è che egli può avere fiducia nel mondo, rappresentato dalla madre. Il bambino deve avere fiducia che essa tornerà e lo nutrirà, che gli darà il cibo adatto nella quantità dovuta al tempo giusto e che lo metterà a suo agio quando si sentirà a disagio. La sfiducia, che viene anch'essa appresa dal bambino durante questa fase, nasce dal presentimento del pericolo e dall'anticipazione del disagio. Si ha un buon esito del primo stadio quando da un rapporto favorevole fra fiducia e sfiducia deriva la speranza nei confronti della vita.

2. L'autonomia contrapposta alla vergogna e al dubbio. Questa fase corrisponde allo stadio muscolare-ale freudiano. È l'età (due e tre anni) in cui il bambino comincia ad arrossire e può sentirsi imbarazzato quando viene Osservato. L'autonomia sarà il risultato del superamento dei sentimenti di vergogna e di dubbio.

3. L'iniziativa contrapposta alla colpa. Questa fase corrisponde allo stadio genitale di Freud e inizia all'età di trequattro anni. Mentre Freud in questa età metteva in evidenza soltanto il complesso di Edipo, Erikson studia anche l'acquisizione di un comportamento finalistico o teso a uno scopo. Durante questa fase il bambino si sente colpevole per le fantasie edipiche e le fantasie di onnipotenza.

4. L'industriosità contrapposta al senso di inferiorità. Questa fase corrisponde al periodo di latenza di Freud. È l'epoca in cui il bambino comincia ad andare a scuola e prova il desiderio di imparare e di agire autonomamente, ma può sviluppare un senso d'inadeguatezza e d'inferiorità.

5. L'identità contrapposta alla dispersione dell'identità. Questa fase corrisponde all'adolescenza ed è specialmente in rapporto a essa che Erikson ha dato i suoi più validi contributi. Egli descrive come i valori dell'Io maturati nell'infanzia culminino ora in ciò che egli chiama un senso d'identità dell'Io. Il senso d'identità dell'Io è la fiducia che la propria capacità di mantenere un'identità e continuità interiore trovi una corrispondenza nell'identità e nella continuità di significato che si ha per gli altri. Superando crisi importanti, l'adolescente ha la sensazione che sta sviluppando una personalità ben definita, nell'ambito di una realtà sociale a lui comprensibile. L'incapacità di costruire una identità ben definita determina una sensazione di dispersione dell'identità.

6. L'intimità contrapposta all'isolamento. Questa fase corrisponde ai primi anni dell'età adulta, in cui si sviluppano intensi rapporti affettivi, quali l'amicizia, l'amore, i rapporti sessuali; e la consapevolezza delle proprie risorse interiori. Contrapposto all'intimità è l'isolamento: la tendenza a ripudiare ed, eventualmente, a distruggere.

7. La generatività contrapposta alla stagnazione. Questa fase corrisponde all'età adulta, in cui l'individuo può essere in vari modi produttivo o può stagnare.

8. L'integrità dell'Io contrapposta alla disperazione. Questa fase corrisponde alla vecchiaia. L'integrità è connessa all'accettazione del proprio ciclo vitale come di qualcosa che deve essere. La disperazione è dovuta alla non accettazione del proprio ciclo vitale e alla consapevolezza che manca il tempo per tentare d'iniziare una nuova esistenza.

Erikson è oggi il più noto analista della scuola freudiana negli Stati Uniti e la sua notorietà è crescente. Uno dei suoi allievi, R. Coles, è diventato il suo discepolo più convinto. Molti, che pur riconoscono e accettano il valore dei suoi contributi, mettono in dubbio la sua appartenenza alla scuola classica e ritengono che, sforzandosi di aderire a Freud, Erikson abbia complicato le cose e resa necessaria una doppia terminologia. L'adesione alla teoria generale di Freud ha reso Erikson accettabile alla scuola freudiana ortodossa e ha accresciuto la sua popolarità, ma numerosi analisti lo giudicano più vicino alle scuole neofreudiane.

1) Influssi su altri rami della psichiatria

L'influenza che la psicanalisi ha avuto su tutto il campo della psichiatria è stata immensa. Soltanto le scuole organiciste, che continuano a interpretare i disturbi mentali esclusivamente o prevalentemente come espressione di malattie neurologiche o di disturbi biochimici, minimizzano l'importanza della psicanalisi. Gli psichiatri che studiano il paziente da un punto di vista psicodinamico e longitudinale sono sempre più numerosi. Essi non si limitano ai sintomi attuali, ma studiano tutti gli avvenimenti d'importanza psicologica nella storia del paziente e tutte le forze emotive che hanno portato agli avvenimenti successivi e infine alla sintomatologia manifesta. La maggior parte degli psichiatri attualmente riconosce l'importanza preminente dei primi anni di vita, le conseguenze psicodinamiche dei fattori psicologici, l'aspetto simbolico del comportamento e dei processi mentali, compresi i sogni, l'esistenza di una realtà psicologica interiore, altrettanto importante di quella esterna, il carattere inconscio di una gran parte dei processi mentali, l'esistenza di un rapporto particolare, o transfert, da utilizzare come strumento terapeutico. (V. psichiatria).

'Psicoterapia', dal punto di vista etimologico, significa qualsiasi forma di terapia che utilizzi metodi psicologici (non somatici). La psicanalisi e la terapia esistenziale sono due forme di psicoterapia. Tuttavia, con il nome di psicoterapia o psicoterapia generale, s'intende generalmente una forma di psicoterapia che, oltre all'appoggio e alla persuasione, utilizza vari principi psicodinamici della psicanalisi. La psicoterapia viene attualmente utilizzata da un numero sempre crescente di psichiatri nell'esercizio della professione.

La 'medicina psicosomatica' è una disciplina di confine tra la psicanalisi e la medicina somatica ed è di derivazione psicanalitica. Freud parlava del "salto misterioso" dalla psiche al corpo, cioè dai conflitti psicologici ai disturbi fisiologici e persino anatomici. Mentre nell'isteria i conflitti vengono 'convertiti' o 'tradotti' nei sintomi per mezzo di un 'linguaggio somatico', nella medicina psicosomatica i disturbi fisiologici non hanno necessariamente un significato psicologico ben definito. La medicina psicosomatica descrive il

ruolo delle emozioni e dei disadattamenti della personalità nella genesi delle disfunzioni fisiologiche e delle malattie. Le forme che vengono studiate più spesso sono l'ulcera peptica, l'ipertensione essenziale, l'artrite reumatoide, la colite ulcerosa, l'asma bronchiale e l'ipertiroidismo. I conflitti psicologici raggiungono gli organi del corpo attraverso la funzione intermedia del sistema nervoso autonomo. Nella misura in cui la malattia ha una motivazione simbolica inconscia, il suo studio psicosomatico è connesso alla psicanalisi. Tra i pionieri in questo campo sono F. Alexander, F. Dunbar e C. L. Engei. M. F. Reiser ha condotto studi importanti sulla psicologia dei disturbi cardiovascolari.

m) Scambi culturali fra la psicanalisi freudiana e altri campi

La psicanalisi ha esercitato un influsso culturale che trascende di molto il campo della psichiatria. È stato detto che Freud è una delle quattro personalità che hanno avuto la maggior influenza sulla civiltà occidentale negli ultimi cento anni. Le altre tre sono Darwin, Marx e Einstein.

Freud e Einstein si scrissero lettere su argomenti sociopolitici, ma fra i due non si è verificato un concreto e fecondo scambio culturale. Le opere di Darwin esercitarono un forte influsso su Freud, come già abbiamo detto (v. È g). Non sembra che Marx abbia avuto influenza su Freud. Alcuni critici della psicanalisi sostengono che essa rifletta solamente i problemi psicologici della borghesia e sia rimasta un tipo di trattamento adatto, o accessibile, solamente alle classi abbienti. Inoltre, questi stessi critici pensano che, sebbene Freud abbia descritto gli effetti della società sull'individuo secondo lo schema di riferimento del Super-Io come inibitore di istinti antisociali, egli non abbia preso in considerazione gli altri effetti della società sui problemi psicologici degli uomini. Freud ha studiato l'alienazione provocata dai conflitti interiori, ma non quella determinata dalla divisione della società in classi sociali. In effetti, la psicanalisi ha posto l'accento sullo studio dell'individuo, come molti movimenti culturali dal Rinascimento al Romanticismo. Eppure essa ha avuto ripercussioni immense.

Il primo libro di psicanalisi venne pubblicato nel 1895, lo stesso anno in cui ebbe luogo la prima esposizione di opere d'arte moderna (i quadri di Cézanne). Tale coincidenza può essere interpretata come espressione dell'inizio di una nuova era, in cui l'irrazionale non viene più immediatamente rimosso e dimenticato, ma viene accettato come oggetto di studio e di contemplazione, o per lo meno come una dimensione dell'esistenza umana. Freud stesso contribuì all'interpretazione psicanalitica dell'arte con i suoi studi sul Mosè di Michelangelo e su Leonardo da Vinci. Il concetto fondamentale di Freud è che anche nell'arte, come nei sogni, dobbiamo distinguere un contenuto manifesto da uno latente. Il contenuto latente non è accessibile all'osservatore medio e può essere recuperato da studi psicanalitici. Esso si riferisce generalmente a esperienze infantili e a conflitti sessuali. In tal modo Freud poté interpretare alcuni quadri di Leonardo come espressione delle sue tendenze omosessuali e del fatto che egli venne allevato non da una ma da due 'madri'.

È difficile precisare quanti pittori, scultori e architetti siano stati influenzati direttamente o indirettamente dalla psicanalisi. Sembra certo però che essa abbia determinato anche nell'artista una maggiore tolleranza per i contenuti inconsci e lo abbia aiutato a rendere accessibile alla coscienza e di conseguenza a trasformare in forma artistica materiale psicologico di cui l'individuo una volta aveva paura. Molti critici d'arte (uno dei più illustri è H. Read) sono stati fortemente influenzati dalla psicanalisi.

La letteratura, specialmente nelle forme del romanzo e del teatro, è stata notevolmente influenzata da Freud. Th. Mann ha riconosciuto di aver tratto da lui molte intuizioni sulla natura umana e il suo libro *La montagna incantata* riflette chiaramente tale influsso. Si possono trovare influssi freudiani in *Tenera è la notte* di F. Scott Fitzgerald (1934), *Arrivo e partenza* di A. Koestler (1943) e *La coscienza di Zeno* di I. Svevo (1924). Tutti i romanzi di Kafka hanno un sapore psicanalitico.

Anche nel teatro troviamo un forte influsso freudiano. Vi sono concetti freudiani in alcuni lavori teatrali e commedie musicali di successo di Broadway, come *Lady in the dark* di M. Hart (1941). Tra le opere più significative debbono essere ricordati parecchi lavori di E. O'Neill (specialmente *Il lutto si addice a Elettra*, 1931) e di T. S. Eliot (specialmente *The cocktail party*, 1950).

Nel campo dell'educazione, la psicanalisi si è unita agli insegnamenti di J. Dewey e M. Montessori nel riorientare i metodi pedagogici. Lo scopo è stato di offrire al bambino un'atmosfera di maggiore libertà e di minore restrizione, nella quale non potesse svilupparsi un Super-Io tanto severo da inibire le tendenze sane della personalità in via di maturazione. Si è propugnato il rispetto dell'individualità e l'accettazione delle diverse velocità di sviluppo nei diversi bambini. La psicanalisi è penetrata anche nel campo della pediatria, specialmente attraverso le opere di B. Spock, del cui libro *Il bambino*, pubblicato nel 1946 e tradotto in molte lingue, sono state vendute finora 23 milioni di copie.

La psicanalisi ha anche influito molto sulla sociologia, specialmente attraverso le opere di T. Parsons e H. Marcuse. Nella sua interpretazione della famiglia come un sistema sociale, Parsons ha fatto largo uso di concetti derivati da Freud. Secondo Parsons, il primo sistema sociale, costituito dalla madre e dal bambino, si forma durante il periodo della dipendenza orale. Lo stadio successivo, quello della dipendenza dall'amore, corrisponde allo stadio anale di Freud. Nell'interazione diadica che ha luogo in questo piccolo sistema sociale, al bambino, benché dipendente, viene concesso di acquistare una certa autonomia. Parsons accetta e reintegra anche la crisi edipica freudiana, sostenendo che lo sviluppo più importante per il bambino durante il periodo edipico è rappresentato dal passaggio da un sistema a due, costituito dalla madre e dal bambino, a un sistema sociale a quattro, costituito dalla madre, dal padre, dal bambino e da un fratello dell'altro sesso.

Marcuse ha cercato di riconciliare Freud con uno schema di riferimento teorico hegeliano-marxista. Egli sembra accettare il concetto freudiano che vi è un contrasto tra la sessualità e la civiltà e che le realizzazioni culturali si possono ottenere al prezzo della rinuncia sessuale; ma ritiene, tuttavia, che a una repressione di

base della sessualità, necessaria per il raggiungimento della civiltà, sia stata aggiunta una 'repressione addizionale', imposta dalle classi sociali dominanti per i propri scopi. In un ambiente sociale basato sullo sfruttamento, la sessualità viene ridotta alla genitalità. Il resto del corpo umano viene desessualizzato: da oggetto di piacere esso diventa strumento di lavoro, al servizio delle classi dominanti. Come W. Reich, anche Marcuse riconosce a Freud il merito di aver capito l'importanza della sessualità, ma ritiene che non abbia fatto abbastanza per liberare la sessualità repressa. Marcuse reinterpreta anche l'uccisione del padre descritta in Totem e tabù. Mentre Freud pensava che i figli avessero ucciso il padre perché spinti dalla gelosia sessuale e dal desiderio di possedere le sue mogli, Marcuse ritiene che i figli costituissero una forza-lavoro proletaria, sfruttata dal padre capitalista. L'opera più importante di Marcuse che ha riferimento con la psicanalisi è Eros e civiltà, pubblicata nel 1954.

È difficile valutare l'influenza della psicanalisi sulla filosofia. Freud sosteneva di avere un'avversione intellettuale per la filosofia teoretica. Non vi è dubbio che le sue teorie e i suoi concetti più importanti, relativi allo stato inconscio dei processi psicologici, al simbolismo, al determinismo psichico, sollevino molti problemi metafisici che non sono ancora stati sufficientemente studiati dalle principali scuole di filosofia contemporanea.

2. I primi scissionisti

All'inizio degli anni venti parecchi discepoli di Freud si erano staccati dal movimento principale della psicanalisi. Tra questi vanno ricordati W. Stekel, S. Ferenczi (che non ruppe mai completamente con Freud) e W. Reich. Considereremo qui soltanto i tre principali dissidenti: Carl G. Jung, Alfred Adler e Otto Rank.

a) Carl G. Jung

Carl G. Jung nacque a Kesswil (Svizzera) nel 1875, e morì a Küsnacht nel 1961. Iniziò la carriera psichiatrica sotto la guida di Eugen Bleuler al Burghölzli, la clinica psichiatrica dell'Università di Zurigo. Nel 1907 pubblicò La psicologia della demenza precoce, che è rimasta un classico della psichiatria. In questo lavoro Jung applicò alla schizofrenia i concetti fondamentali sui meccanismi mentali illustrati da Freud nella Interpretazione dei sogni. Dal 1907 al 1913 Jung si considerò un allievo di Freud. Nel 1909, anzi, i due fecero assieme un viaggio in America, invitati a tenere delle lezioni alla Clark University. Nel 1913 Jung ruppe ogni rapporto con l'Università di Zurigo, con Freud e con la Società Psicanalitica Internazionale, che egli stesso aveva fondato.

Jung riteneva che Freud desse troppa importanza al sesso e alla sessualità infantile, alla realizzazione dei desideri, agli aspetti negativi dell'inconscio e in generale a ciò che vi è di primitivo nell'uomo. Egli accentuò

gli aspetti spirituali dell'essere umano e fu meno influenzato di Freud dall'indirizzo prevalente positivistico-scientifico del sec. XIX. Molti, anzi, hanno considerato Jung molto meno scienziato di Freud e molto più metafisico. Alcuni attribuiscono queste caratteristiche al suo temperamento, altri al suo ambiente familiare e specialmente al fatto che vi erano stati molti influenti teologi protestanti nel ramo materno della sua famiglia. Jung viaggiò molto e si dedicò ad approfonditi studi di culture diverse per individuarne gli elementi e i motivi ricorrenti. Dopo il 1911 egli non si considerò più uno psicanalista e chiamò la sua teoria e la sua terapia "psicologia analitica". In realtà, egli prese da Freud parecchi concetti fondamentali, come quelli di libido, di inconscio, di interpretazione dei sogni, ecc., ma diede loro significati e accentuazioni diversi.

Il concetto fondamentale della teoria junghiana è quello di 'inconscio collettivo'. Mentre Freud parlava quasi esclusivamente di un inconscio personale, comprendente gli effetti delle esperienze della vita, specialmente di quelle dell'infanzia, Jung riteneva insufficiente un'interpretazione ontogenetica dell'inconscio. Egli riteneva che, oltre all'inconscio personale vi sia anche in ogni individuo un inconscio collettivo che custodisce le immagini primordiali depositate come risultato di innumerevoli ripetizioni di situazioni identiche. Questo inconscio collettivo o razziale contiene le credenze e i miti della razza cui l'individuo appartiene, e i suoi livelli più profondi formano l'inconscio universale, comune a tutta l'umanità.

Le immagini primordiali dell'inconscio collettivo sono gli 'archetipi', cioè delle forme, delle affermazioni, delle verità fondamentali e ricorrenti, che si trovano nelle culture più disparate, indipendentemente dalla geografia e dalla storia. La cultura utilizza l'archetipo, già presente nell'inconscio collettivo, e in una certa misura lo trasforma. L' 'analogo' è un equivalente dell'archetipo, dopo che la cultura ne ha modificato l'aspetto. L'archetipo di Jung, tuttavia, non è semplicemente una struttura formale; esso ha anche un contenuto che viene determinato dall'inconscio collettivo. Gli archetipi ricompaiono come simboli nei sogni. Mentre Freud dava dei sogni un'interpretazione prevalentemente sessuale, per cui, ad esempio, le scatole e le caverne rappresentano gli organi genitali femminili, e le penne, gli ombrelli e i bastoni rappresentano il pene, Jung pose l'accento sui simboli non sessuali. I simboli individuali nella teoria junghiana sono una riproduzione di un archetipo universale: per esempio, il ventre della propria madre rappresenta il ventre archetipico della Grande Madre di tutta l'umanità, il proprio padre è una riproduzione del padre archetipico, e così via.

È pertanto possibile trovare nei concetti fondamentali di Jung una fusione originale di due diverse concezioni basilari: una è la concezione platonica delle idee innate, l'altra è la concezione lamarckiana dell'evoluzione, in base alla quale i mutamenti biologici sono determinati dal ripetersi di fattori ambientali. Secondo Jung, la libido comprende non soltanto la sessualità ma tutta l'energia vitale, una forza vitale che forse corrisponde all'élan vital di Bergson.

La regressione non è necessariamente un fenomeno negativo, in quanto permette il contatto con i livelli più profondi e spirituali della psiche. Mediante la regressione ai livelli arcaici si può raggiungere un adattamento

creativo o una nuova combinazione: "l'arcaico sostituisce la funzione recente che è fallita". Secondo Jung, il futuro svolge un ruolo più importante del passato nel determinare lo stato psicologico dell'individuo. La psicoterapia junghiana utilizza le libere associazioni, come la psicanalisi freudiana, e mira a mettere il paziente in contatto con l'inconscio collettivo. Gli insegnamenti di Jung hanno avuto ripercussioni sulla teoria estetica, sulla filosofia e sulla psichiatria in generale. Se dovessimo riassumere i suoi contributi in una frase, potremmo dire che, mentre Freud ha esplorato i recessi 'personali' della psiche che prima erano sconosciuti, Jung ha tentato di esplorare le forze primitive più profonde e 'impersonali'.

Sia negli Stati Uniti che in Europa si sono formati gruppi di terapisti che esercitano la psicologia analitica, ma sono rimasti in numero limitato. Dopo la seconda guerra mondiale Jung fu criticato per una presunta eccessiva indulgenza verso il regime nazista e per aver nutrito tendenze antisemite. Queste dicerie, che gli junghiani insistono nel dichiarare infondate, possono aver contribuito a limitare la popolarità della concezione junghiana, specialmente negli Stati Uniti. (v. psicologia analitica).

b) Alfred Adler

Alfred Adler nacque a Vienna da famiglia ebraica nel 1870 e morì ad Aberdeen (Scozia) nel 1937. Egli si unì dapprima al gruppo di Freud, ma dopo la pubblicazione del suo libro *Studio dell'inferiorità d'organo e della sua compensazione psichica* (1907) crebbero le divergenze tra lui e Freud, finché nel 1911 avvenne tra loro una rottura totale. Nel 1912 Adler chiamò la propria scuola "psicologia individuale". Dapprima la rottura con Freud non sembrava necessaria, poiché si potevano interpretare i lavori di Adler come contributi alla psicologia dell'Io, ancora compresa nello schema di riferimento più ampio della teoria freudiana. La scissione divenne inevitabile quando ciò che Adler aveva espresso nel suo libro sull'inferiorità d'organo sembrò diventare il punto centrale della sua teoria. Egli, infatti, considerava il senso d'inferiorità (che più tardi, nel 1925, chiamò complesso d'inferiorità) uno degli aspetti fondamentali della vita psicologica.

L'inferiorità può essere causata da un difetto fisico od organico e può determinare diverse compensazioni psicologiche. Talvolta la compensazione è soddisfacente. Per esempio, Demostene, che da ragazzo era balbuziente, educò con l'esercizio il suo modo di parlare e divenne un grande oratore. Napoleone, piccolo di statura, divenne per un certo periodo della storia europea l'autorità politica suprema.

Il difetto fisico o la deformità, tuttavia, non sono le cause uniche o più frequenti dell'inferiorità. Il bambino, soprattutto se non è sufficientemente amato, si sente inferiore, piccolo, indifeso e alla mercé degli altri in un mondo di adulti. Fin dai primi anni di vita il bambino sviluppa la sua strategia, ossia degli atteggiamenti per compensare questo sentimento d'inferiorità. Tali atteggiamenti costituiscono il suo 'stile di vita'. Il sistema psicologico di Adler è più teleologico e meno deterministico di quello freudiano. In tutte le manifestazioni

della vita egli vede una tensione e un orientamento verso uno scopo. Gli scopi principali sono la conquista di un posto di livello elevato nell'ambito sociale, l'aumento dell'autostima e il sentimento di superiorità.

Nel tentativo di superare i sentimenti d'inferiorità l'individuo può ritirarsi nella malattia. Il nevrotico può trovare in questo stato un pretesto per evitare le situazioni che potrebbero rivelare la sua inferiorità. Egli può servirsi del suo stato per esercitare un potere su altre persone disposte a prendersi cura di lui. Molti fenomeni che Freud considerava di natura sessuale vengono interpretati da Adler come tentativi di combattere i sentimenti d'inferiorità.

Secondo Adler, i tre problemi principali della vita sono quello professionale, quello sociale e quello sessuale. I problemi professionali riguardano il lavoro, mentre i problemi sociali riguardano tutte le funzioni umane sviluppate in rapporto agli altri. Nel 1910 Adler coniò l'espressione "protesta virile" per indicare la ricerca del potere in un individuo, maschio o femmina, che si sente inferiore. Più tardi, l'espressione fu usata soltanto a proposito delle donne che non accettano un ruolo subalterno rispetto agli uomini nella società. Adler non pensava che le donne fossero fisicamente o psicologicamente inferiori agli uomini, come gli scritti di Freud sembrano sottintendere.

Pur dando meno importanza di Freud all'interpretazione dei sogni, anch'egli tuttavia ne fece oggetto di studio. Secondo lui, nei sogni il sognatore cerca di risolvere quei problemi che si sente incapace di affrontare da sveglia. Adler riteneva che le persone coraggiose e ben adattate sognino raramente.

La scuola di Adler non ha mai raggiunto l'importanza di quella freudiana né in Europa né in America. Il significato delle sue prime opere non fu compreso e il suo sistema è stato spesso considerato secondario rispetto a quello freudiano. In realtà, i suoi concetti fondamentali hanno trovato una larga diffusione, senza un riconoscimento esplicito della loro origine. Molte idee espresse più tardi da vari terapisti appartenenti a scuole diverse sono riformulazioni dei concetti fondamentali di Alfred Adler. Molti terapisti attualmente vedono nello sforzo di combattere un sentimento d'inferiorità il problema fondamentale del nevrotico. Questi stessi terapisti non sono propensi a vedere come problema fondamentale un complesso freudiano connesso esclusivamente o principalmente con l'attività sessuale. I figli di Adler, Alexandra e Kurt, hanno continuato negli Stati Uniti l'opera del padre. L'esponente principale, dal punto di vista teoretico, della scuola adleriana è oggi probabilmente Heinz L. Ansbacher.

c) Otto Rank

Otto Rank lavorò per molti anni con Ferenczi, tentando di mettere a punto una forma breve di psicoterapia. Il concetto fondamentale di Rank è quello del trauma della nascita. Egli osservò che molti attacchi d'angoscia sono accompagnati da fenomeni fisiologici simili a quelli che si verificano durante il processo della nascita. Questa osservazione condusse Rank a postulare che le nevrosi hanno origine dal trauma della nascita e non

dalla situazione edipica, come sosteneva Freud. Qualunque tipo di separazione, come lo svezzamento (separazione dal seno), la castrazione (separazione dal pene) o la separazione da una persona amata, va ricollegato con la separazione originaria che avviene alla nascita. Connesse con questa angoscia di base sono la 'paura della vita' e la 'paura della morte'. Quando l'individuo diventa consapevole delle sue capacità creative e del suo bisogno di affermarsi, può andare incontro alla paura della vita. Se perde la propria individualità e si lascia sommergere dagli altri, va incontro alla paura della morte.

Il nevrotico non accetta le norme della società, come fa la persona normale, nè è capace di affermare la propria personalità, come fa la persona creativa. Il suo timore del conseguente isolamento lo immobilizza. Rank finì per adottare quella che chiamò "terapia della volontà", basata sull' 'adattamento attivo' e sul fatto di aiutare il paziente a liberarsi dal senso di colpa provato nell'atto di affermarsi.

3. Le scuole britanniche

Con l'avvento del nazismo, il centro della creatività psicanalitica si spostò dall'Austria, dall'Ungheria e dalla Germania alla Gran Bretagna e agli Stati Uniti. In Gran Bretagna Anna Freud completò il suo importante lavoro sulle difese dell'Io, al quale abbiamo già fatto riferimento.

Ian Suttie è una significativa personalità di revisore della psicanalisi classica in Inghilterra. Egli criticò l'interpretazione freudiana del rapporto madre-bambino. Secondo lui, tale rapporto è basato sull'amore, non sul sesso. Le gratificazioni che ricava dal contatto con il corpo della madre diventano ben presto superflue per il bambino. Il giuoco, la collaborazione, la competizione e gli interessi culturali diventano dei sostituti del "rapporto reciprocamente carezzevole del bambino e della madre". L'intero ambiente sociale prenderà il posto occupato in precedenza dalla madre. Mentre per Freud la civiltà ha un'influenza prevalentemente repressiva sull'individuo, per Suttie la cultura deriva dall'attività ludica, che dà all'individuo un senso di sicurezza e di cameratismo quando la vicinanza della madre diventa meno importante.

Le due scuole britanniche più importanti sono quelle di Melanie Klein e di Douglas Fairbairn.

a) Melanie Klein

Melanie Klein nacque a Vienna nel 1882 e morì a Londra nel 1960. Non poté mai seguire gli studi di medicina, ma s'interessò ben presto di psicanalisi e fece la sua preparazione con S. Ferenczi e K. Abraham. Ella riconobbe sempre il suo debito verso Freud, ma sviluppò ben presto teorie e tecniche proprie.

Contrariamente ad Anna Freud, che lavorava con bambini più grandi e applicava loro il metodo dell'analisi degli adulti, la Klein introdusse nuove tecniche per i bambini dai due ai sei anni di età. Ella dava loro dei

giocattoli e interpretava i loro giuochi come se fossero libere associazioni verbali. Più tardi estese agli adulti le nuove intuizioni ottenute nel trattamento dei bambini.

La Klein insisteva sulla necessità di non rassicurare il paziente, per quanto angosciato fosse, e di non sottoporlo a tecniche educative nel corso del trattamento. Ella riteneva che a lungo andare questi metodi andassero a scapito del paziente. La Klein pensava anche che l'interpretazione debba riguardare tutto ciò che sembra essere la fonte attuale di angoscia per il paziente, ma considerava i fattori ambientali molto meno importanti di quanto facessero gli altri analisti. Il Super-Io, che secondo la scuola freudiana si sviluppa all'incirca all'età di quattro anni, secondo la Klein ha origine nei primi mesi di vita. La rivalità nei confronti del genitore del medesimo sesso inizia fin dallo stadio orale. Il padre viene interiorizzato come un oggetto che nega il seno al bambino. Durante questi primi mesi, il bambino non fa distinzione fra se stesso e il mondo e divide gli oggetti in due categorie: gli oggetti buoni, che gli procurano piacere, e gli oggetti cattivi, che gli procurano dolore. Il primo e il più importante oggetto del bambino è il seno della madre, fonte di piacere (quando elargisce il nutrimento) o di dolore (quando lo nega).

L'atto biologico della suzione del latte diventa, a livello psicologico, introiezione; l'atto della defecazione diventa, a livello psicologico, proiezione. Due fra i concetti più importanti della Klein sono quelli di posizione schizoparanoide e posizione depressiva. Queste posizioni si susseguono: prima si instaura la schizoparanoide e poi la depressiva. Pertanto, esse sono dapprima delle fasi di sviluppo, ma nella misura in cui restano come meccanismi psicologici fondamentali per tutta la vita dell'individuo, vengono chiamate posizioni.

Nell'ambito della posizione schizoparanoide, il bambino sdoppia l'oggetto seno in un seno buono che lo ama e un seno cattivo che lo odia. Questi sentimenti di amore e odio vengono proiettati sul seno, ma al bambino sembra che vengano dal mondo esterno. Essi vengono interiorizzati, diventano oggetti interni, e di conseguenza il bambino si sente alternativamente amato e attaccato dall'interno. Gli oggetti interni vengono alternativamente riproiettati e reintroiettati. La proiezione degli oggetti cattivi costituisce la posizione persecutoria. All'età di due o tre mesi il bambino si trova al livello di sviluppo orale e l'aggressione assume la forma di fantasie connesse col mordere, lacerare, distruggere. Più tardi il bambino teme che i suoi impulsi avidi e aggressivi abbiano distrutto il seno buono, o perfino la madre e il padre. Egli allora prova una tristezza che ricorda il lutto: è questa la posizione depressiva, che può risultare la crisi più importante del suo sviluppo. Il bambino accetta la responsabilità e vuole riparare; se non riesce in questo intento, può assumere posizioni difensive, come lo stato maniacale, o regredire alla posizione schizoparanoide. La terapia generalmente mira ad analizzare la riesperienza della posizione depressiva e a reintegrare le parti scisse del Sé.

M. Klein diede molta importanza all'invidia arcaica; mentre Freud vedeva il pene come il più importante oggetto d'invidia da parte delle bambine, la Klein considera il seno come l'oggetto di un'invidia primitiva da

parte sia dei bambini che delle bambine: al seno vengono attribuite tutte le buone qualità che mancano al bambino.

La scuola kleiniana ha avuto molti insigni seguaci in Inghilterra, fra cui i più importanti sono S. Isaacs, R. E. Money-Kyrle, H. Segal, D. W. Winnicott e H. Rosenfeld; in Italia ha un sostenitore convinto in F. Fornari; negli Stati Uniti non ha avuto praticamente alcun seguito, mentre domina la scena psicanalitica nell'America del Sud e specialmente in Argentina.

b) Donald Fairbairn

La scuola delle relazioni oggettuali ebbe inizio con gli scritti di Donald Fairbairn, più tardi reinterpretati ed elaborati da Harry Guntrip. Fairbairn prese molto da Freud e da Melanie Klein. Ma mentre Freud si occupava soprattutto della lotta sostenuta dall'Io per cercare di controllare, su intimaione del Super-Io, gli impulsi provenienti dall'Es, Fairbairn vide il principale ostacolo all'evoluzione psicologica nella difficoltà dell'Io a formare relazioni oggettuali. La persona schizoide è incapace di affrontare le relazioni oggettuali e il suo Io subisce una scissione.

Lo sviluppo della personalità individuale avviene attraverso i rapporti oggettuali interpersonali. Secondo Fairbairn non vi è alcuna divisione tra l'energia (Es) e la struttura (Io e Super-Io). Tutto è Io. Buone relazioni oggettuali promuovono uno sviluppo positivo dell'Io e viceversa.

Alla nascita l'Io presenta un'unità che poi subisce una scissione a causa delle esperienze negative precoci nei rapporti oggettuali. L'Io si divide in tre Sub-Io: a) un Io libidico infantile; b) un Io antilibidico infantile; c) l'Io centrale o Sé cosciente. La libido è l'impulso vitale primario verso le relazioni oggettuali ed è necessaria per la crescita dell'Io. L'aggressività è una reazione alla frustrazione e ha uno scopo difensivo.

4. Le scuole neofreudiane americane

Durante e dopo la seconda guerra mondiale si sono sviluppate negli Stati Uniti diverse scuole di psicanalisi generalmente chiamate neofreudiane. I seguaci di queste scuole non considerano i loro sistemi privi di rapporti con la teoria freudiana, come facevano i primi scissionisti, ma al contrario ammettono tutti il loro debito verso Freud. Allo stesso tempo, essi minimizzano o rifiutano una parte della teoria freudiana e rivolgono la loro attenzione ad aspetti della psiche umana che ritengono siano stati sottovalutati o trascurati da Freud.

Queste scuole hanno alcune caratteristiche in comune. Esse rifiutano tutta la teoria della libido di Freud. L'esistenza di un'energia sui generis che sia alla base di tutti i fenomeni mentali sembra loro un'ipotesi superflua: i neurofisiologi non sono riusciti a individuare questa energia, d'altra parte la propagazione dell'impulso nervoso da un neurone all'altro non richiede un'energia speciale e la motivazione, cosciente o

inconscia, si può spiegare in termini di 'affettività' piuttosto che di catessi. Tutti questi autori neofreudiani non credono che lo sviluppo della personalità dipenda da forze istintuali, che la sessualità sia il fattore principale e che la teoria edipica abbia un'applicabilità generale o debba essere interpretata allo stesso modo di Freud. Un'altra caratteristica che queste scuole hanno in comune è l'importanza data ai fattori socioculturali. Anzi, alcuni dei loro seguaci, ma non tutti, si chiamano culturalisti.

a) L'indirizzo interpersonale di Harry Stack Sullivan

Sullivan nacque negli Stati Uniti nel 1892 e morì improvvisamente a Parigi nel 1949. Mentre Fairbairn parlava di relazioni oggettuali, Sullivan parla di relazioni interpersonali, poiché le relazioni che contano sono quelle con le altre persone, a cominciare da quelle con la propria madre. Secondo Sullivan - che fu molto influenzato dallo psichiatra A. Meyer, dal sociologo G. H. Mead e dall'antropologo E. Sapir - i comportamenti umani si possono dividere in due categorie: quelli necessari per la ricerca della soddisfazione e quelli necessari per la ricerca della sicurezza. I bisogni fondamentali del sonno, del riposo, del mangiare, del bere, di un asilo, del sesso e della vicinanza di un altro corpo, determinano uno stato di tensione. La soddisfazione è l'appagamento di tali bisogni. La sicurezza si basa invece su altri bisogni derivati dai rapporti con le altre persone e con la propria cultura. I modi in cui la persona cerca di soddisfare i propri bisogni si chiamano 'dinamismi'.

Dapprima il bambino sente per empatia se è accettato o no. L'empatia è una specie di 'contagio o comunione emotiva' tra il bambino e le persone che si prendono cura di lui. Queste persone importanti, generalmente i genitori, vengono chiamate da Sullivan "adulti significativi". I bisogni del bambino evocano una reazione di tenerezza nella madre. Mentre le teorie precedenti postulavano nella madre un istinto materno, Sullivan postula che la tenerezza della madre sia suscitata dai bisogni del bambino.

Poiché l'individuo in via di sviluppo richiede delle relazioni interpersonali per soddisfare i suoi bisogni, può essere difficile raggiungere uno stato di sicurezza. Il 'sistema del Sé' si sviluppa dalle esperienze interpersonali che l'individuo ha con gli altri, le quali avvengono in tre modi. Il primo modo è quello 'prototassico': l'esperienza è indifferenziata, non essendo divisa in unità o entità separate; gli stati momentanei del tipo prototassico sono per lo più impossibili da formulare e da comunicare. L'esperienza 'paratassica' è prelogica e ha un significato personale, difficile da condividere. Il modo 'sintassico' è condiviso dagli altri e può ricevere una 'validazione consensuale'.

L'angoscia viene generalmente percepita nel modo paratassico. Il bambino può interpretare male ed essere frainteso, con una conseguente diminuzione nella validazione consensuale. Quando il bambino, a causa della sua angoscia, confonde la natura degli stimoli e resta danneggiato, ha luogo la 'trasformazione malevola'.

L'angoscia è il concetto più importante nel sistema di Sullivan e va interpretata soltanto in un contesto interpersonale. Una quantità modesta di angoscia può essere perfino utile nell'esperienza dell'apprendimento,

ma una quantità eccessiva può portare a stati patologici. Il 'movente del potere' consiste nella capacità di evitare l'angoscia e di mantenere la sensazione della capacità di funzionare.

Il Sé viene concepito da Sullivan come costituito da 'apprezzamenti riflessi', vale a dire l'atteggiamento degli altri verso il Sé diventa l'atteggiamento dell'individuo verso se stesso. Mentre Freud parlava dell'inconscio, Sullivan preferisce usare i termini 'disattenzione selettiva' e 'dissociazione'.

Una psicosi schizofrenica viene interpretata da Sullivan come il ritorno al livello della consapevolezza di contenuti che erano in precedenza dissociati, sicché il dinamismo del Sé non riesce a mantenere il controllo. L'irruzione di materiale dissociato impedisce un modo normale di vivere e suscita nel paziente uno stato di panico.

Lo stile difficile di Sullivan e la sua terminologia personale possono rendere il lettore meno disposto ad accettare le sue intuizioni originali. Nonostante queste difficoltà, il nucleo del suo messaggio è stato compreso. Il suo concetto fondamentale è che si diventa una 'persona' in virtù dei rapporti con altri esseri umani e non in virtù di pulsioni istintuali innate. Un rapporto soddisfacente con la propria madre è il presupposto di una vita in cui ci si possa realizzare, ma un rapporto alterato nell'infanzia e nell'adolescenza determina delle alterazioni nei rapporti della vita adulta che si manifestano come disturbi psichiatrici. La parte importante della terapia consiste nello scoprire in che modo il paziente è arrivato a essere la persona che è. L'esame delle situazioni attuali porta alla rievocazione delle prime esperienze. Il terapeuta partecipa attivamente: nella situazione terapeutica egli non è soltanto un osservatore ma anche un partecipante.

Coloro che sono stati influenzati da Sullivan hanno proseguito il suo lavoro pionieristico nell'ambito dello schema di riferimento interpersonale. Essi hanno aperto nuovi campi d'indagine psichiatrica studiando la persona nel contesto sociale in cui la maggior parte dei fenomeni psicologici ha origine, si sviluppa e va incontro a deviazioni. La terapia della famiglia e la terapia di gruppo hanno ricevuto un impulso indiretto al loro sviluppo dal rilievo dato da Sullivan alla dimensione interpersonale. In particolare, lo studio di Th. Lidz sulla famiglia dei pazienti schizofrenici ha rapporti teorici con i concetti fondamentali di Sullivan.

Alcuni psichiatri criticano l'indirizzo esclusivamente sullivaniano. Essi ritengono che, in ciò che sembra la visione più ampia del contesto interpersonale o sociale, dobbiamo evitare accuratamente il pericolo di non rispettare la persona nella sua distinzione dalle altre, nella sua individualità e nella sua autonomia. Queste caratteristiche sono altrettanto importanti quanto quelle che derivano dall'appartenenza a una struttura sociale. Per esempio, sotto l'influenza indiretta della scuola sullivaniana, alcuni autori vanno più in là di Sullivan nell'indirizzo interpersonale e vedono la schizofrenia esclusivamente come un dramma sociale o intrafamiliare. Questi autori trascurano il fatto che il dramma deve essere interiorizzato in modi specificamente anormali affinché determini la schizofrenia.

Sullivan fu il fondatore della Washington School of Psychiatry a Washington e uno dei fondatori del William Alanson White Institute a New York, che è stato il più importante centro d'insegnamento della psicanalisi a indirizzo sullivaniano.

b) L'indirizzo culturale di Erich Fromm

Fromm, insieme a Sullivan, fu uno dei fondatori del William Alanson White Institute e rimase uno dei suoi insegnanti più in vista finché non si trasferì a Città del Messico. Come Sullivan, Fromm non si occupa dell'individuo in se stesso ma nei suoi rapporti col mondo. Mentre Sullivan si interessa soprattutto dei rapporti tra il paziente e le persone che entrano in stretto contatto con lui, specialmente i membri della sua famiglia e quanti appartengono al suo ambiente, Fromm si occupa soprattutto dei rapporti tra l'individuo e la società in generale.

In vari periodi della sua vita Fromm ha subito influenze marxiste, zen-buddiste ed esistenzialiste. Sembra che sia stato influenzato anche da J. Burckhardt, R. H. Tawney e Max Weber. Mentre Freud pensava sostanzialmente che la cultura è fatta dall'uomo, Fromm crede che in larga misura sia la cultura a fare l'uomo: la cultura determina molti bisogni dell'uomo. In Fuga dalla libertà, egli distingue due tipi di libertà: la libertà da (per esempio dalla schiavitù) e la libertà di (per esempio la libertà di vivere, di svilupparsi, di godere la vita). Quando le persone non sono capaci di usare la 'libertà di', esse rifiutano la 'libertà da' e possono perfino accettare un regime totalitario come quello nazista. Quando un individuo è incapace di affrontare le dicotomie fondamentali della vita può cercare dei meccanismi di fuga. Le dicotomie fondamentali o esistenziali sono le seguenti: far parte della natura e trascenderla, avere molte potenzialità e non realizzarle. Alcune dicotomie sono soltanto sociali e storiche (per esempio, la fame in mezzo all'abbondanza) e possono essere risolte dagli uomini se essi lo vogliono.

Le dicotomie esistenziali non possono essere risolte, anche se si cerca spesso di negarle con le ideologie o con illusioni, come quella dell'immortalità dell'anima. Mentre Freud vedeva la religione come una nevrosi, Fromm vede la nevrosi come una forma particolare di religione, che ne differisce soprattutto per le sue caratteristiche individuali e non istituzionalizzate.

Quando l'uomo, in mezzo alla sua nevrosi e a una società alienata, cerca di fuggire dalle sue sensazioni d'impotenza e di solitudine, ricorre a quattro meccanismi di fuga: 1) il masochismo morale. La persona è debole e dipendente, si appoggia agli altri, ma maschera il suo stato con un atteggiamento di amore, devozione, collaborazione, lealtà; 2) il sadismo, ovvero il bisogno di sfruttare gli altri o di renderli dipendenti da sé; 3) la distruttività. L'individuo sfugge alla sua sensazione d'impotenza eliminando qualunque termine di confronto. Egli raggiunge questo scopo distruggendo. Il suo atteggiamento viene formulato da Fromm nel modo seguente: "Posso sfuggire alla sensazione della mia impotenza nei confronti del mondo esterno

distruggendolo"; 4) il conformismo da automa. Il soggetto cerca di eliminare completamente le differenze tra sé e gli altri e modella tutta la sua personalità in conformità con il modello culturale prevalente.

Secondo Fromm, la personalità è il risultato di un 'temperamento' biologico (classificato in termini ippocratici come collerico, sanguigno, flemmatico e melancolico) e di un 'carattere' che si forma nell'ambiente familiare. Fromm distingue cinque tipi di carattere: 1) il carattere recettivo. L'individuo si aspetta che tutto gli provenga da fonti esterne; egli accetta passivamente, è dipendente e vuole che ci si prenda cura di lui; 2) il carattere sfruttatore. Questa persona ricorre fondamentalmente a metodi sadici: è aggressiva, ostile, sfrutta gli altri; 3) il carattere accumulatore. Come il carattere anale freudiano, il carattere accumulatore basa la sua sicurezza sull'accumulo e sul risparmio; 4) il carattere mercantile, che basa la sua sicurezza sul conformismo da automa. Costui si socializza adattandosi agli altri, 'vendendosi': è un prodotto della società moderna; 5) il carattere produttivo, che corrisponde al carattere genitale di Freud. Questa persona è capace di amare gli altri e di essere creativa; per poter amare gli altri deve amare se stessa.

Dal punto di vista terapeutico Fromm non ha elaborato tecniche particolari. Egli ritiene che l'analista debba avere una funzione attiva e interpreta i sogni come espressione delle parti razionali, oltre che di quelle irrazionali, della personalità.

c) L'indirizzo olistico di Karen Horney

La Horney fu uno dei primi analisti a mettere in discussione certi concetti fondamentali di Freud, come la teoria della libido, l'aspetto economico della psicanalisi e la divisione della psiche in Es, Io e Super-Io. Ella vede l'individuo in uno schema di riferimento olistico, come un'unità chiamata il Sé. In realtà distingue tre tipi di Sé: 1) il 'Sé reale', che è l'individuo com'è in realtà, così come lo hanno plasmato la vita e tutte le sue esperienze; 2) il 'Sé vero', ovvero "quella forza centrale, comune a tutti gli esseri umani, eppure unica in ciascuno, che è la fonte profonda della crescita. Il nostro Sé vero, quando è forte e attivo, ci permette di prendere decisioni e di assumerne la responsabilità. Esso ci conduce pertanto a una integrazione genuina e a un sano senso d'interesse e di unicità". Il Sé vero è la parte dinamica della personalità, che guida l'individuo nei suoi tentativi di realizzazione di sé; 3) il 'Sé idealizzato', che corrisponde a un'immagine grandiosa di sé che l'individuo si costruisce e cerca invano di realizzare. Il paziente cerca di adeguarsi alla sua immagine grandiosa fornendo prestazioni al di là delle sue capacità e compiendo grandi sacrifici. Ma l'immagine, per quanto irrazionale, ha un aspetto piacevole ed è difficile da abbandonare. Benché abbia origine da fantasie coscienti, essa diventa poi inconscia e finisce per influire su tutti gli aspetti della personalità. Ciò che l'individuo dovrebbe cercare di realizzare non è il Sé idealizzato ma quello vero. Lo scopo dell'individuo dovrebbe essere la realizzazione di sé, ma l'ostacolo è rappresentato dalla nevrosi.

La nevrosi si trova in un rapporto causale con l'angoscia di base', che ha origine nell'infanzia ed è il risultato di atteggiamenti parentali inappropriati, quali il rifiuto, l'ostilità, la preferenza per altri figli, ecc. Per controbilanciare le distorsioni degli atteggiamenti parentali e diminuire l'angoscia di base, il bambino sviluppa tre modalità di mettersi in rapporto con gli altri: l'andare verso', l'andare contro' e l'andare via'.

L'andare verso caratterizza un tipo di personalità che si può descrivere come compiacente, sottomesso, ingraziante, che cerca di essere accettato mostrandosi conciliante con gli altri e aderendo alle loro richieste.

L'andare contro caratterizza un tipo di personalità aggressivo, ostile, prepotente. L'andare via caratterizza un tipo di personalità che si distacca e diventa disimpegnato e indifferente.

I tre tipi di personalità determinano diversi modi di vivere, ma non si trovano mai in forma pura. Un tipo prevale, mentre gli altri due restano sullo sfondo. Nel tentativo di realizzare il Sé idealizzato, il paziente fa agli altri delle richieste nevrotiche, non realistiche. Egli si aspetta di essere trattato dagli altri così come lo esigerebbe la grandiosa immagine che ha di sé. Egli fa anche a se stesso delle richieste non plausibili: deve far questo, non deve far quello. Si trova sottoposto a ciò che la Horney chiama "la tirannia dei devì"; senonché questi 'devì' "mancano della serietà morale dei veri ideali". Essi comportano l'orgoglio nevrotico, o falso orgoglio: quando tale orgoglio viene offeso, si sente il bisogno di riparare in modo nevrotico, ad esempio con la ritorsione o la vendetta.

Nella ricerca della gloria l'individuo si estrania dal suo Sé reale e da quello vero. Non riuscendo ad adeguarsi alle aspettative del proprio Sé idealizzato, egli finisce con l'odiarsi.

La Horney distingue due tipi di conflitti: a) quello di base, che è un conflitto tra due soluzioni nevrotiche; b) quello centrale, che è un conflitto tra il Sé nevrotico e quello vero. Per risolvere i conflitti di base il nevrotico adotta tre soluzioni principali: l'autoannullamento, l'espansività e la rassegnazione.

Nello schema teorico della Horney il concetto di alienazione ha un'importanza particolare: l'individuo diventa impersonale, estraniato da se stesso, perde la capacità di essere consapevole dei suoi sentimenti genuini e talvolta persino delle sue sensazioni. La Horney vede la terapia soprattutto come un movimento verso la realizzazione di sé. I suoi principali seguaci sono M. Ivimey, H. Kelman, E. Kilpatrick, I. Portnoy e J. Rubins.

Psichiatria

Enciclopedia del Novecento (1980)

di Bruno Callieri

Psichiatria

sommario: 1. Natura ed esistenza in psichiatria. 2. Psichiatria clinica. 3. La psichiatria secondo le età della vita: a) psichiatria infantile e dell'adolescenza; b) psichiatria dell'età avanzata. 4. Psichiatria organica e biologica: a) psichiatria organica; b) psichiatria biologica. □ 5. Psicofarmacologia. 6. 'Psichiatria animale'. 7. Psichiatria dinamica e psicosomatica: a) psichiatria dinamica; b) psicosomatica. 8. Psicoterapia. 9. Psichiatria fenomenologico-esistenziale. 10. Psichiatria sociale e di comunità: a) psichiatria sociale; b) psichiatria di comunità. 11. Psichiatria culturale ed etnopsichiatria. 12. Antipsichiatria. 13. Psichiatria forense. 14. La svolta dell'assistenza psichiatrica. La riforma legislativa in Italia. 15. La formazione dello psichiatra. 16. Le controversie più attuali. 17. I 'matrimoni esogamici' della psichiatria.

1. Natura ed esistenza in psichiatria

Quasi un secolo e mezzo fa, sulla scia del tardo illuminismo, il pensiero positivista, in contrapposizione al declinante romanticismo, consentiva la grande fioritura della medicina sperimentale secondo il modello delle scienze naturali, permettendo però anche di andare incontro a suggestioni riduttive, facilmente erigibili a sistema.

Quando la famosa tesi di W. Griesinger "le malattie mentali sono malattie del cervello" (1863) guadagnò il favore generale, eclissando sia l'antropologia kantiana sia la psichiatria morale di Billroth, lo psichiatra (o, meglio, il medico alienista) non poteva accorgersi, determinato univocamente nell'ambito naturalistico-medico, che egli finiva per essere obiettivante, cioè per reificare l'Altro, la persona, costringendolo in toto nell'anonimato di categorie oggettuali. Il suo operare restava essenzialmente adialettico, conchiuso nell'identificazione causale psiche-cervello.

Anche se va senz'altro riconosciuto il pieno diritto e il fecondissimo orizzonte del naturalismo psichiatrico (v. cap. 4), oggi non si può non condividere appieno il pensiero di L. Binswanger, il padre dell'approccio fenomenologico-esistenziale in psichiatria, e cioè che "l'ottimismo della conoscenza consiste qui nel ritenere che il problema della psichiatria vada risolto solo per la via dell'ipotesi naturalistica. Una tale fede è possibile solo se non si è consapevoli che l'essere umano soltanto unilateralmente è caratterizzato dalla 'vita' o dal suo 'essere naturale', mentre invece necessita, per essere pienamente compreso, della caratterizzazione come presenza. [...] La psichiatria è, basicamente, una scienza dell'uomo, dell'esistenza umana" (v. Binswanger, 1955). Il lavoro dello psichiatra deve dunque, anche e soprattutto, esser diretto all'incontro con l'altro, cioè orientato a comprendere l'uomo nella sua globalità (v. von Baeyer, 1955; v. von Baeyer e Griffith, 1966; v. AA. VV., 1957).

Nella tensione bipolare fra 'natura' ed 'esistenza', fra 'spiegazione' e 'comprensione', fra l'osservazione oggettiva del caso clinico e l'incontro con l'altro, si pone la teoresi causalistica psicanalitica con la sua

molteplice feconda prassi umanistica, con una dialettica sempre più consapevole fra naturalità e storicità dell'uomo, ma con una irriducibile ambiguità fra spiegare e comprendere. D'altronde, non si può non riconoscere che, sia pure in un senso ben diverso da quello positivista, "la consapevole distanza dell'obiettivazione non è un tradimento esistenziale della persona malata ma è l'indispensabile condizione dell'attività psichiatrica" (v. Straus e altri, 1969) e che il fatto che 'una' relazione 'io-lui' non possa esser trasformata 'nella' relazione 'io-tu' è una manifestazione primaria, mondana della psicosi: scoprirne la base resta il vero compito dello psichiatra che, a qualunque scuola o indirizzo appartenga, deve mantenersi sempre, come dice H. Tellenbach, "camaleonte di metodi".

Nella pratica lo psichiatra non incontra l'altro come un 'socio' (compagno, fellow-man) che egli poi riduce a caso clinico; no, egli incontra un caso clinico, sia pure di tipo particolare: mentre molto spesso il 'male' (disagio) viene denunciato o temuto dal paziente stesso che, accorgendosi che c'è qualcosa che non va, si rivolge al medico, la persona 'mentalmente malata' invece (per es. un delirante) vive la propria sofferenza come determinata dalla malizia del mondo e non da un proprio 'male'; lo psichiatra che in ospedale accetta una tale persona e la ricovera in una corsia sorvegliata e la dichiara 'incompetente' può trattare il paziente contro la sua volontà, ad esempio potrà fare tutto il possibile per bloccare un'evidente intenzione suicida. Ma in questi casi egli, quali che siano i suoi presupposti e le sue opzioni, assume implicitamente un atteggiamento di fronte ai problemi filosofici dell'autodeterminazione e del comportamento 'normale' e 'patologico'. A tali decisioni, nell'uno o nell'altro senso, egli non può sottrarsi: la pratica, anche la più banale e la meno impegnata, lo riporta sempre al dilemma che connota lo specifico della psichiatria attuale: natura e/o esistenza.

Qui, ovviamente, è facile l'assunzione semplicistica di posizioni che spesso finiscono per rinforzarsi vicendevolmente, sboccando nei vicoli ciechi dell'autoritarismo e dell'ideologia.

2. Psichiatria clinica

La persona 'mentalmente malata' non può in alcun modo essere identificata in toto con il suo substrato anatomofisiologico, sia esso noto o soltanto supposto. Fu il grande merito (e la grande illusione) della psichiatria della seconda metà dell'Ottocento identificare raggruppamenti costanti di sintomi (le sindromi) collegandoli in modo causale con specifici processi eziologici, come accade ad esempio per le varie malattie infettive (tifo, difterite, tetano, ecc.). Un certo numero di fisionomie cliniche permanenti di queste sindromi, più o meno stabili nel loro svolgersi, autorizzava la classificazione, l'ordinamento tassonomico e, quindi, la configurazione di vere e proprie entità di malattia.

Questo metodo 'clinico-nosografico', operante su basi rigorosamente empiriche, fu importantissimo per il suo potenziale di identificazione e di chiarificazione; esso, dovuto soprattutto all'immenso lavoro di E. Kraepelin

(che va a ragione considerato ancora come uno dei più grandi maestri della psichiatria clinica), oggi non può però esser mantenuto, per lo meno nella sua interezza.

Non fu possibile nè a Kraepelin stesso nè ai suoi successori ignorare le 'forme di transizione' e quelle 'miste' delle varie psicosi e neurosi, per esempio la neuropsicastenia di Janet (v. Régis, 19236) e i passaggi attraverso alcune di queste sindromi durante il corso di una malattia, i cosiddetti 'viraggi', per esempio depressivo-paranoidi, o gli importanti quadri atipici (v. Pauleikhoff, 1957). Nè era possibile ignorare il concetto di 'psicosindrome', già agli inizi del Novecento chiaramente inquadrato da K. Bonhoeffer con il suo 'tipo esogeno di reazione', concetto indicante un quadro clinico comune a diversi e ben determinati processi: per esempio la psicosindrome amnestica (v. Zeh, 1961; v. Wieck, 1967), determinata da arteriosclerosi, trauma cranico, intossicazione da ossido di carbonio, atrofia cerebrale, o la psicosindrome endocrina (v. Bleuler, 1954 e 1972).

Allo stato attuale della nostra esperienza clinica, è impossibile mantenersi aderenti all'impostazione clinico-nosografica *sensu stricto* e, tanto meno, ai suoi sviluppi estremi (per esempio le nosografie di Kleist e di Leonhard, 1966). D'altronde ciò appare evidente dallo svolgersi successivo della sistematica, cioè dalla storia e dai diversi sistemi di classificazione (v. de Boor, 1954): la sola costante oggi ancora indenne è un certo ordinamento di caratteristiche (Zuordnungsmodi) che distingue quelle che chiamiamo malattie mentali e costituisce la base della loro realtà.

Però un'eccessiva relativizzazione del criterio cliniconosografico conduce o alla negazione di realtà cliniche differenti tra loro - per esempio la realtà paranoide, quella melancolica, quella maniacale - com'è accaduto in certe posizioni estremistiche (v. cap. 12) e nell'impostazione esclusivamente sociogenetica, o all'assunzione di presupposti teoretici fondati su analogie che solo in parte possono essere sostenute. Aspetti molto simili si ritrovano, ad esempio, nella concezione 'organodinamica', che ha trovato in H. Ey il suo più geniale e colto araldo clinico. Qui è evidente, e anche suggestiva, l'analogia con la dottrina di J. H. Jackson dei livelli neurologici (scomparsa di funzioni dipendenti da organizzazioni filogeneticamente più recenti, con conseguente liberazione di moduli funzionali più arcaici). Questa teoria della struttura della psiche postula un movimento generante il passaggio evolutivo dall'infrastruttura organica alla sovrastruttura psichica, e sottolinea la prospettiva fondamentale che la psiche ha uno sviluppo (genetico) e che la sua organizzazione è gerarchica (dinamica) ai vari livelli, dell'inconscio, dell'automatismo psicologico, della mente conscia (che regrediscono nella malattia mentale).

Ciò comporta: 1) la tesi psicologica che la malattia mentale è già implicata nell'organizzazione della psiche, con la ovvia, e ben giustificata, valorizzazione degli studi di psicologia genetica sullo sviluppo mentale del bambino (Freud, Wallon, Piaget) e degli studi sulla stratificazione strutturale della psiche; 2) la tesi fenomenologica che la struttura della malattia mentale è essenzialmente negativa o regressiva (la malattia

come rottura della comunicazione e delle relazioni necessarie per la comprensione interpersonale, con conseguente destrutturazione della realtà); 3) la tesi clinica che le malattie mentali (psicosi e neurosi) sono forme tipiche di vari livelli di agenesia o di dissoluzione dell'organizzazione psichica (Seglas, Duprè, Delmas); 4) la tesi eziopatogenetica che la malattia mentale dipende da processi organici, con la regressione intesa come causalità 'organodinamica' e con una forte apertura sulle prospettive neuropsicologiche, per esempio su quel che oggi viene designato come studio dei 'fattori cognitivi' (importantissimi sono i numerosi recenti studi americani in tal senso sulla schizofrenia; v. Vaughan, 1978).

Il significato, ancora fondamentale, di quella che possiamo chiamare la teorizzazione positivista della psichiatria passa storicamente attraverso la dottrina della 'degenerazione di B. A. Morel e i due grandi gruppi di V. Magnan, cioè lo 'squilibrio mentale' (concepito come difetto d'armonia tra le diverse aree cerebrali) e il 'delirio cronico' sistematizzato, sulla cui evoluzione in demenza si fonderà nell'ultimo quarto del XIX secolo il pessimismo di fondo della psichiatria europea, come emerge dalla lettura dell'ancora affascinante trattato dei due alienisti italiani Tanzi e Lugaro (v., 1914). Il culmine si raggiungerà nell'opera del tedesco Kraepelin, espressione della psichiatria clinica per antonomasia, con il suo concetto di 'psicosi endogena', cioè di malattia mentale vera e propria, ben distinta dai disturbi nevrotici e caratteropatici, dalle noxae cerebrali acute e croniche, e dovuta a un quid proprio, appunto 'endogeno', tutto da precisare: lo 'scandalo' della psichiatria come scienza medica, per dirla con K. Schneider. Kraepelin distinse due grandi gruppi di psicosi endogene: la psicosi maniaco-depressiva, caratterizzata da fasi più o meno prolungate di melancolia e di eccitamento euforico, intervallate da periodi più o meno lunghi di normalità (si parlerà poi di 'ciclotimia bipolare', con uno sviluppo tassonomico di cui lucido e comprensivo inquadramento sarà quello di D. Cargnello nel 1960 a Rapallo e, per le manie, quello recentissimo di B. Shopsin, 1979), e la demenza precoce, il rebus e il nodo della psichiatria stessa, costituita da un gruppo di decorsi e di sindromi (catatonia, ebefrenia, delirio paranoide), con grave compromissione dell'affettività e con evoluzione, in termini più o meno lunghi, in uno stato demenziale sui generis, irreversibile. La posizione dell'ipocondria e quella della paranoia sono tuttora controverse, fra delirio lucido e sviluppo di personalità (v. Berner, 1965; v. Ladee, 1966; v. Retterstøl, 1966). La nozione di E. Bleuler (1911) di 'schizofrenia', ancor oggi in pieno vigore, parte innegabilmente dai concetti kraepeliniani, anche se compie un passo teorico di importanza fondamentale sceverando, fra tutta la congerie e il polimorfismo dei sintomi e la varietà infinita delle esperienze deliranti, il disturbo fondamentale (la Grundstörung), da cui tutto il resto dipende e psicosemiogeneticamente deriva: autismo (disinteresse per il reale e ripiegamento in se stessi, con chiusura al rapporto interpersonale o sua deformazione), dissociazione (fra le idee e l'affettività, fra il proprio mondo interiore e il reale), delirio (come interpretazione erronea o come nuovo significato della realtà vissuta).

La concezione di Bleuler, che ha dominato per lunghi decenni e che tuttora è molto seguita (v. Bellak, 1971), ha avuto il merito di indurre ad analisi psicopatologiche meno legate al rilievo del sintomo e più puntate verso il 'dietro la facciata', con un enorme arricchimento di comprensione, ma ha veramente ipostatizzato la malattia mentale con la riuscitissima scelta del nome: schizofrenia, rafforzando, anche al di là delle proprie intenzioni, la tendenza al nosografismo naturalistico (v. Pelicier, 1970) e testimoniando della "forza trainante anche ideologica che le parole hanno in sé come portatrici di significati e valori altri da quello che è l'orizzonte intenzionale che le ha generate" (v. Borgna, 1979, p. 31).

Inoltre la maggior parte degli studi di alienistica dell'epoca fu condotta sui malati ricoverati nei manicomi, per cui alcuni sintomi 'cronici' potevano esser più frutto di istituzionalizzazione che dato naturale della patologia mentale. Le esperienze provenienti dalla sempre più diffusa demanicomializzazione ci potranno dire fra alcuni anni qualcosa di più preciso in proposito - fatta la debita tara per gli effetti positivi dovuti ai migliorati mezzi terapeutici impiegati - testimoniando così sulla possibilità patogena o destrutturante di certe situazioni ambientali, di sensory deprivation, di isolamento, di monotonia.

Accanto agli studi sulla schizofrenia, di cui resta modello insuperato il IX volume del grande trattato di O. Bumke, pubblicato fra le due guerre, con i contributi di Mayer-Gross e di Wilmanns, si pongono, ricchi di significato teoretico e clinico, gli studi di patocaratterologia che trovano in E. Kretschmer, attivo a Tübingen, il più noto e autorevole rappresentante: i suoi studi sulla personalità cicloide e su quella schizoide, i suoi contributi di psicologia medica, la sua sensibilità all'intreccio tra costituzione e biografia, tra struttura ed evento, situano il suo pensiero al crocevia, all'articolazione tra struttura e sviluppo, e lo mantengono estremamente attuale.

Sulla linea di Jaspers, ancor oggi insuperato maestro di psicopatologia, si colloca l'opera di K. Schneider e della sua scuola di Heidelberg (v. Huber, 1969), di cui viene oggi ripresa appieno, e codificata anche nel Glossario dell'Organizzazione Mondiale della Sanità, la distinzione (mutuata appunto dall'insegnamento di Jaspers) fra sintomi di primo ordine e sintomi di secondo ordine, questi ultimi derivabili psicologicamente dai primi, ai quali soltanto spetterebbe il valore quasi patognomonico di indicatori di quella condizione che noi chiamiamo schizofrenia. Schneider ha avuto e continuerà ad avere grande significato in psichiatria clinica, perché con assoluto rigore metodologico delimita il campo propriamente psichiatrico, denunciando (sia pure, attualmente, senza successo) la psichiatrizzazione indiscriminata ed eccessiva di molti comportamenti devianti ma non riconducibili a malattia: esempio limpido di ciò è la sua Psicopatologia clinica, nota in tutto il mondo, e la sua trattazione delle personalità psicopatiche, ripresa poi in modo encomiabile da Petrilowitsch.

Questi apporti fondamentali allo studio della psicopatologia delle psicosi maggiori nonché gli approcci clinici e dottrinari alle neurosi (v. Arieti, 1959; v. Nunberg, 1959) ci consentono oggi di considerare come nucleo centrale del grande campo psicotico le schizofrenie genuine (senza sintomi somatici specifici e senza

scatenamenti psicogeni circoscritti, con prevalenza di fattori genetici e di sovraccarichi biografici), e di costellare questo nucleo (v. Cabaleiro Goas, 1952 e 1966) con le schizofrenie sintomatiche (nei processi cerebral-organici), con il tipo acuto esogeno di reazione, a sintomatologia schizofreniforme, con le psicosi tossiche schizofrenosimili (alcune psicosi alcoliche, v. Benedetti, 1952, e la psicosi da ammine simpaticomimetiche e da dietilammide dell'acido lisergico e da altri allucinogeni), con le psicosindromi endocrine schizofreniformi, con le cosiddette schizofrenie reattive, con le psicosi atipiche, con le frequenti sindromi schizoaffettive e, soprattutto, con le schizofrenie pseudoneurotiche o borderlines. Quest'ultimo è il gruppo di gran lunga più importante sia in pratica che per le implicazioni teoriche, oggetto di recenti significative indagini cliniche, psicodinamiche, genetiche, specie delle scuole statunitensi (v. Stroemgren, 1962; v. Pauleikhoff, 1957; v. Müller, 1973; v. Leuner, 1962; v. Kernberg, 1975). Valga per tutte l'ottima, completa trattazione di G. Benedetti e altri (v., 1957-1962-1967) e il I volume dello "Schizophrenia bulletin", 1979, del National Institute of Mental Health, dedicato al borderline.

La trattazione sistematica dei disturbi mentali ha conosciuto momenti di grande significato: primi fra tutti i volumi della monumentale opera curata da Bumke, a cavallo degli anni trenta, seguiti negli anni sessanta dai cinque volumi (a cura di H. Oruhle e coll.) della Psychiatrie der Gegenwart (di cui è apparsa nel 1979 la seconda edizione); i tre volumi della Psychiatrie nell'Encyclopédie médico-chirurgicale, a cura di Ey; i tre volumi, aggiornatissimi, del Trattato di L. Bini e T. Bazzi; il trattato americano a cura di S. Arieti e quello di A. M. Freedman e H. I. Kaplan; quello inglese di W. Mayer-Gross, E. Slater e M. Roth; quello spagnolo di F. Alonso Fernandez, rappresentano soltanto alcune delle realizzazioni più significative.

La distinzione di fondo fra psicosi, neurosi e personalità psicopatiche si è imposta ovunque (v. Bräutigam, 1968), ma spesso con notevoli differenze, generatrici di equivoci diagnostici, assai evidenti, ad esempio, per la diagnosi della schizofrenia: si pensi a certe ipocondrie (v. Feldmann, 1963) e a certi borderlines (v. Gunderson e Singer, 1975). Nell'ultimo decennio è apparso necessario ovviare a tale grave inconveniente: estremamente importante appare a tal fine, come sintesi di un accurato e prolungato lavoro di coordinazione di dati e di valutazione critica degli stessi, il Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM-III), alla sua terza edizione nel 1978 e revisionato ancora nel gennaio 1979, dell'American Psychiatric Association. A questo importantissimo manuale fa riscontro, con qualche piccola modifica e in stesura più succinta, il Glossario pubblicato dall'Organizzazione Mondiale della Sanità. La compilazione del DSM-III ha comportato anni di intenso lavoro di un gruppo di studiosi guidato da R. L. Spitzer. Il manuale, che andrà sicuramente tradotto in tutte le lingue, per uniformare a poco a poco i vari criteri diagnostici nei diversi paesi, determinerà un notevole cambiamento nell'impostazione diagnostico-clinica, specie in Nordamerica, soprattutto per quanto concerne la diagnosi di schizofrenia.

È prevedibile infatti, data l'introduzione di criteri rigorosi e restrittivi, che dalla rubricazione diagnostica schizophrenic disorders verrà eliminato il 50-80% di quei pazienti che vent'anni fa, negli Stati Uniti, sarebbero stati diagnosticati come schizofrenici (v. Gurland e altri, 1970; v. Feighner e altri, 1972; v. WHO, 1973), fornendo facile appiglio al primo e giustificato momento della contestazione. Ad esempio, le forme schizoaffettive, gli episodi schizofrenici acuti, i casi borderlines trovano il loro ordinamento altrove, e non pochi casi si accosteranno alle psicosi distimiche, specie maniacali, o alle sociocaratteropatie, come sta già accadendo sotto l'impatto delle dilaganti tossicomanie (v. Loo, 1970; v. Le Dain, 1972; v. Pelicier e Thuillier, 19783). Il DSM-III permette in modo singolarmente efficace l'espressione delle incertezze diagnostiche specie negli stadi precoci di un processo psicotico (v. Conrad, 19712) e, soprattutto, collega i raggruppamenti diagnostici alle alternative terapeutiche. Ad esempio, la maggiore enfasi posta sui sintomi psicoaffettivi porterà a prender sempre più in considerazione l'uso del litio, invece dell'uso quasi 'riflesso' dei neurolettici, per ogni psicosi.

Forse il tratto più significativo dell'approccio del DSM-III ai disturbi mentali gravi è la chiara e netta distinzione tra la fase psicotica florida e la fase molto più prolungata in cui predominano i sintomi latenti, cronici, residui. La differenziazione esplicita di questi stadi non floridi aiuterà a focalizzare l'attenzione sul problema, ora molto difficile, della ricerca di un equilibrio (da parte di tutti gli psichiatri clinici e non solo di pochi) tra la necessità di mantenere un trattamento farmacologico e la necessità di un più sostanziale approccio psicosociale, ivi incluse la riabilitazione, la sollecitazione verso esperienze sociali strutturanti, la creazione di un sistema di sostegni familiari e comunitari (v. WHO, 1965 e 1978).

Questi ultimi aspetti del trattamento indicano che, malgrado l'evidente utilità del DSM-III, questo nuovo approccio descrittivo non può essere, e non intende essere, adeguato per tutti gli scopi di ripartizione terapeutica. Si prevede (meeting di Chicago del maggio 1979) un'informazione addizionale nella programmazione dei trattamenti da parte di organizzazioni rappresentanti psicanalisi, psichiatria, terapia della famiglia e della coppia, di gruppo e del comportamento.

Fra le ricerche di psicopatologia, che tanta parte costituiscono della psichiatria clinica, forse le tematiche più indagate sono state quelle legate ai disturbi del pensiero (per es. deliranti, ossessivi), a quelli dell'affettività (per es. la melancolia, l'ansia, il suicidio, la depressione larvata e mascherata) e al cosiddetto borderline: Jaspers, Kehrer, Wilmanns, Berze, Specht, Bleuler, Wyrsh, K. Schneider, Kretschmer, Mayer-Gross, Bumke, Weitbrecht, Skoog, Slater, Roth, Ey, Lewis, Hill, Ruemke, Langfeldt, Stenstedt, Conrad, Wieck, Lhermitte, Delay, Lopez-Ibor, fra tanti altri, sono stati veri e propri 'indicatori di via', accanto ai nomi statunitensi più noti, da Sullivan a Freedman, da Kolb a Salzman, da Kaplan ad Arieti.

Recentemente la psicopatologia delle allucinazioni si è imposta all'attenzione degli studiosi da diversi punti di vista, clinico, sperimentale, fenomenologico. L'analisi del fenomeno ha permesso distinzioni importanti (per

es. allucinosi e pseudoallucinazioni, visione mentale e immaginazione allucinatoria; v. Callieri, 1980) fino ai famosi esperimenti di W. G. Penfield di stimolazione elettrica della corteccia cerebrale nelle diverse aree; teorie fisiogenetiche si sono alternate a teorie psicogenetiche e, recentemente, a teorie antropologico-culturali. Lo studio della percezione sia dal punto di vista genetico (Jaensch) e fenomenologico (Merleau-Ponty) che da quello sociale (si pensi alla social perception di Bruner e Postman, agli studi di Canestrari) ha consentito integrazioni, prima impensate, con il campo dell'affettività (v. Matussek e altri, 1965), dei bisogni, delle attese, dei pregiudizi, aprendo la via a studi sperimentali oltremodo suggestivi e a collegamenti fra sindromi e costellazioni apparentemente non rapportabili, per esempio schizofreniche e affettive (v. Hippius e Selbach, 1969), tossiche e psicogene, strutturali e dinamiche (v. Janzarik, 1959).

Lo studio degli allucinogeni, dalla mescalina (Beringer) all'LSD, alla psilocibina, alla metedrina, alla recente 'polvere d'angelo', ha consentito approfondimenti psicopatologici notevoli (per es. sulla depersonalizzazione, sulla cenestesi, sull'esperienza temporospaziale) ma anche sperimentazioni complesse di biochimica (ammine cerebrali, serotonina, acido mandelico e vanillico, ecc.), nonché osservazioni di dinamica di gruppo, studi sulle tensioni emotive di base, sulle attese culturali, approcci psicanalitici e neurofisiologici (ad es. nello studio del sonno, dell'epilessia, dell'alcolismo, delle tossicomanie).

Parimenti, la psicopatologia della memoria ha compiuto grandi progressi, sia per l'approccio biochimico e neurofisiologico, sia per il contributo psicodinamico e della psicologia sperimentale e dell'apprendimento. Gli interventi di chirurgia cerebrale, le correlazioni neuro-radiologico-cliniche, le terapie di shock (v. Catalano Nobili e Cerquetelli, 1972; v. Fink, 1979), di ipnosi (v. Granone, 1972), di decondizionamento (v. Pancheri, 1979) hanno allargato l'orizzonte della comprensione e hanno consentito elaborazioni teoretiche di grande interesse.

La psicopatologia del linguaggio, dalle afasie classiche (v. Goldstein, 1948) ai più svariati disturbi della comunicazione verbale e non verbale (v. Piro, 1958; v. Bobon, 1962; v. Callieri e Frighi, 1963), ha consentito approfondimenti impensabili qualche decennio fa, tramite la psicolinguistica (v. Kainz, 1960; v. Hörmann, 1971), la semiotica, l'osservazione partecipante' (Sullivan). Anche qui, come per lo studio della memoria, l'osservazione e la sperimentazione negli animali (con ampi richiami all'etologia; v. Ploog, 1964) ha fornito raccolte documentarie estesissime e dati di notevole rilievo.

Altrettanto si può dire per la psicopatologia delle spinte istintuali, che dal descrittivismo analitico, a volte artificioso, è passata all'esame della situazione globale, avvalendosi di apporti multidisciplinari, non sempre facili da correlare, spesso contraddittori e problematici, ma sempre fecondi di approfondimenti per la comprensione di ampi tratti del comportamento umano.

In altri termini, la psicopatologia non è restata soltanto ancorata allo studio descrittivo e genetico (psicopatogenetico e psicosemiogenetico) dei sintomi, peraltro ancora molto fecondo (si pensi agli orizzonti

aperti dallo studio fenomenico delle esperienze di depersonalizzazione, di 'fine del mondo', di perplessità, della disposizione d'animo al delirio) ma ha allargato il suo campo di ricerca, utilizzando diversi tipi di approccio forniti sia dalle scienze biologiche sia da quelle antropologiche. Ciò ha provocato risonanze profonde nella valutazione del sintomo (clinica e culturale), nell'ordinamento delle sindromi, nella critica alla scarsa flessibilità delle nosologie tradizionali sottoposte a revisioni sovente radicali; e ciò non solo e non tanto per l'impatto suggestivo di teorie più o meno opinabili o di movimenti legati a mode di pensiero, quanto soprattutto per l'accumularsi di dati obiettivi della più diversa provenienza (dalla neurochimica cerebrale alla psicoetnologia, dall'elettrofisiologia all'antropologia, dalla cibernetica alle scienze religiose e morali). Proprio questa situazione ricca, sfaccettata, dinamica della psicopatologia attuale ci consente di considerarla a pieno titolo ancora l'asse portante di tutte le discipline psichiatriche.

Lo sviluppo delle terapie psichiatriche (v. cap. 5) ha compiuto progressi di grande rilievo non solo sul piano pratico, applicativo, ma anche dal punto di vista teoretico, offrendo spunti importanti per la ricerca neuropsicologica e biosociologica. Dalla malarioterapia, introdotta nel 1917 da J. von Jauregg per la cura dell'allora diffusa paralisi progressiva luetica, attraverso l'insulinoterapia di M. Sakel e lo shock cardiazolico per la cura delle sindromi schizofreniche e paranoide, si arriva all'elettroshock di U. Cerletti e L. Bini (1938), rivelatosi di inestimabile valore per la terapia delle gravi depressioni e tuttora valido (v. Paterson, 1963; v. Kalinowski e Hippus, 1969; v. Catalano Nobili e Cerquetelli, 1972; v. Royal College of Psychiatrists, 1977; v. Fink, 1979), per approdare, nel 1943, ai ganglioplegici e dopo pochi anni ai neurolettici.

Questa psicofarmacologia, in costante sviluppo, ha soppiantato a poco a poco tutte le altre terapie, provocando in modo quasi specifico la scomparsa dei sintomi più gravi e apportando profondi miglioramenti anche nella cura dei casi cronici. L'introduzione dei sali di litio, ma soprattutto la recentissima applicazione terapeutica delle endorfine nella cura della schizofrenia, consentono anche di intravedere, nella patogenesi di questa malattia, la possibilità di disturbi del metabolismo dei neuropeptidi (v. Volavka e altri, 1979). Negli ultimi anni si è tuttavia assistito a una generalizzazione eccessiva dell'uso degli psicofarmaci (si è parlato, e a ragione, di contenzione farmacologica, di lobotomia chimica) con somministrazioni inadeguate e indiscriminate (come è accaduto per l'elettroshock), anche al di fuori delle istituzioni; per non parlare della diffusione degli ansiolitici e degli ipnotici, che ha raggiunto livelli inquietanti. Si ha l'impressione che il poter disporre di tali efficaci farmaci abbia determinato non di rado, con la spinta potente al loro uso, un diminuito approfondimento dell'indagine psicopatologica del singolo, non sufficientemente compensata dallo studio biochimico dei processi psicofarmacologici e dei meccanismi d'azione delle varie sostanze psico-e neurotrope.

Ma un'altra terapia, ancor prima di quella chimica, aveva cominciato ad annunziare le sue ricche possibilità psichiatriche: la psicanalisi (v. cap. 8). Prospettata dapprima come un metodo interpretativo e terapeutico delle nevrosi, la psicanalisi, specie dopo gli scritti del secondo Freud, ha proposto una concezione generale

dello sviluppo dell'uomo, non solo del suo comportamento normale e nevrotico ma anche dei suoi aspetti più alienanti (psicotici), consentendone la comprensione genetica basata sulla regressione a stadi precoci, libidici e oggettuali, che fanno parte dell'evoluzione di ognuno (v. Redlich e Brody, 1952).

Si può dire, anche qui, che le ambizioni sono state (e forse sono ancora) eccessive, specie nel campo delle psicosi; tuttavia si è assistito, soprattutto negli ultimi vent'anni, a un moltiplicarsi di impostazioni teoretiche e di metodiche pratiche di ispirazione fondamentalmente psicanalitica o, più genericamente, psicodinamica (di coppia, di famiglia, di gruppo, di decondizionamento comportamentale). Accanto agli innegabili vantaggi, come è accaduto per la farmacologia, si sono verificate generalizzazioni indebite e pratiche indiscriminate, favorite anche da movimenti culturali e ideologici non sempre metodologicamente corretti, a volte francamente esagerati o, per lo meno dal punto di vista terapeutico, ingiustificati.

È utile ricordare, per esemplificare la situazione, i modi oggi prevalenti di considerare le possibilità terapeutiche nella schizofrenia (v. Davis e Chang, 1978, p. 616): a) posizione totalmente psicologica, con rifiuto sia della psicoterapia medica che dei farmaci; b) posizione totalmente psicologica, che ammette la psicoterapia ma rifiuta i farmaci; c) posizione prevalentemente psicologica, che ammette i farmaci con molte riserve; d) posizione psicologica e biologica, che considera importanti entrambi i trattamenti; e) posizione primariamente biologica, che però dà rilievo anche al trattamento psicologico; f) posizione totalmente biologica, che considera utile soltanto la farmacoterapia, e inutile la psicoterapia. La maggior parte degli autori concorda nell'escludere le posizioni estreme; per le altre, la preferenza è in rapporto alle diverse forme cliniche e al loro decorso: in genere, come risulta dagli importanti studi del Massachusetts Mental Health Center (già Boston Psychopathic Hospital), più esse tendono a cronicizzarsi, meno importante è la farmacoterapia e maggiore è il rilievo che spetta alla psicoterapia e al psychosocial setting (v. Oreenblatt e altri, 1965; v. Benedetti e altri, 1979).

Da quanto sopra si vede come la psichiatria clinica stia avviandosi verso una singolare trasformazione del suo campo, investito dal culturale e dal sociale, con una notevole tendenza all'aspecificità e al paradosso: accanto alla tendenza a minimizzare l'apporto della psicopatologia c'è la tendenza a estendere indebitamente il campo psichiatrico, con il pericolo di smarrire, non senza leggerezza e superficialità, il limite fra psicologia e psicopatologia. Si tende a negare la patologia dello schizofrenico e si psichiatrizza il bimbo che non ha voglia di studiare e la sua famiglia.

3. La psichiatria secondo le età della vita

Ciò che accade nell'ora segreta del mezzogiorno della vita è la nascita della morte, dice Jung in *Anima e morte* (1934); e il *mysterium mortis*, con il suo svelarsi, scandisce gli stadi della vita. Il giovane, l'adulto, il

vecchio hanno la loro specificità, di vita biologica e spirituale, di fare e pensare, godere e morire. E così pure il fanciullo. Nella psichiatria di questo secolo non poteva non svilupparsi l'indagine su questi stadi, che ha consentito di individuare settori di ricerca e di applicazione quanto mai ricchi di problemi, fecondi di risultati e promettenti di sviluppi.

a) Psichiatria infantile e dell'adolescenza

È una delle sezioni più importanti della psichiatria moderna, ricca di implicazioni pratiche specie per quanto concerne l'azione preventiva, anche e soprattutto dal punto di vista dell'impegno sociale. Essa inizia a configurarsi quando si comincia a comprendere che il disturbo emotivo infantile è molto differente da quello dell'adulto, anche qualitativamente (v. Aichhorn, 1925).

I disturbi psichici presentati dal bambino, cioè da una natura che si fa storia, interessano tutte le sue relazioni interpersonali di base, specie quelle parentali, ed è così che 'gli altri' divengono parte essenziale del suo problema (v. Bowlby, 1951 e 1969-1973).

La psichiatria infantile, liberatasi dalla pesante e riduttiva ipotesi naturalistica che la faceva coincidere con le cerebropatie e le oligofrenie, realizza il suo primo essere, diagnostico e terapeutico, quando comprende che il disturbo mentale infantile è, per lo più, un fatto di relazioni, e il campo dell'organicità, genetica, cerebrale, endocrina, è solo un settore - anche se vasto - del suo ambito (v. De Negri, 1971; v. Ajuriaguerra, 19772).

I numerosi contributi specifici sull'argomento (v. Kanner, 1935) sottolineano che il processo di accrescimento è sempre profondamente legato alla dialettica biologico-sociale: le forze sociali (della cultura) e le forze biologiche (dell'individuo) operano nella vita a volte in armonia, spesso in conflitto.

Il sintomo psicopatologico deve essere reinserito nel suo processo evolutivo e l'organizzazione affettiva può essere compresa solo in rapporto all'organizzazione affettiva del gruppo familiare (v. WHO, 1965; v. Mazet e Houzel, 19792).

Il lavoro dei pedopsichiatri è stato profondamente influenzato dalla psicanalisi, ma oggi comincia a delinearsi una posizione più critica forse sotto la spinta di una riaffermata psicologia dell'Io, tipo Federn e, soprattutto, tipo Hartmann.

Il maggior contributo va qui individuato nel lavoro di Anna Freud, di Melanie Klein e della Mahler; la Hampstead Child Clinic (Freud) e la Tavistock Clinic (Klein) divennero trent'anni or sono per tutto il mondo i centri fondamentali della ricerca psicanalitica sui bambini e gli adolescenti (la prima anche con un richiamo più sentito per il contesto sociale): gli studi più importanti nascono dopo il 1950, sui bambini normali, nevrotici e handicappati: il nato cieco, il nato sordo, gli studi sui gemelli, ecc.

Il nucleo centrale delle teorizzazioni che nascono da queste ricerche è forse così sintetizzabile: la malattia psichica del bambino non dev'essere valutata sulla base della presenza o assenza di certi sintomi o certe

inibizioni, quanto piuttosto in base a un giudizio di armonia o disarmonia lungo le varie linee dello sviluppo (intelligenza, percezione, linguaggio, apprendimento, comunicazione sociale) in relazione alle forze dell'Io e alle richieste istintuali. Ciò ha imposto di uscire dai rigidi criteri fenomenici seguiti dalla psichiatria puramente clinico-nosografica.

La controversia Klein-A. Freud è troppo nota per esser qui riferita; si può discutere ancor oggi sulla nevrosi di transfert nel bambino, sull'analisi dei meccanismi di difesa o dei fantasmi inconsci, sulle origini dell'Io, sulle risposte emotive dell'analista e dei genitori (Klein); il fatto è che l'analisi (più in genere, la terapia) infantile non può non esser considerata in modo diverso da quella degli adulti, implicando anche la rieducazione delle persone attorno al piccolo paziente; si pensi al fondamentale lavoro di A. Freud, *The psychoanalytic treatment of children* (1946), e alla successiva analisi dei processi familiari (v. Winnicott, 1965; v. Ackermann, 1970). La radicalità dello scontro teorico è diminuita nei decenni successivi per far posto a un dibattito dapprima cauto, poi sempre più aperto e creativo (v. Lewis e Winnicott, 1963).

I concetti di ospitalismo, depressione analitica (Spitz), madre schizofrenogena (Bettelheim), autismo infantile (Kanner), schizofrenia infantile (v. Vrono, 1971) sono stati fondamentali punti di partenza per importanti capitoli della psicopatologia infantile, anche se le teorie del condizionamento e dell'apprendimento hanno inoltre consentito di identificare alcuni tipi di disturbi provenienti dai conflitti che travagliano questo periodo formativo.

Ad esempio i disturbi psichici consecutivi all'aggressività, o malcontrollata o esplosiva, specie in carenza di maternage o in un'atmosfera familiare carica di tensioni emotive (v. Winnicott, 1957), realizzano quadri multiformi di disadattamento, esistenziale, familiare, micro e macrosociale, di tossicomanie giovanili (v. De Maio e altri, 1976) oppure di profondi sbilanciamenti interiori (di tipo psicotico o delinquenziale, al limite), ove la spinta aggressiva viene contenuta, incapsulata, repressa (v. Feinstein e altri, 1971). Il ritiro in se stessi (withdrawal) consente una ben scarsa comunicazione affettiva con gli altri (il che invece è essenziale per ogni sana strutturazione della personalità; v. Howells, 1971). Ne derivano condotte di isolamento, sintomatologie neurotiche e persino psicotiche, depressive e autistiche (v. Osieriezki, 1938; v. Mitscherlich, 1966; v. O'Gorman, 1967; v. Eck, 1973; v. Zazzo, 1976). Qui spesso si osservano, come equivalenti depressivi, forme fobicoossessive, neuroastenico-cenestopatiche e, soprattutto, comportamenti pseudocaratteropatici.

Un altro tipo di disturbo, oggetto attualmente di attente indagini anche psicosociologiche, è quello legato all'eccessivo conformismo ai modelli sociali. Si può avere una grave perdita di spontaneità, vista quasi sempre come rischio, un permanere del senso di dipendenza, una profonda insicurezza, una scarsa motivazione alla differenziazione individuale. L'eccessiva protettività dei genitori (v. Levy, 1943), spesso legata alle loro stesse ansie, può favorire disturbi di tal genere nel processo di sviluppo. Eccessiva timidezza, ansietà, disturbi psicosomatici di ogni tipo (per es. enuresi notturna, disturbi del linguaggio, anoressia; v. Meyer, 1965), con

ulteriori sviluppi neurotici anche molto gravi, si collocano in questo ambito, soprattutto se potenziati o facilitati da un equipaggiamento biologico deficitario, tanto più funzionalmente deficitario quanto più pressanti e perentorie sono le esigenze del mondo moderno (v. Howells, 1971).

Qui si situano anche i problemi dell'insufficiente mentale vero e proprio, oggetto di estesi e importanti studi neuropsicologici e psicosociali (v. Boutonnier, 1948; v. Bollea, 1980; v. Baumeister, 1967), ispirati anche a impostazioni dottrinali ampiamente diverse ma convergenti in una sollecitudine attenta e premurosa per questa particolare infanzia, per la quale solo negli ultimi decenni vanno profilandosi orizzonti di riscatto dall'emarginazione educativa e sociale, non raramente con prospettive concrete di un soddisfacente adattamento alla vita. La scuola ha recepito, sia pure fra numerose difficoltà pratiche e ideologiche, questo messaggio psicopedagogico che trova in Piaget il suo maestro e che torna a onore dei pedopsichiatri, tra cui numerosi e validi gli italiani.

Questo particolare campo ha conosciuto il suo massimo sviluppo negli Stati Uniti; qui il lavoro compiuto nelle child guidance clinics ha apportato un enorme contributo alla comprensione e al trattamento dei disturbi infantili attraverso l'utilizzazione integrata di varie professionalità (psichiatra, psicologo, operatore sociale) in un servizio capillarmente diffuso.

Attualmente tre direttive, l'una teoretica, le altre due clinico-pratiche, dominano la scena: 1) moltissime convincenti prove suggeriscono che i bimbi psichicamente disturbati in modo persistente (i cronici) non sono stati in qualche modo irreversibilmente danneggiati da esperienze emotive nella loro prima età, ma sono stati esposti durante la loro infanzia a fattori ambientali avversi, per lo più nell'ambito delle loro famiglie (v. Rutter, 1971 e 1972; v. Rutter e Schopler, 1978); 2) si tende a valutare la situazione psicoclinica del bambino meno dal punto di vista nosografico e più dal punto di vista prognostico secondo il concetto di 'rischio psichiatrico' più o meno elevato, anche a seconda della qualità delle cure di gruppo ricevute (v. Boszormeny-Nagy e Framo, 1965; v. Mâle, 1964); 3) si cerca di organizzare e condurre in modo molto più sistematico gli studi catamnestici ed epidemiologici, soprattutto in rapporto al tipo di intervento effettuato (v. Robins, 1966) e ai provvedimenti adottati (per es. di adozione).

A tutto ciò fa da cornice, sostegno e stimolo essenziale l'integrazione dei servizi in chiave sociosanitaria e pedagogica, nel quadro di un'assistenza medico-sociale sia terapeutica che preventiva.

b) Psichiatria dell'età avanzata

Una popolazione in espansione numerica, ma con una percentuale sempre maggiore di anziani, crea domande crescenti nei servizi sanitari, psichiatrici compresi, in molti paesi, specie occidentali. Dal 20 al 30% degli ultrasessantacinquenni presentano (v. Stenstedt, 1958) problemi psichiatrici. Oggi non vi è dubbio sul carattere eterogeneo e multifattoriale delle psicosi negli anziani. Fattori esogeni ed endogeni, processi organici e

psicodinamici entrano in modo assai vario nei singoli casi. Più importanti della base genetica sono le alterazioni somatiche e i meccanismi psicoreattivi, nonché l'accentuazione di tratti premorbosi della personalità. Anche le condizioni psicosociali, proprie della situazione dell'anziano nei nostri paesi, hanno un profondo significato nella patoplastia delle psicosi senili. Queste situazioni emarginanti sono oggetto di particolare attenzione nell'attuale politica sanitaria, in un'ottica non solo curativa ma anche e soprattutto preventiva. Gli studi epidemiologici in questo ambito sono però piuttosto limitati.

I programmi dell'organizzazione di una psicogeriatrics non possono non coinvolgere gli organismi statali e regionali, nella lotta contro la deplorabile tendenza a trasformare il ricovero dell'anziano in un 'deposito' in attesa della soluzione finale.

Gli aspetti antropologici e culturali (v. Howells, 1975) sono dovunque oggetto di vaste indagini, motivate dal fatto che le psicodinamiche dell'invecchiamento dipendono dagli atteggiamenti culturali delle diverse società verso gli anziani (dalla naturale accettazione e valorizzazione alla penalizzazione più marcata): gli studi transculturali sulla depressione mascherata sono ricchi di implicazioni pratiche (v. Opler, 1972).

Particolare attenzione è stata dedicata negli ultimi decenni alla patologia delle demenze (Bini ha lasciato in questo campo indimenticabili contributi): gli approcci multidisciplinari alle funzioni neuronali e gliali, inclusi gli studi virali, immunologici e ultrastrutturali, hanno aperto la strada alla comprensione delle alterazioni morfologiche a base delle condizioni demenziali e hanno reso meno improbabile la possibilità futura di una terapia. D'altro canto, la frequente associazione della malattia fisica col disturbo mentale (che a volte ne è un epifenomeno) ha stimolato lo sviluppo di servizi psicogeriatrici, in cui il rapporto geriatra-psichiatra dev'esser sempre più sviluppato, con l'organizzazione di servizi a lungo termine, che forniscano effettivamente cure ed evitino l'emarginazione sociale.

La psicologia dell'invecchiamento è forse uno dei campi più studiati negli ultimi decenni, sia come indagine psicofisiologica e sperimentale, sia come ricerca psicoterapeutica; la crescente interazione tra l'individuo e il suo ambiente è stata esaminata largamente anche dal punto di vista comportamentale. La bibliografia è sterminata. Valga ricordare, per tutti, *The psychology of adult development and aging*, importante opera di C. Eisdorfer e M. P. Lawton, pubblicata nel 1972 dall'American Psychological Association, e i tre volumi di M. Riley e altri, *Aging and society* (della Russell Sage Foundation di New York, 1968), che offrono un'idea sufficiente della mole di ricerca e dei problemi svolti e da svolgere in questo campo della psichiatria, clinico, assistenziale e sociale, destinato a divenire sempre più esteso e impegnativo e a offrire alla psichiatria l'occasione principe per il suo rinnovato impegno sociale.

Lo studio propriamente nosologico delle malattie mentali negli anziani, specie dal punto di vista storico, rispecchia l'evoluzione della psichiatria stessa (v. Ogrizek, 1965). Se all'inizio del Novecento l'attenzione viene rivolta prevalentemente alle psicosindromi organiche (neurosifilitiche, arteriosclerotiche, degenerative), le

correlazioni anatomo-cliniche stabilite vengono sottoposte a una progressiva revisione critica, tanto da consentire a Rothschild nel 1956 (nell'ancora importante opera a cura di O.I. Kaplan, *Mental disorders in later life*) di sostenere con ricca documentazione che la gravità delle alterazioni neuropatologiche è in rapporto piuttosto labile con la gravità delle alterazioni mentali (è possibile invece, specie sulla base di studi molto recenti, prospettare rapporti tra grado di deterioramento mentale e concentrazioni di noradrenalina e di altri neurotrasmettitori in determinate zone cerebrali, per es. ipotalamo e girus cinguli). Gli studi sovietici in questo campo (Davidowsky, Nadzharow, Sternberg, Averbuch) sono di grande rilievo (v. Rachalskii, 1970).

L'attuale classificazione delle malattie psicogeriatriche, proposta dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (1972, n. 507) e universalmente accettata, anche dal DSM-III, mantiene la distinzione fra le psicosindromi organiche, atrofiche, presenili e senili, arteriosclerotiche, cerebrovascolari (v. Haase, 1959), gli stati confusionali acuti, le psicosi affettive tardive, le schizofrenie e parafrenie tardive, le alterazioni della personalità e le neurosi (forme reattive o sviluppi). Si tende però a sottolineare vigorosamente la preminenza del rapporto col singolo sulla formulazione nosologica e a richiamare l'attenzione degli operatori psichiatrici sulla necessità di non trascurare i comunissimi aspetti nevrotici e caratteropatici dell'anziano e i suoi fondamentali cardini esistenziali: creatività, ricordi, morte (v. Pitt, 1974; v. Berezin e Cath, 1965).

L'interazione dei fattori biologici, psicologici e sociali, fondamento delle malattie psicosomatiche anche nell'anziano, gli aspetti psicosociali della malattia fisica, il rischio suicidario (oggi elevato nell'anziano) e la sua prevenzione, i problemi posti dal comportamento sessuale, con i relativi tabù imposti al vecchio, costituiscono i punti attualmente più aperti allo studio in psicogeriatrica.

La terapia, biologica e psicologica, in ospedale e nella comunità, con un modificato atteggiamento nei confronti di un'ospedalizzazione eccessiva, con la creazione di centri diurni psicogeriatrici e con la creazione di appositi servizi sociali e di comunità terapeutiche, mostra l'attuale tendenza a integrare i servizi psichiatrici in quelli socio-sanitari *sensu lato*, mantenendo però l'esigenza della ricognizione delle esigenze e dei bisogni individuali. E ciò, sia nelle numerose iniziative private, sia - e soprattutto - in quelle pubbliche.

4. Psichiatria organica e biologica

a) Psichiatria organica

È un ambito di fondamentale importanza teorica e pratica, collegato direttamente a quel vasto settore della clinica psichiatrica che studia e cura tutte quelle numerose e frequenti sindromi psicopatologiche dipendenti da alterazioni anatomiche o funzionali del sistema nervoso centrale.

Questa branca della psichiatria, di stampo prettamente medico, trae i suoi argomenti dall'anatomia e istologia patologiche (di cui è ben noto il contributo sostanziale allo studio degli stati demenziali, dei disturbi psichici

consecutivi ai traumi cranici, alle intossicazioni, alle malattie infiammatorie e degenerative, ai tumori, all'epilessia), dagli effetti delle chemioterapie, dai risultati della neurochirurgia, da diversi dati della genetica (che oggi attraversa un periodo di intensa e feconda ricerca, specie negli Stati Uniti e in Scandinavia) e dai modelli generali forniti dalla neurofisiologia e dalla neurochimica, specie dei neurotrasmettitori e dei neuroormoni.

Oggi nell'assunzione di rapporti causali si è assai più cauti e critici di quanto non lo siano stati, ad esempio, Wernicke prima e Kleist poi, secondo cui ogni sintomo psichico poteva corrispondere a una lesione corticale ben circoscritta e ogni sindrome a una lesione funzionale delle rispettive aree corticali, in un'esasperata corrispondenza anatomico-clinica; nè ci si attarda troppo sulla concezione di De Clérambault, riscontrabile pure in una parte notevole della psichiatria sovietica anche recente (v. Wortis, 1953), secondo la quale i fenomeni elementari del piccolo automatismo mentale sarebbero da addebitarsi a sequele di malattie infettive passate inosservate o al diencefalo e all'ipotalamo (v. Guiraud, 1950), fino a certi estremi di lombsiana memoria, per esempio la diencefalosi criminogena di N. Pende.

Oggi, sotto il titolo di psichiatria organica (v. Bini e Bazzi, 1974; v. Lishman, 1978) possiamo comprendere - e ci limiteremo a una scarsa enumerazione, senza ulteriori approfondimenti patogenetici e chimici, per ovvie ragioni di spazio - i disturbi psichici causati da arteriosclerosi, traumi cranici, tumori cerebrali, infezioni intracraniche (encefaliti, meningiti, ascessi), epilessie, disturbi cerebrovascolari, demenza senile e presenile, corea cronica, endocrinopatie, disturbi metabolici (epatici, elettrolitici, anossici, diabetici, ipoglicemici), disvitaminosi, intossicazioni (allucinogeni, bromuri, barbiturici, oppiacei), fattori tossi-infettivi (puerperio, malattie batteriche e virali acute e croniche), malattie virali neurotrophe, sclerosi a placche, malattie erodegenerative, malattia di Parkinson e altri disturbi extrapiramidali, idrocefalo normoteso, sindromi paraneoplastiche, ecc.

In questo vasto ambito medico domina, ancor oggi pienamente valido, il fondamentale concetto del tipo esogeno di reazione o 'psicosindrome organica' di K. Bonhoeffer, cioè di un codificato complesso unitario di alterazioni delle funzioni psichiche elementari: attenzione, memoria, orientamento e, soprattutto, stato di coscienza; si tratta di patologia della coscienza (in contrapposizione alla patologia della personalità; v. Ey, 1962).

È, questo della psichiatria organica, un capitolo destinato a un'ulteriore, rapida, feconda espansione in rapporto all'estendersi delle conoscenze mediche biologiche (v. Hollister, 1968) e all'approfondirsi delle indagini sui legami tra eventi mentali ed eventi fisici nel sistema nervoso centrale, legami che (malgrado gli enormi progressi compiuti negli ultimi decenni) siamo ancora lungi dall'aver compreso (v. Eccles, 1978).

Anche in questo vasto capitolo della psichiatria, pur fondamentalmente ancorato all'ambito dell'homo-natura, si rivela però non solo utile ma necessario lo studio dell'ambiente ecologico, psicosociale e culturale in cui la

persona si forma e lavora (v. Banschikov, 1970). Ad esempio, è recente e pieno di promesse lo studio dell'influenza di noxae genetiche e cognitive sullo sviluppo dell'apprendimento e sulla maturazione della persona, e sul rischio, più o meno elevato e prevedibile, di malattia mentale.

Comunque, se non si tenessero presenti o non si ammettessero la dimensione teoretica e l'estensione pratico-clinica di questo settore, verrebbe a mancare il motivo essenziale per il training medico dello psichiatra, che deve acquisire conoscenze su tutti i fattori che determinano i disturbi del comportamento, e non solo su una parte di essi. Come si è detto, la natura e l'esistenza, in psichiatria, non solo non si escludono a vicenda ma sono entrambe dimensioni costitutive. La capacità dello psichiatra di sapere, dopo la prima intervista, verso quale area dirigere principalmente la propria attenzione, dipende dalla sua esperienza clinica, dall'accuratezza del suo esame ma, soprattutto, dalla sua particolareggiata conoscenza dei fenomeni psicopatologici e del loro significato. La delega al neurologo, poi, è sempre possibile, anzi per molti casi è doverosa, ma comunque bisogna sapere 'chi' e 'che cosa' delegare. Questa preparazione accurata è oggi tanto più necessaria in quanto lo psichiatra è sempre più presente nell'ospedale generale.

b) Psichiatria biologica

Mentre da noi note ragioni storiche hanno provocato un ventennale ritardo in campo psicanalitico e il persistere del vecchio organicismo di stampo positivista, per cui impostazioni psicodinamiche già ampiamente maturate altrove sono qui ancora nella loro fase di sviluppo, in altri paesi, di più antica tradizione psicanalitica, la dimensione neurobiologica sta conoscendo il suo momento più florido.

Come mostrano Tissot (v., 1979) e Meyersburg e Post (v., 1979), le tendenze attuali più qualificate sono quelle di una concezione olistica dello sviluppo dei processi neurali e psicologici, cioè di un'integrazione globale neurobiologico-psicanalitica. È, in fondo, la concezione, riveduta e corretta, dell'organodinamismo di Ey, basata sul concetto di H. Jackson (1889) dei livelli di evoluzione delle funzioni nervose e sulla visione di Ch. Sherrington (1906) della funzione integrativa del sistema nervoso. Il ricchissimo e geniale approccio di Pavlov si inserisce potentemente in questa direzione (v. Astrup, 1965). Recentemente A. Luna e G. Benedetti hanno dato un prezioso contributo a questo approccio monistico neuropsicologico. Si indagano i correlati neurobiologici dei processi psicodinamici ed evolutivi, nei campi dello sviluppo cognitivo e della psicodinamica, cercando di tradurre fondamentali concetti psicanalitici (per es. fissazione, regressione, processi mentali inconsci) in concetti neurofisiologici e neuroanatomici verificabili sperimentalmente. Freud stesso, checché ne dica Fromm (v., 1979), aveva preconizzato tale impostazione di indagine: "dobbiamo pensare che tutte queste idee provvisorie in psicologia un giorno troveranno presumibilmente il loro fondamento nella substruttura organica. Ciò rende probabile il fatto che specifiche sostanze e processi chimici controllino le operazioni delle specifiche forze psichiche".

Lo studio neuroanatomico dei modelli di mielinizzazione nel cervello, la neurochimica delle aree cerebrali nei diversi stadi di sviluppo, lo studio sperimentale delle modificazioni dei processi di sviluppo (privazione o arricchimento degli stimoli ambientali), gli studi neuroendocrinologici (v. Rotrosen e altri, 1979) e, soprattutto, quelli genetici ed etologici stanno apportando risultati assai significativi, con mutue e feconde correzioni di prospettive e con la possibilità di giungere a nuove importanti teorizzazioni (v. Frazer e Winokur, 1977).

Si sono accumulate prove precise e convincenti circa le modificazioni e le predisposizioni biologiche nel campo delle psicosi maggiori (maniacodepressive e schizofreniche), cercandone la correlazione con le determinanti psicodinamiche e sociali, predisponenti e scatenanti, con la disturbata vita familiare, con la privazione di esperienze essenziali per le fasi critiche di maturazione (v. Perris, 1966; v. Rosenthal e Kety, 1969).

Oltre agli studi sul rapporto tra catecolammine e stati depressivi, si aprono orizzonti molto promettenti con lo studio degli oppioidi e delle endorfine (v. Snyder, 1976), con vaste implicazioni per la psichiatria. Oggi è largamente accettata la teoria che le alterazioni della trasmissione sinaptica dopamminergica possono avere un ruolo nella patogenesi della schizofrenia, e larghi consensi riscuote parimenti la teoria che aggancia il sistema delle endorfine all'eziologia della schizofrenia. È ampiamente possibile che le due teorie possano essere combinate in un modello unico (v. Volavka e altri, 1979). Invero sembra dimostrato che le endorfine modulano la trasmissione sinaptica dopamminergica (v. Davis e altri, 1979); l'iperattività dopamminergica, correntemente ritenuta in rapporto con la schizofrenia, può essere causata da un'alterazione primaria nel sistema endorfinico; la natura di tale alterazione è ancora molto ipotetica ed è quindi prematuro ritenere dimostrato che la β -endorfina sia un antipsicotico.

L'apporto delle indagini psicologiche e psichiatriche sugli animali (v. Brion ed Ey, 1964; v. Ploog, 1964) non può essere minimizzato, anzi si è rivelato molto fecondo (sia pure col pericolo sempre incombente della generalizzazione analogica); in tal senso si può parlare di una fiorente psichiatria sperimentale.

L'analisi dei substrati biochimici in rapporto alle risposte differenziate allo stress e dei substrati biofisiologici per i processi di fissazione e di regressione e per i processi mnemonici e di apprendimento, gli studi sui ritmi (v. Heimann e Pflug, 1978), le recenti prospettive aperte dalle indagini di studiosi giapponesi (Imura) sui rapporti tra esperienza di deprivazione sensoriale e diminuzione del fattore dell'accrescimento nervoso (R. Levi-Montalcini) consentono di intravedere prima, e precisare poi, correlazioni neuropsicologiche di estremo interesse, documentabili fin dai primissimi mesi di vita extrauterina.

La correlazione tra concetti psicanalitici e acquisizioni neurobiologiche tende a rafforzarsi anche alla luce di altre discipline. Nascono nuovi modelli esplicativi, ipotesi specificamente sperimentabili e approcci

interdisciplinari, destinati a chiarire sempre meglio i complessi problemi inerenti al comportamento umano in tutte le sue varianti e alla previsione (e quindi prevenzione) del rischio di malattia.

In tal senso non vi è dubbio che lo studio delle correlazioni mente-cervello e mente-persona costituirà la base scientifica della futura psichiatria, il fondamento, sempre in evoluzione, della sua prassi, anche di quella più ancorata alla realtà sociale e storica dell'uomo (v. mente).

5. Psicofarmacologia

Il modo d'azione dei medicinali sullo psichismo è stato molto studiato negli ultimi decenni e attualmente non poche sono le nozioni definitivamente acquisite. È dimostrata un'anomalia nei neuromediatrici, una loro disfunzione: ad esempio, negli eccitamenti maniacali il tasso delle catecolammine cerebrali è elevato; il tasso di noradrenalina e di serotonina nelle sinapsi del cervello modula le reazioni dell'umore (v. Paykel e Coppen, 1979); gli antidepressivi inibitori delle monoamminossidasi (anti-MAO) impediscono la distruzione delle monoammine, rinforzando il tasso delle catecolammine intracerebrali. Nei deliri e nelle schizofrenie l'anomalia metabolica sembra essere a carico della dopamina (v. Garver e Davis, 1979): i neurolettici attivi in queste psicosi sono capaci di provocare disturbi extrapiramidali, i cui legami con l'attività dopaminergica sono ben noti. Altre ipotesi più recenti chiamano in causa le endorfine o encefaline, peptidi naturali, prossimi agli oppiacei, dotati di recettori nervosi specifici. Questi 'ormoni del dolore' (v. Trigg, 1970; v. Sternbach, 1978) sarebbero impegnati nel controllo degli stati affettivi. Quel che è certo è che il medicamento non agisce direttamente sul sintomo, ma sullo stato neurofisiologico che gli permette di manifestarsi. È qui forse che va anche situato l'effetto placebo, così frequente nella pratica terapeutica.

L'azione drammatica dell'elettroshock, realizzato nel 1938 da Cerletti e Bini, pare sia da rapportarsi alla liberazione da parte dell'ipotalamo di un releasing-ormone sulla tiroide. L'elettroshock non merita né eccessivi entusiasmi né critiche radicali; in mani esperte e per indicazioni precise è un trattamento efficace e inoffensivo. L'indicazione maggiore è l'accesso melanconico con idee di suicidio. Esso comunque, come l'insulinoterapia di Sakel, è oggi sempre meno usato, soppiantato dalla chemioterapia; si può veramente dire che questa ha aperto agli inizi degli anni cinquanta, per merito dei francesi, un nuovo e fecondissimo orizzonte curativo con l'introduzione della clorpromazina.

La classificazione più comoda degli psicofarmaci (v. Balestrieri, 1961; v. Deniker, 1966; v. Sutter, 1971; v. Marino, 1974) distingue gli psicolettici (tra cui gli ipnotici), gli psicoanalettici (eccitanti e antidepressivi), i normotimici (il litio), i tranquillanti (antiansia, ipnoinduttori), i neurolettici (antipsicotici) e gli psicodislettici (droghe allucinogene: v. Hoffer e Osmond, 1966; v. Kalant, 1966). In particolare, i neurolettici creano uno stato di indifferenza psicomotoria, attenuano l'eccitazione, l'agitazione, l'impulsività e l'aggressività; sono

allucinolitici e antideliranti; la loro azione sembra essere essenzialmente sottocorticale (diencefalo, sostanza reticolata) e dà luogo a una sindrome extrapiramidale reversibile. Molto importanti attualmente sono i neurolettici ad azione ritardata (long-acting), ove l'effetto di una singola somministrazione è di lunga durata, permettendo quindi un efficace trattamento controllato, a lungo termine. Tra i neurolettici più importanti vanno annoverati quelli del gruppo delle fenotiazine e i butirrofenoni.

È indubbio che, con la loro azione sedativa, antidelirante e antibloccante, i neurolettici, prescritti a dosi adeguate e per lungo tempo, consentono un migliore contatto psicologico e facilitano la comunicazione, anche quella psicoterapeutica. I fenomeni tossici diretti sono molto rari (a meno di posologie eccessive); la prudenza è necessaria nei soggetti anziani, negli epato e nefropazienti e, soprattutto, negli alcolisti. Abbastanza facile - ma non sempre soddisfacente - è la correzione dei fenomeni vegetativi e parkinsoniani; più difficile è invece il controllo delle discinesie tardive, attualmente oggetto di attenti studi.

Gli antidepressivi costituiscono certamente uno dei capitoli più fecondi e importanti della terapia farmacologica; la loro efficacia, anche come terapia di mantenimento, è fuori discussione e ha consentito una sostanziale riduzione dell'ES-terapia. C'è tutto un fiorire di studi, di grande significato teoretico e dalle molteplici implicazioni cliniche, arricchitesi singolarmente con la recente introduzione in terapia dei sali di litio. Ciò comporta ovviamente nuovi compiti per lo psichiatra, che non può sottrarsi all'esigenza di un continuo aggiornamento, di una critica costante, e di acquisire nuovi modelli di comprensione, anche psicopatologica, per vasti settori della patologia mentale che finora si situavano marginalmente ai disturbi dell'affettività: si pensi, ad esempio, all'efficacia di tale terapia nelle frequenti sindromi schizoaffettive (v. Honigfeld e Howard, 1978).

Per i tranquillanti, sempre più largamente consumati su scala mondiale, il pericolo dell'abuso è reale e non vi si insisterà mai abbastanza. Certamente le benzodiazepine riescono a ridurre notevolmente l'intensità del sintomo ansioso, facilitando in tal modo il rapporto psicoterapeutico; si possono però favorire farmacodipendenze, che coprono altre esigenze di cura, psicologica e ambientale, mantenendo pericolosi equivoci di base.

Recenti e di notevole importanza pratica sono le indagini che vertono sulle sostanze psicotrope e sull' 'induzione enzimatica'. Si è cioè riconosciuta l'esistenza di fattori metabolici che modificano l'azione del medicamento. Ad esempio, l'induzione enzimatica epatica favorisce la distruzione dei barbiturici e ne riduce l'attività farmacologica, con effetti a volte imprevedibili.

Si è anche studiata l' 'induzione crociata', che concerne altri prodotti naturali o artificiali. La polifarmacia comporta quindi un rischio che solo da poco tempo si comincia a conoscere, cioè la riduzione dell'effetto di farmaci somministrati contemporaneamente. Gli steroidi ormonali sono induttori (come l'epatoterapia), il che potrebbe spiegare l'instabilità di certi effetti farmacologici in funzione del ciclo nella donna.

È ben possibile che, malgrado il suo considerevole sviluppo, la psicofarmacologia vada incontro, in un futuro anche prossimo, a una trasformazione completa. L'approfondimento delle nostre conoscenze sui meccanismi biochimici del funzionamento cerebrale renderà possibile l'utilizzazione di sostanze psicotrope naturali (mediatori sinaptici). Il che renderà la psicofarmacologia molto più 'fisiologica' di quanto non sia finora (v. psicomacologia).

6. 'Psichiatria animale'

Lo psichismo animale è correlativo dell'organizzazione della vita di relazione, organizzazione che 'integra' l'istinto e l'esperienza. Tuttavia il titolo di questo capitolo farebbe orrore all'etologia, che si propone di scacciare ogni antropomorfismo dalla descrizione dei comportamenti degli animali. In realtà nessuna zoopsicologia e nessun etogramma sono possibili se non si prende atto del 'senso' di quel comportamento, sul che Buytendijk (1920) e Weizsäcker (1940) hanno magistralmente insistito: lo psichismo degli animali non si costituisce che nella misura in cui l'animale non è nè esclusivamente istinto nè esclusivamente apprendimento. I problemi dell'istinto e dell'intelligenza si pongono qui in tutta la loro complessità. Se è possibile parlare di psicologia animale, è anche possibile parlare di psichiatria, ove si colga l'anomalia non nel quadro delle variazioni permesse dalla specie ma propriamente come deroga alla norma. Il senso preciso del concetto di 'patologico' è proprio questo: esso deve applicarsi al 'controsenso' di un adattamento, sia preformato che acquisito (v. Keehn, 1979).

Resta comunque la difficoltà di base inerente a ogni indagine zoopsichiatrica; essa può istituirsi solo su una conoscenza sufficiente dei comportamenti normali di una data specie, delle variazioni legate all'istinto specifico in ognuno, e delle capacità individuali di adattamento, cioè solo sulla conoscenza della struttura dello 'psicoide' proprio di quella specie (v. Dembowski, 1955).

Numerosi sono i dati che consentono di "individuare l'oggetto di una zoopsichiatria nella possibilità stessa per un animale di non più conformarsi al genio e alla legge della propria specie per un'alterazione del suo psichismo, cioè sotto l'effetto di un'organizzazione individuale della sua vita di relazione" (v. Brion ed Ey, 1964): ne è un esempio il ragno lisergizzato che tesse una tela 'impazzita'. Ciò evidentemente può circoscrivere la patologia 'mentale' dell'animale alla sua patologia neurologica (enorme campo di studio costituito dalla sperimentazione sul sistema nervoso centrale e dalle cosiddette neurosi sperimentali; v. Masserman, 1943; v. Cosnier, 1966) o coscienziale (l'epilessia, la sham rage, la catalessia; v. Frauchiger, 1953); malgrado numerosi tentativi di estrapolazione, oggi si è concordi nel ritenere che tutto quel che nella psicopatologia umana implica la persona non appare presso gli animali. Anche qui tuttavia non mancano esempi di comportamenti individuali e di gruppo che fanno restare per lo meno perplessi (v. Griffin, 1979).

Contrariamente a quanto verificatosi in certe scuole psichiatriche dell'Ottocento e in certe misure di 'cattività' prese contro i malati mentali, la cui prospettiva equivaleva a ridurre la psichiatria umana a una specie di zoopsichiatria, oggi si tende - fondando la psichiatria animale sulla struttura psicoide - ad avvicinare gli animali all'uomo.

H. Milne-Edwards, G. Romanes ed E. Perrier sono stati sul finire dell'Ottocento i tre più autorevoli studiosi dell'intelligenza degli animali. Al loro lavoro ha fatto seguito (1920) la famosa *Psychologie der Tieren* di Buytendijk. I lavori degli etologi, per es. Armstrong, Lorenz e la sua scuola, Tinbergen, Mainardi, quelli di Piéron, la concezione di Zuckermann sulla vita sociale e sessuale delle scimmie, gli studi di Yerkes, di Dembowski, di Jouvet, di Thorpe (v., 1957) illuminano i problemi collegati alle attività di sostituzione, al sonno e ai sogni, al dressaggio dell'animale, all'eredità del comportamento.

La concezione pavloviana delle neurosi sperimentali (v. Astrup, 1965) si pone come base per una psicopatologia degli animali e permette di spiegare certe anomalie del comportamento (Kourtsine e Fedorov). Riprese da Liddell (1923), le esperienze pavloviane conobbero presto negli Stati Uniti una fioritura incredibile con Miller, Masserman, Tolman e, soprattutto, con l'apporto importante e geniale di Mowrer (v., 1960). L'aggressività, i disturbi delle relazioni genitori-figli, la cattività e la domesticazione, l'infanticidio e il 'cannibalismo puerperale', le anomalie del comportamento sessuale, i movimenti stereotipati, i tic, le automutilazioni e il suicidio, l'ipnosi animale e, soprattutto, lo studio delle anomalie consecutive a lesioni cerebrali, in particolare lo studio delle convulsioni, hanno consentito negli ultimi tre decenni l'acquisizione di importanti risultati.

Certamente non è possibile, almeno per ora, concepire una psichiatria animale come branca della patologia comparata e della patocaratterologia. È possibile però, con Lanteri-Laura (v., 1964), parlare di osservazione psichiatrica dell'animale, con l'aiuto della medicina veterinaria e della zoologia. Invero, se la psichiatria si interessa a disturbi che, in parte, non sono esclusivi della specie umana, la psichiatria animale può farci intendere meglio l'aspetto specifico umano di alterazioni psichiche di cui si può reperire nell'animale già qualche traccia suggestiva, pur se comprensibile solo a titolo di dialettica tra l'organismo vivente e il suo ambiente.

7. Psichiatria dinamica e psicosomatica

a) Psichiatria dinamica

Il concetto di 'modello psicobiologico di reazione', con tanta fortuna introdotto da A. Meyer, ha stimolato, specie nella psichiatria nordamericana, l'integrazione delle direttive di ricerca biologiche, psicologiche e sociali, aprendo il campo dapprima all'introduzione su larga scala della psicanalisi in psichiatria e poi, negli

ultimi anni, a un discorso neopositivista molto fecondo: basti pensare alle correlazioni genetico-psicodinamiche sui soggetti a rischio elevato, per esempio i figli dei maniaco-depressivi (v. Perris, 1966) o degli schizofrenici (v. Rosenthal e Kety, 1969).

Gli studi di Freud sui processi mentali inconsci tramite l'ipnosi, le libere associazioni e l'analisi dei sogni (v. Cappelletti, 1973) sono troppo noti per essere qui riferiti in estenso. L'isteria, i sintomi neurotici derivati dall'ansia, il transfert (cioè la tendenza del paziente a ripetere verso il medico atteggiamenti emotivi previamente assunti verso i genitori o altri da cui è stato dipendente emotivamente), con i meccanismi di repressione, spostamento, identificazione, proiezione, conversione, razionalizzazione, sono concetti fondamentali per la comprensione psicodinamica della natura umana: costruito sul e dal conflitto tra forze profonde opposte, tra l'Es e il Super-Io, l'Io scarsamente integrato nelle sue autodifese (v. Federn, 19603; v. Hartmann, 1964) può produrre sintomi nevrotici, psicotici o caratteropatici (v. Schneider e altri, 1965). Tra le idee base della concezione freudiana ricche di implicazioni psichiatriche sono ancora ampiamente accettate la teoria della libido e il postulato del determinismo psichico; entrambe indicano il naturalismo della psicanalisi e hanno non di rado indotto a un atteggiamento assiomatico e assolutista, in parte molto contrastante con l'ateoreticità dell'atteggiamento sperimentale. Vero è che i successivi studi clinici condussero Freud stesso a modificare in parte la sua concezione originaria del ruolo dell'istinto sessuale negli stati d'ansia, con il riconoscimento dell'importanza delle pulsioni aggressive.

A prescindere dalla controversa questione degli istinti (v. istinto) e dalla loro diversa accezione nella biologia generale (compresa la psicologia) e nella psicanalisi, è stato ampiamente possibile, anzi ha assunto un significato clinico fondamentale, l'inquadramento psichiatrico generale dei principi psicodinamici come è accaduto, ad esempio, nella sistematica psicobiologica di Meyer, così diffusa negli Stati Uniti. Se la condizione psicopatologica primaria è l'ansia (con tutti i suoi correlati psicologici e somatici, per es. angoscia precordiale, tensione muscolare, tremore, disturbi neurovegetativi), è pur vero che essa può essere considerata, in una certa misura, un'utile funzione biologica. Si ammette oggi, in larga misura, che nei casi più semplici una psicoterapia di chiarificazione e appoggio sia sufficiente; ma spesso uno sviluppo immaturo o tratti sfavorevoli di personalità rendono più difficile, se non impossibile, la risoluzione terapeutica, come accade per esempio per le neurosi ossessive, per certe conversioni isteriche (oggi si ripropone - DMS-III - il termine 'sindrome di Briquet', per evitare tutti gli equivoci insiti nel termine 'isteria'), per le personalità sensitive, passivo-aggressive o paranoide, per certe perversioni sessuali (v. Chazaud, 1973). In questo vastissimo campo della terapeutica psichiatrica l'impostazione psicodinamica, vincendo resistenze notevoli, ha conquistato un sempre più esteso significato formativo e applicativo (v. Wolberg, 19773), tanto che oggi anche colui che non fa professione aperta di psicanalisi poggia in gran parte, più o meno consapevolmente, su un background

culturale psicodinamico (v. Stern, 1958). La storia della psicanalisi dopo Freud lo dimostra con chiarezza e consente di comprendere meglio lo sviluppo degli studi psichiatrici dagli anni trenta in poi.

L'elemento che è venuto ad assorbire la parte preponderante dell'attenzione psichiatrica, sia teoretica che terapeutica, è quello interpersonale (v. Kimura, 1975). Qui si è assistito a un confluire di campi (antropologico, esistenziale, fenomenologico, sociologico) che ha condotto a una rifondazione della psichiatria, essenzialmente psicodinamica e interpersonale. Si pensi a Sullivan e a tutta la psichiatria antropofenomenologica: oggi, ad esempio, per personalità si intende, con ampia concordanza da posizioni diverse, il sistema organizzato delle attitudini interpersonali di un individuo, con una convergenza tendenziale fra natura e storia (sommandosi le varianti innate individuali con le esperienze interpersonali acquisite nel corso del proprio sviluppo e modellate dalla propria cultura, in un dato ambiente; v. Callieri, 1963).

Vi è stato tutto uno sforzo fecondo, innegabilmente anche su substrato dinamico, per una sistemazione descrittiva della personalità. Vanno ricordate, per la loro importanza teoretica e clinica, la classificazione di E. Kahn, quella di E. Kretschmer (v., 1967/25), che ha condotto a correlazioni tra struttura del corpo e carattere e tra carattere e malattia psichica, quella di Sheldon, più duttile, quella di K. Schneider, che si è imposta in tutto il mondo per la sua mirabile capacità descrittiva e ordinativa della tipologia in rapporto alle personalità psicopatiche; infine quella psicanautica, notevolmente penetrante nella psicopatogenesi dei tratti (per es. orali, anali, fallici, uretrali, genitali). È per questo motivo, profondamente psicodinamico, che gli anni formativi della vita hanno assunto tanta importanza e richiamato tanta attenzione nel pensiero psichiatrico attuale, sì da dar luogo al sorgere e al prosperare della pedopsichiatria e da far prestare un'attenzione tutta particolare ai problemi educativi del gioco e del lavoro, all'ambiente sociale, alle sue esigenze di adattamento e alle complesse interreazioni da ciò derivanti. La variabilità è estrema, anche in seno a una stessa cultura, a uno stesso ambiente sociale, a una stessa famiglia, e altrettanto variabili sono le disposizioni innate del singolo; per cui non solo non sorprende, in tal senso, la devianza, ai diversi livelli sopraccennati (soggetti antisociali, ossessivi, ipocondriaci, isterici), ma si tende anche, per lo meno nella sua evoluzione dinamica, a depatologizzarla (v. Robins, 1966) sia pure entro certi limiti.

Lo studio psichiatrico si è sempre più rivolto all'indagine individualizzata del singolo caso, con una sempre maggiore sensibilizzazione per una dimensione di studio essenzialmente biotipologica (i recenti studi sulla biodinamica dei 'soggetti di rischio', soprattutto in età evolutiva, sembrano confermare la piena validità pratica di questa impostazione metodologica).

Va infine ricordato che l'esplorazione in patologia mentale (test di intelligenza, test di personalità) si basa essenzialmente su un'impostazione psicodinamica: il test di Rorschach, proposto nel 1921, è attualmente uno dei migliori per l'esplorazione della personalità (v. Pichot, 1949); ha spesso grande valore diagnostico, pur non

dispensando dall'esame clinico, perché fornisce un'immagine dinamica della personalità e indica come l'individuo fa le sue esperienze.

b) Psicosomatica

Questa disciplina medica - che studia le alterazioni organiche indotte, direttamente o indirettamente, dalle emozioni e dalle tensioni psichiche e ambientali - ha avuto negli ultimi decenni enormi sviluppi (v. anche psicosomatica).

Il concetto di stress (di H. Selye) trova qui la sua più pertinente formulazione. La partecipazione costante del corpo agli sforzi dell'organismo per adattarsi all'ambiente e la possibilità di repressione di specifiche emozioni sono tuttora al centro dell'analisi psicosomatica (v. Dunbar, 1947; v. Dongier, 1966; v. Cobb, 1950; v. Delius e Fahrenberg, 1966; v. Grings e Dawson, 1978).

A parte lo studio psicofisiologico delle componenti vegetative dell'emozione (v. Arnold, 1960; v. Ursin e altri, 1978), dal tremore alla tachicardia, dal sudore alla nausea, dalla poliuria alla diarrea, dalla bocca secca alla tensione muscolare, la dottrina della somatizzazione dell'ansia (v. Alexander, 1950) ha influenzato notevolmente lo sviluppo della moderna medicina (v. Lain Entralgo, 1950); essa ha fornito un nuovo mezzo d'indagine per concepire l'organismo nel suo insieme, come un tutto integrato, in cui i meccanismi psicologici agiscono sui processi fisiologici in un complesso di circuiti riverberanti (v. Birbaumer, 1977). Il loro studio attento e minuzioso, iniziatosi negli anni trenta nell'Istituto di psicanalisi di Chicago, ha consentito un nuovo tipo di approccio nello studio dei disturbi coronarici, dell'ipertensione, della cefalea, del diabete, delle malattie della pelle, delle endocrinopatie, dell'asma, dell'ulcera gastrica, della colite, dell'anoressia nervosa, delle malattie reumatiche. Avvalendosi di concetti mutuati dalla psicanalisi (specie quelli di regressione, fissazione, identificazione, tendenze orali-incorporative e oro-aggressive, desiderio di dipendenza) la medicina psicosomatica ha centrato il problema della specificità dei fattori emotivi nei disturbi somatici e quello dei rapporti tra tipo di personalità e malattie.

In Italia lo studio psicosomatico ha richiamato l'attenzione di molti medici, che attualmente cercano (per es. nella "Rivista di medicina psicosomatica" diretta da F. Antonelli) soprattutto di coordinare in modo efficace le misure curative somatiche e quelle psichiche, sensibilizzando la classe medica a questi problemi.

È forse, questo della psicosomatica, il campo medico in cui si è realizzato per la prima volta l'incontro tra fisiologia e psicologia (dopo la lunga separazione che ebbe luogo nella medicina positiva del secondo Ottocento e del primo Novecento).

Non mancano tuttavia critiche, anche aspre, rivolte alla sua indiscriminata e superficiale generalizzazione (soprattutto) della relazione simbolica fra il sintomo e il conflitto; Koupernik (v., 1974) parla, per esempio, di "quel pallone gonfiato che è la psicosomatica". Prevale comunque, nettamente, la valorizzazione di questo tipo

di approccio, confermata dallo sviluppo delle recenti tecniche psicofisiologiche dell'autocontrollo o biofeedback (v. Beatty e Legewie, 1977; v. Pancheri, 1979); oggetto attuale di studi fecondi è la relazione fra la natura dello stress, il profilo psicologico dell'individuo e la malattia in cui egli si esprime (v. Uexküll, 1967).

8. Psicoterapia

I concetti psicomodinamici sopra accennati, l'adattamento anzitutto (intrapsichico, interpersonale, ambientale), la repressione, la fissazione, la regressione, hanno rivoluzionato le prospettive terapeutiche in psichiatria e hanno sensibilizzato gli studiosi verso lo 'sviluppo', inteso come attivazione e soppressione delle potenzialità fisiologiche ed ereditarie tramite le influenze ambientali, specialmente quelle esercitate nell'infanzia e nella fanciullezza.

I conflitti che ne derivano, a tutti i livelli (per es. tra i desideri degli adulti e i bisogni dei bambini), e che spesso vengono a dissolversi spontaneamente contribuendo così a formare la personalità integrata e matura, non di rado permangono irrisolti e divengono fattori patogenetici di situazioni nevrotiche, o meglio nuclei dell'ubiquitaria componente nevrotica dell'uomo.

A prescindere dalla psicoterapia intesa come semplice aiuto di buonsenso e di disponibilità, che è antica come la cultura umana, con tutte le sue qualità e i suoi errori, si può dire che la grande scoperta del Novecento sia la dimensione psicoterapeutica (scientifica) in psichiatria, dimensione resa possibile dall'individuazione della vita psichica inconscia.

Il comportamento nevrotico è determinato dalla preponderanza di motivazioni inconsce ed è quindi rigido, inflessibile, scarsamente adattato alla realtà esterna e ripetitivo (si pensi ai rituali di lavaggio, alle varie fobie e ossessioni); esso non riesce a liberare dall'ansia, anzi ne crea di nuova, in una circolarità senza fine. La psicoterapia fin dall'inizio ha inteso liberare il nevrotico non solo dai sintomi ma soprattutto dalle loro sorgenti inconsce; per far ciò è necessario che il paziente riviva le sue esperienze 'patogenetiche' passate. La tecnica psicanalitica (che presto rimpiazzò la suggestione e l'ipnosi) si servi anzitutto delle libere associazioni, dell'analisi delle forze emotive coinvolte nel transfert, delle fantasie, dei sogni; e ciò, quali che siano la tecnica e il presupposto teoretico, è restato pressochè invariato nei decenni successivi (v. psicanalisi).

La graduale sostituzione delle rigide immagini parentali con altre più mature, tolleranti e permissive, il ruolo delle interpretazioni critiche dell'analista (tanto più valide quanto più buono è il rapporto creatosi), il fine fondamentale dell'acquisizione dell'insight sono gli elementi essenziali di ogni psicoterapia scientifica (v. Delpierre, 1968).

Accanto all'analisi freudiana, che occupa ancora le posizioni chiave di tutto il vasto agire psicoterapeutico, non si può tacere la crescente influenza, specie in Europa, del pensiero di Jung, ricchissimo di implicazioni

culturali e spesso antitetico a quello freudiano. Entrambi, comunque, sottolineano l'importanza della storia del singolo, che facilita la presa di coscienza dell'Ombra (in senso junghiano), cioè dell'oscuro aspetto inferiore della nostra personalità.

Spesso si dice, forse riduttivamente, che il procedimento psicanalitico altro non è che la terapia del transfert, cioè di quella dipendenza (infantile) che si crea nei confronti del medico. Questo transfert si basa su fantasie inconsce che, diversamente da quanto è stato rimosso, non sono mai state conscie. Per render consci tali contenuti sia Freud che Jung si servirono del metodo dell'interpretazione dei sogni; Freud, più riduttivamente, riconduceva in senso causale i contenuti onirici a impressioni e impulsi della prima infanzia.

Rinviando per Freud e per lo sviluppo del suo pensiero all'articolo psicanalisi, è opportuno ricordare che l'ortodossia della sua scuola non è semplice ripetizione della psicanalisi di base. Così K. Abraham dà meno importanza di Freud agli avvenimenti traumatici e insiste sul regno della causalità nel campo psichico; E. Jones sostiene più la natura protettrice dell'angoscia che non l'effetto della rimozione di libido e, attento alle ricerche di M. Klein, dà prova di notevole originalità nelle ricerche sulla sessualità femminile. Mentre Adler e Jung contestano il freudismo nel cuore stesso della nozione di inconscio, la dissidenza di W. Stekel e quella di O. Rank muovono dalla 'fretta' terapeutica, in opposizione alla lentezza dell'analisi freudiana, vicenda senza fine: la terapia basata sul trauma della nascita potrebbe tagliare violentemente il nodo gordiano della rimozione invece di snodarlo penosamente. F. Alexander, con la sua scuola di Chicago (1931), crea la 'psicoterapia breve': lo seguono E. Weigert, F. Fromm-Reichmann, French, Benedek, Haman, Balint, tutti ricercatori e terapeuti ingegnosi e inventivi, che attribuiscono notevole importanza all'adattamento sociale, il che fa pure la scuola di New York con R. Spitz (le cui opere, sempre prefate da A. Freud, sono fondamentali per i problemi della prima infanzia e per le loro implicazioni pedagogiche), e con E. Erikson (il problema dell'identità nell'adolescenza). Entrambi tengono conto dell'apporto degli antropologi (R. Benedict, M. Mead, O. Bateson), dell'Ego psychology (H. Hartmann, R. Loewenstein), dei culturalisti (Kardiner, Horney), e non esitano a proporre elementi di sociologia psicanalitica.

Le tendenze culturalistiche della psicanalisi americana si dialettizzano fra integrazione e critica sociale (v. Nacht, 1965), praticamente fra H. S. Sullivan (v., 1962) ed E. Fromm (v., 1979), e troveranno compiuta espressione nella vasta sintesi analitico-culturale di K. Horney e nell'assunzione fondamentale per cui l'ansia di base assume più importanza della sessualità (v. Harper, 1959).

Il movimento psicanalitico che tanta importanza ha nella psichiatria americana ha proseguito qui, ad esempio come analisi transazionale, sotto il segno sulliviano 'i un'opposizione costante tra il biopsichico e il culturale. I rappresentanti delle diverse correnti culturalistiche hanno avuto e hanno per denominatore comune il rifiuto del biologismo di Freud. Forse ci voleva un etnologo, G. Roheim, teorico della cultura, per far ritorno, attraverso S. Ferenczi, proprio al naturalismo di Freud.

Nel contesto rivoluzione culturale critica sociale si situa l'apporto di W. Reich (v., 1949), che qui ricordiamo non tanto per la sua analisi del carattere quanto soprattutto per l'influsso esercitato dalla sua psicanalisi sociale sulla generazione più giovane degli psichiatri e degli psicologi, che vivono in un clima confuso in cui si opera nello stesso tempo una contestazione (per lo più su base sociopolitica) della psicanalisi freudiana e una vasta diffusione dei suoi apporti, al servizio delle forze del cambiamento sia dell'individuo che della società.

Ovviamente non è qui possibile esporre lo sviluppo della psicanalisi nei singoli paesi; tuttavia, non possiamo non ricordare Schultz-Henke, Musatti, Hesnard, Måle, Lebovici, Lagache, Loch: in genere si oscilla tra la linea di stretta osservanza freudiana e quella kleiniana, tendendo, per esempio con Bouvet e Diatkine e soprattutto con S. Arieti (v., 1974), a un'interpretazione contemporaneamente genetica (nella misura in cui fa assegnamento sui gradi di maturazione) e dinamica (nella misura in cui osserva le relazioni oggettuali, in termini di flusso di energia istintuale): le neurosi del carattere hanno qui ricevuto particolare illuminazione (v. Marmor, 1979).

J. Lacan (v., 1975) e l'École freudienne hanno assunto nell'ultimo decennio un particolare significato. La loro dialettizzazione della psicanalisi si articola sui nodi essenziali dell'intersoggettività e dell'integrazione simbolica della propria storia da parte del soggetto. L'attenta lettura lacaniana dell'opera di Freud comporta una posizione critica verso l'analisi delle difese dell'Io di A. Freud e verso la twobodies' psychology di M. Balint.

Con Lacan non possiamo non porci, e radicalmente, la questione della funzione dell'Io. Si profila così una disgiunzione netta tra la funzione dell'immaginario (dove l'Io struttura una serie di relazioni oggettuali sottomesse al quadro narcisistico) e la funzione simbolica (dove si pone integralmente la dialettica dell'intersoggettività).

Con il piano simbolico si spezza la chiusura duale io-oggetto, e si spezza per merito del linguaggio. È proprio in quanto parla che il soggetto non si può confondere con l'io. Qui appare particolarmente suggestivo il rapporto con le ricerche di Forrest (v., 1976) sul senso del linguaggio schizofrenico.

Il legame simbolico fra gli uomini, socialmente definito - il problema dell'intersoggettività - situa questo soggetto (che non è l'io) nella struttura complessa della sua singolarità, lo situa nel cuore di un discorso che gli viene dagli altri: "l'inconscio è il discorso dell'altro". Non è chi non veda l'importanza attuale del discorso lacaniano, che è però ancora troppo ermetico.

Attualmente, per accelerare il processo psicoterapeutico, considerato troppo lungo, sono stati fatti tentativi diversi (non sempre metodologicamente corretti): l'uso sistematico di rêveries ipnagogiche, l'esplorazione sotto ipnosi (v. Mayer, 1979), sotto farmaci, con regressioni indotte. In particolare molto seguiti sono stati, specie nel periodo postbellico, la narcoanalisi, la narcosuggestione, l'ipnosi, l'induzione chimica di stati crepuscolari nonché l'uso, in funzione terapeutica, dei test proiettivi, specie il Rorschach e il thematic

apperception test, che consentono l'espressione, anche trasferenziale, di tutta una topografia affettiva del soggetto, che rimanda alle sue tendenze e ai suoi desideri profondi. Oggi il pronto intervento psicoterapeutico, breve, sulla crisi, si sta diffondendo con successo (v. Schiappoli e Vetrone, 1978; v. Ewing, 1978; v. Pinkus, 1979), come pure ampia diffusione trova la psicoterapia della famiglia (v. Stierlin, 1975).

Il dato attuale, lo si voglia o no, è che la psicanalisi ha assunto una tale dimensione teorica e pratica che ogni metodo di psicoterapia non solo ne deve tener conto ma va classificato in rapporto a essa. Ad esempio, dal tessuto analitico dipende profondamente anche lo sviluppo della psicoterapia infantile (v. Biermann, 1971), molto sensibile all'introduzione del gioco come terapia (ludoterapia), dimensione di grande importanza educativa, non solo per l'infanzia: si pensi all'homo ludens di Huizinga.

Comunque, sempre maggior interesse ha assunto recentemente, anche attraverso questo filone, l'indagine sui problemi metodologici della ricerca psicoterapeutica, come vera e propria esperienza ermeneutica. La problematica scientifica che ha investito la psicanalisi e che oggi ha determinato, specie negli Stati Uniti, incipienti segni di crisi e di arroccamento difensivo, tende a porla sempre più come analisi del comportamento sociofamiliare e quindi come dottrina 'sociologica' del comportamento (le ricerche del gruppo di P. Matussek nella Max Planck Gesellschaft sono eloquenti in proposito).

Da più parti si auspica che la psicoterapia analitica riconosca nel metodo fenomenologico una possibilità seria per chiarire il proprio statuto epistemologico e per eliminare quella contraddizione che non consente alla sua prassi di riconoscersi nell'impianto teorico causalistico ereditato dalle scienze naturali. Certo l'adozione del metodo fenomenologico non consentirà più alla psicanalisi di spiegare naturalisticamente la totalità dell'umano, ma semplicemente di comprendere qualcosa a livello umano.

Una delle critiche più aspre alla psicanalisi è stata mossa da H. J. Eysenck (v., 1961), il quale ha sottolineato più volte la mancanza di prove per l'efficacia della psicoterapia. L'attenzione per Eysenck, specie in Gran Bretagna, si è combinata con il rinnovato interesse per la terapia del comportamento (v. Wolpe, 1973; v. Davidson, 1979; v. Liotti e Guidano, 1979), prospettando un'alternativa abbastanza valida per molti tipi di disturbo psichico e psicosomatico (v. Yates, 1975; v. Chesser, 1976), per le terapie di concentrazione e di meditazione trascendentale, derivate dalle dottrine sufi, yoga e zen, per il training autogeno di Schultz (1932; v. Luthe, 1969; v. Bazzi e Giorda, 1979) e soprattutto per le tecniche del biofeedback, sorte in Nordamerica poco più di dieci anni fa, nell'ambito della ricerca comportamentistica (v. Basmajian, 1979; v. Gatchel e Price, 1979), che facilitano il condizionamento diretto o, meglio, l'apprendimento strumentale dell'autocontrollo delle proprie risposte fisiologiche: ottimo il recente volume a cura di P. Pancheri (v., 1979) della Clinica psichiatrica di Roma (G. Reda), dove il metodo viene oggi particolarmente coltivato.

Indubbiamente le psicoterapie 'di gruppo' e 'nel gruppo' (v. Pohlen, 1972) hanno fornito nuovi ambiti teoretici assunti dal modello della famiglia, ampiamente verificabili con i procedimenti di obiettivazione, per esempio

il questionario di Cattell e quello, oggi molto usato, di Beckmann (1969) della scuola di Giessen. Estendendo la psicanalisi ai processi sociopsicologici, le psicoterapie di gruppo e soprattutto quelle della famiglia (v. Ackermann, 1970; v. Stierlin, 1975) conducono alla riformulazione del modello conflittuale intrapsichico bipersonale. Questa trasposizione dei meccanismi psicodinamici all'analisi del processo di interazione è la condizione per una definizione operativa della teoria psicanalitica e per quella pratica psicoterapeutica nota come terapia transazionale. In tal modo le indagini strutturali dei processi di gruppo possono veramente divenire oggetto di ricerca empirica (si pensi all'opera di K. Lewin, 1935, e a quella di T. Lidz, 1958) e di applicazione terapeutica (si pensi alla psicoterapia della Gestalt, così diffusa oggi negli Stati Uniti). Di non minore importanza è la possibilità di concepire il gruppo come immagine dell'organizzazione della famiglia (P. F. Galli, M. Palazzoli Selvini). L'unità funzionale-dinamica del gruppo ne risulta sufficientemente chiarita e appare assai valida per uno schema integrato di trattamento, sia di neurotici che di psicotici, attualmente anche con richiami notevoli all'approccio esistenziale, ad esempio nelle anoressie mentali (v. Brusset, 1977). La nuova struttura organizzativa del lavoro clinico è allora quella di un sistema terapeutico bifocale, che trova la sua organizzazione centrale nei gruppi di Balint (v., 19642) e nella 'stazione intensiva' della psicoterapia di gruppo, la quale risulta, in tal modo, la vera espressione della psichiatria di comunità.

Lo sviluppo delle psicoterapie a dimensione sociale (v. Banton, 1968) ha assunto proporzioni sempre più vaste, sempre con ampio riferimento alla psicanalisi: basti pensare al campo applicativo nella delinquenza giovanile, nei gruppi devianti, nella terapia non diretta di C. Rogers, nello psicodramma di J. L. Moreno, nelle psicoterapie di gruppo (v. Yalom, 1975) e in certe terapie di comunità a ispirazione antipsichiatrica (v. Maré, 1972).

Qui va ricordata anche la psicoterapia istituzionale, oggetto di accanite discussioni (J. Oury), con prospettive di successo certamente esagerate e a volte mistificanti (ergoterapia, ludoterapia, socioterapia), e con imprecisi confini verso una terapia di comunità, più o meno autogestita, nella stessa istituzione, suscettibile di ingenuità ed eccessi.

La psicoterapia istituzionale ha aperto un nuovo importantissimo campo di attività, quello del terapeuta infermiere, o meglio del ruolo terapeutico dell'infermiere. "Gran parte del trattamento psichiatrico odierno vede il paziente come partecipante attivo, non come oggetto passivo per l'esercizio del modello medico; ciò significa che l'infermiere diviene una figura chiave terapeutica" (v. DHSS, 1968); la questione è tutta in fieri, piena di problemi (per es. concernenti la responsabilità) ma certamente ricca di potenzialità (v. Royal College of Nursing, 1976; v. Bird e altri 1979; v. Pancheri, 1975).

Il problema essenziale che si pone al movimento psicanalitico (e con esso a tutta la psichiatria) è quello dei suoi rapporti con un clima culturale determinato. Non c'è scienza all'interno di una torre d'avorio (il dibattito e attuale problema della neutralità della scienza: cfr. "Civiltà delle macchine", 1976, XXIV, fasc. 1-2);

l'ibridazione di nozioni marxiane e di nozioni analitiche (si pensi a Reich, a Fromm e a Marcuse) è un fatto che non si può lasciare soltanto alla sociologia psicanalitica per le influenze obiettive che provengono alla teoria e alla pratica psichiatrica dal suo contesto socioculturale, anche se i tratti essenziali della psicanalisi vengono così a conoscere un'alterazione e un assottigliamento considerevoli (basterebbe pensare alla confusione tra salute mentale e integrazione sociale): come ha felicemente detto Anzieu, "la psicanalisi è malata del proprio successo".

Ma qualunque sia la teoresi che sottende le prassi psicoterapeutiche, negli ultimi decenni si è sempre più delineata la necessità della dimensione di igiene mentale (v. Frighi, 1972; v. Enâchescu, 1979) e di quella educativa. È qui che il punto di vista di A. Adler (v., 1930) ha acquisito maggior valore, confermando in singolar modo la concezione psicosociale della nevrosi nei nostri tempi. L'immagine di un mondo soltanto esterno fornita dalle scienze naturali o da certe speculazioni intellettuali non offre che apparenti surrogati. Questi problemi si acquiscono di anno in anno mentre specialmente la giovane generazione si discosta sempre più dalla pseudonormalità del nostro superficiale razionalismo conformista. Molti si volgono alle dottrine orientali: si pensi al diffondersi, specie negli Stati Uniti, di pratiche paramistiche, zen, yoga; altri tentano di ripiegare sulla natura, altri ancora di trovare un'illuminazione attraverso riti di gruppo (macumba, candomblé, umbanda dei brasiliani neri) o attraverso la droga. Così la scissione nevrotica della nostra epoca spinge verso sempre nuove crisi e sempre più ci allontana da quel che chiamiamo 'integrazione', cioè l'associazione conscia e moralmente responsabile dei complessi inconsci nella personalità totale. Accade, invero, che non si sappia più se il 'più normale' non sia proprio colui che non vuole adattarsi a un'epoca scardinata, anche se di questo argomento si servono molti individui per mascherare la loro reale inferiorità sociale e il loro 'vissuto nevrotico' (v. Longhi, 1977).

Anche in questo ambito, fra i tanti altri fondamentali, l'insegnamento di Jung ha apportato contributi importanti, anche se ancora poco noti fra il grande pubblico. Basti qui ricordare solo il concetto di introversione-estroversione (i tipi psicologici), quello di simbolo e individuazione e quello di anima e animus (come figurazioni inconscie del sesso opposto), che illumina con singolare efficacia le difficoltà dei rapporti fra donna e uomo; inoltre il concetto del Sè (Selbst), l'essere superiore, eterno in noi, l'aspetto che produce ordine e significato, la totalità interiore, e il concetto di persona, cioè l'illusione di fare tutt'uno col proprio ruolo sociale.

Nella concezione junghiana la possibilità di estendere la psicoterapia al significato di una psicagogia è reale e costituisce uno degli aspetti più controversi della psicologia del profondo, in particolare di quella di E.

Neumann, J. Henderson, G. Adler, M. Fordham, E. Bernhard, M. Trevi, Klopfer, Bennet. Jung getta nell'acqua dell'inconscio il sapere del nostro tempo e di molte culture, assumendo il ruolo dello 'psicopompo', specie tramite l'insegnamento dell'immaginazione attiva (lasciarsi invadere da immagini oniriche, in stato di veglia, e

confrontarsi con esse come con una presenza oggettiva; cfr. *La funzione trascendente*, 1957-1958, pp. 92 ss.), gettando un ponte fra psicoterapia e meditazione orientale, gnostica e della mistica cristiana.

È essenzialmente sua la dimostrazione empirica di un inconscio collettivo e la distinzione dall'inconscio personale, ed è parimenti sua la distinzione tra i freudiani 'resti arcaici' e gli 'archetipi', intesi come disposizioni ereditarie irrepresentabili o tendenze strutturali dell'inconscio.

A parte la diffusione, i riconoscimenti, le opposizioni e le false interpretazioni delle grandi intuizioni junghiane, va ricordato l'interesse antropologico da lui suscitato nei riguardi delle tematiche mitologiche, che rappresentano adeguatamente la potenza spirituale delle immagini archetipiche (v. anche Durand, 1960) e che vanno interpretate psicologicamente. È possibile ritenere che il significato della psicologia dei complessi di Jung risieda nel fatto di non essere più esclusivamente 'psicologia' nel senso scientifico freudiano ma di poter già pretendere il titolo di dottrina spirituale (v. Gebser, 1970), suscettibile di interpretazioni e realizzazioni molto diverse.

Con la consapevolezza che nessuna scienza sostituirà mai il mito, rivelazione della parte più viva dell'uomo (v. Moreno, 1978), Jung si è fatto campione 'tollerante' di un'ultima libertà dell'uomo nei confronti delle costrizioni esterne e interne, destinata a incidere profondamente sugli sviluppi della psichiatria di domani, immune da violenza e intrigo e pronta ad accettare e indagare anche fenomeni oggi studiati solo marginalmente (si pensi, ad es., alla sincronicità).

A distanza di quarant'anni dalla morte di Freud, dopo un lungo periodo di ricerche empiriche, di teorizzazione rigorosa, di pratica clinica che verifica e corregge, con un movimento pendolare continuo fra biologismo e culturalismo, con una continua moltiplicazione delle tecniche di psicoterapia (se ne potrebbero elencare almeno una quarantina), la psicanalisi permea tutta la terapia psichiatrica, in crisi quanto si voglia ma comunque non certo morta (v. Fromm, 1979), anche se, come sottolinea Wolberg (v., 19773), "non si sono ancora precisati criteri validi che possano servire come base per pronosticare i risultati in psicoterapia", e anche se oggi si tende a essere piuttosto esigenti nell'indicare i criteri che consentono un eventuale successo (v. Bloch, 1979).

La psicoterapia come servizio di liberazione è sempre un rischio ma, smascherando le inautenticità, può scuotere i credo e i conformismi più vacillanti e distorti, rendendo possibile una crescita autentica. La sua presenza, arricchita e sostenuta dal rigoroso filone fenomenologico, costituisce la temperie culturale di questi ultimi cinquant'anni di psichiatria.

9. Psichiatria fenomenologico-esistenziale

L'apporto della fenomenologia all'indagine psicopatologica, in atto ormai da oltre cinquant'anni, e quello successivo delle filosofie esistenziali, attraverso numerosi importanti contributi specifici, specie di lingua tedesca, hanno lentamente condotto a una riformulazione globale delle tematiche di fondo della psichiatria e a un modo radicalmente diverso di essere psichiatri, sia di fronte al sintomo, sia di fronte alla persona che lo esprime.

Attraverso Dilthey e, soprattutto, tramite il fondamentale messaggio della *Psicopatologia generale* (1913) e della *Psicologia delle visioni del mondo* (1919) di Jaspers, gli svolgimenti dell'antropofenomenologia (v. Cargnello, 1966; v. Tatossian, 1979), partiti essenzialmente dal pensiero di Husserl e da quello di Heidegger (cui si rinvia), hanno consentito allo psichiatra di cogliere l'individuo nella sua irriducibile singolarità, nella sua insopprimibile ulteriorità, come presenza al mondo, come persona, come spazio-tempo vissuto; ciò ha significato anzitutto un salto di qualità, vale a dire il superamento delle categorie riduttive biologistiche e psicologiche, l'accesso al mondo dell'altro-da-sé (v. Callieri e altri, 1972), alla sua *Lebenswelt*, all'universo dei rapporti interpersonali come co-essenziali alla realtà del singolo (M. Buber, G. Marcel) prescindendo da giudizi clinici, da funzionalità operative, da finalità pratiche.

Ciò è ante-predicativo e non intende invalidare né le categorie diagnostiche né l'atto clinico, purché con essi non si pretenda di cogliere l'altro nella sua realtà esistenziale. La psichiatria dell'esistenza si considera "l'ancella della psichiatria clinica" e intende a buon diritto rappresentare un "sostegno reale della scienza medica psichiatrica" (v. Binswanger, 1961), senza voler con ciò costituire la base gnoseologica totale del conoscere psichiatrico; oltre all'organicità, si pensi alla portata conoscitiva dell'inconscio e del culturale (v. Borgna, 1979).

Qui il rilievo formale del fenomeno diviene veridica espressione del modo di essere di quella realtà e del suo farsi mondano (la *Verweltlichung des Daseins*), cioè come essa 'è al mondo' (*In-der-Welt-sein*) e come 'ha' il suo mondo.

Il fenomenologo, anche in psichiatria, si sforza di mettere fra parentesi la preoccupazione eziopatogenetica e il bisogno dell'ordinamento nosologico, per poter entrare liberamente e senza impedimenti in un immediato rapporto cognitivo-patico con le 'cose'. La ricchezza qualitativa dell'atto fenomenologico, indipendente dalla conoscenza induttiva e causale, è indubbia. E si comprende come gli aspetti più originali della contestazione psichiatrica abbiano preso le loro mosse proprio da qui.

Nei tre volumi delle *Ideen* Husserl ha stabilito una scienza descrittiva ed essenziale della conoscenza pura e le sue formulazioni possono esser validamente applicate a situazioni di fatto, anche se alcuni, per esempio M. Farber, ne dubitano; la *Phänomenologische Psychologie* ha comunque richiamato, anche per merito di Merleau-Ponty e di Gurwitsch, la più viva attenzione degli psichiatri.

Una caratteristica dell'approccio fenomenologico, sviluppata specialmente dal tardo Husserl col termine 'fenomenologia genetica', è lo studio della costituzione dei fenomeni nella nostra coscienza, cioè il processo con cui i fenomeni 'prendono figura' (v. Spiegelberg, 1965) in essa, e si procede quindi dalle prime impressioni a un quadro completo della loro struttura. In questo senso la fenomenologia costitutiva esplora l'aspetto dinamico della nostra esperienza (v. Tellenbach, 1961).

Come accennato, Jaspers, oggi a torto messo in discussione in certi ambienti contestatori, fu - specie nella Psicologia delle visioni del mondo - uno dei grandi precursori di questa psichiatria e la sua Psicopatologia generale - pietra d'angolo della moderna psico(pato)logia - ha educato almeno tre generazioni di psichiatri, contribuendo a preparare il terreno alla numerosa schiera di psicopatologi destinati a recepire e maturare l'enorme influenza di Husserl e di Heidegger (v. van der Berg, 1955). Come magistralmente ha mostrato Binswanger (v., 1963), il metodo fenomenologico favorisce in modo davvero singolare la ricostruzione e la comprensione del 'mondo di significato' del paziente.

L'antropologia analitica, come è stata concepita e configurata da Binswanger nei suoi famosi casi, Ellen West, Jurg Zund, Ilse, Suzanne Urban, ecc. (v. Binswanger, 1973), e proseguita da molti psichiatri e psicoterapeuti, europei e non - ad es. Kuhn, Cargnello, Condrau, Sonnemann (v., 1954), R. May (1958), Blankenburg (v., 1971), Häfner, (1961), ecc. -, illumina il singolo caso come 'storia vissuta' (esserci nell'amore, nell'amicizia, nell'aggressività), distinguendo fra accadimento (Geschehnis) e avvenimento (Erlebnis); essa consente il recupero del dispiegarsi intenzionale della vicenda del singolo e una continuità di senso delle sue vicissitudini, cioè un ordinamento strutturale significativo anche là dove lo psichiatra vecchio stampo vedrebbe solo frammenti di senso o addirittura il caos del senso. "Cosa mi potrà impedire, se sono medico - dice G. Marcel in *Existence humaine et transcendance* - di trattare Nietzsche come un caso clinico? Ma [...] si è sempre liberi di non comprendere nulla di nessuno".

La messa in parentesi (non la negazione) del naturalismo psichiatrico comporta anzitutto un 'voto di povertà' in materia di classificazioni e di giudizi diagnostici, proprio sulla base della dipendenza del giudizio da criteri esistentivi e culturali. In altri termini, si deve evitare di cadere in schemi precostituiti, diagnostico-naturalistici, non idonei a cogliere a fondo il fenomeno; prima di interpretare è necessario saper vedere; prima di ridurre un segno a sintomo è necessario saperlo cogliere nella sua essenza modale, rivelatrice del modo di essere di un'umana presenza. Il caso Ilse, pubblicato da Binswanger nel 1945, ha costituito il modello fondamentale di questa profonda rivoluzione dell'approccio alla 'follia'. La Daseinsanalyse ha impostato in maniera radicalmente nuova il problema della fondazione epistemologica della 'norma' e della 'normalità' in psichiatria, collocandosi fuori da ogni ipotesi ideologica. Le grandi indagini binswangeriane riescono a lacerare il non senso delle esperienze psicotiche, chiarendone la donazione di senso.

È forse proprio qui, con il Binswanger dei 'casi', che si verifica il decisivo giro di boa della psichiatria di questo secolo. Non sarà più possibile prescindere dalla sua teoria, rinnovatrice e rigorosa, anche se non sempre i suoi successivi sviluppi riusciranno a evitare esasperazioni e deformazioni. In Italia la lezione binswangeriana, tramite D. Cargnello, è stata profondamente recepita da molti studiosi, tra cui Bovi, Borgna, Castellani, Calvi.

Anche in psichiatria fenomenologica è difficile tener fede all'assunto della neutralità (ammesso che questa possa esser ottenuta, oltre il mito baconiano). Ma a questo deve mirare l'esercizio della fenomenologia come propedeutica necessaria per ogni scienza umana, costantemente volta a demistificare facili illazioni, a svelare comodi riduzionismi, sovente ideologicamente condizionati dalla 'falsa coscienza' (Gabel).

La diffusione della psichiatria antropofenomenologica, della cosiddetta 'analisi esistenziale', ha assunto vaste proporzioni, sia in superficie che in profondità (v. Ellenberger, 1957), ha consentito l'accesso illuminante a tematiche abitualmente lasciate ai margini dell'indagine psichiatrica (per es. il coraggio, la solitudine, la morte, la speranza) e ha approfondito tematiche (quali la colpa, il corpo, il tempo e lo spazio vissuti, la donazione di senso, la perplessità) che finora erano state colte in senso prevalentemente oggettivante (v. Callieri e altri, 1972; v. Callieri, 1978). Gli psichiatri olandesi (ad es. van den Berg, van den Horst, van Hugenholtz) sono stati particolarmente aperti a questi studi antropofenomenologici (v. AA. VV., 1957). Ma è soprattutto a E. Minkowski, E. Straus, V. E. von Gebattel, J. Zutt, F. J. Buytendijk e, recentemente, D. Wyss (v., 1973) che si deve l'apertura della psichiatria anglosassone, specie nordamericana, alla psichiatria fenomenologico-esistenziale, anche sotto l'impatto diretto delle concezioni di Heidegger, Scheler, Buber, Marcel, Sartre, Tillich, Ricoeur. Sono sorti centri di psicoterapia esistenziale (a Chicago, per es., con il "Journal of existential psychiatry", nato nel 1960 e diretto da J. M. Scher, sotto l'influsso di M. Boss) e centri di fenomenologia psicologica (ad es. quello, estremamente qualificato, di Belmont, di A. T. Tymieniecka), che hanno raccolto negli *Analecta Husserliana* materiale critico e speculativo di autori vari (H. van Breda, E. Fink, L. Landgrebe, P. Ricoeur, S. Strasser, K. Wojtyla, R. Zaner, ecc.), di grande interesse per gli psicopatologi. Il padre, solitario, di questa impostazione di pensiero resta Kierkegaard, il cui Diario costituisce per noi psichiatri dell'esistenza il punto di riferimento insuperato, l'incarnazione di quell'antropofenomenologia che, qualunque possa esserne la considerazione da parte dei filosofi, è riuscita a 'scuotere dalle fondamenta' la psichiatria dei nostri tempi.

Uno degli ambiti più fecondi dell'indirizzo fenomenologico in psichiatria è quello costituito dall'indagine dei diversi mondi di vita (*Lebenswelt*), che tanto impegnò l'ultimo Husserl e, subito dopo, A. Schutz per il problema della social reality. L'analisi fenomenologica dei mondi vissuti (v. Callieri e Castellani, 1971) rivela stili diversi di esistenza e illumina di luce nuova modalità di esperire (anche tradizionalmente

psicopatologiche, per es. fobiche, maniacali, schizofreniche) quanto mai autentiche e ricche di rimandi al quotidiano piano coesistivo (v. Frankl, 1956 e 1972, e la sua logoterapia).

Preme anche sottolineare la matrice fenomenologico-esistenziale della costituzione dell'intersoggettività secondo M. Scheler, della social reality (Schutz), dell'entre-deux (v. Benda, 1961; v. Tellenbach, 1977), della psichiatria sociale (dice Schutz in "Philosophy and phenomenological research", 1942, II, p. 323 che "secondo Scheler, la relazionabilità intenzionale dell'uomo agli altri è più fondamentale della conoscenza della propria individualità"; v. anche Luijpen, 1960 e Owens, 1970) e, a ben vedere, anche della parte più valida e motivata della prima fase (più critica e meno provocatoria) dell'antipsichiatria.

La fenomenologia, specie con il fondamentale apporto di Scheler, ha fornito alla psichiatria degli ultimi decenni una sollecitazione considerevole all'ulteriore elaborazione teorica e all'applicazione pratica dei concetti di partecipazione e di comunità, nell'integrazione tra azione ed emozione, tra discorso sul corpo e discorso sulla comunità, tra l'io e l'altro, tra sociologia della conoscenza e personalismo etico (v. Ranly, 1966; v. Wojtila, 1979).

L'acutezza di certe analisi scheleriane, derivate anche dai modelli troppo spesso dimenticati di A. Pfänder (ad es. sul pudore, l'umiltà, la simpatia, l'ostilità, l'amore), e la sua teoria sui valori hanno fornito a Kurt Schneider, il grande caposcuola di Heidelberg, il filo conduttore per quello studio della psicopatologia dei sentimenti, della patocaratterologia, delle tipologie di personalità, della depressione, che lo ha reso maestro di tutto il mondo psichiatrico europeo negli anni cinquanta, con ampie e imprevedibili risonanze in vasti settori della attuale psichiatria anglosassone (v. Fish, 1962; v. Hamilton, 1976).

Per il modo di proporre la dimensione dell'intersoggettività, per la chiarificata esigenza del ritorno dai simboli alle cose, dall'ordinamento concettuale all'intuitivamente esperito, Scheler occupa, accanto a Husserl e a Heidegger, un posto preminente fra quanti hanno indicato alla recente psicopatologia vie e prospettive di una fecondità prima impensabile.

Costretta fra il riduttivismo biologico e il sociologismo globalizzante, la psicopatologia ha trovato negli indirizzi antropofenomenologici una delle strade (forse quella maestra) da percorrere per mantenere la sua posizione di autonomia conoscitiva, la sua identità di ruolo.

Invero la fenomenologia è sì un metodo per cambiare il nostro rapporto col mondo, ma è anche un atteggiamento di fronte al nostro rapporto col mondo. Unisce la rottura più radicale con l'atteggiamento più immediato e naturale. È più un avvenimento coscienziale che una Weltanschauung. Il suo estremo oggettivismo (ritornare 'alle cose stesse') tende a cogliere il reale più originario in tutto il suo significato, spingendosi con un solo movimento (ecco perchè è esatto dire antropofenomenologia) verso il fondamento del mondo oggettivo e verso le radici della soggettività.

Per questo essa è indispensabile prolegomeno per ogni psichiatra che, nella sua attività, intenda occuparsi dell'uomo-nel-suo-mondo e, soprattutto, come ben mostra nel suo esauriente e rigoroso contributo Tatossian (v., 1979), dell'uomo psicotico nel suo mondo.

10. Psichiatria sociale e di comunità

a) Psichiatria sociale

Da alcuni decenni ha assunto dimensioni sempre maggiori l'indirizzo sociopsichiatrico, oggetto del cui studio è il singolo nel suo rapporto interattivo con gli altri soggetti (micro e macrogrupale). È possibile ritrovare due filoni di base, quello sociologico di E. Durckheim e quello intersoggettivo di O. Tarde (v. Callieri e Frighi, 1963), nel vasto sviluppo che trova nell'antropologia culturale le sue più dirette implicazioni e sollecitazioni psicologiche, ove per cultura si intende l'insieme dialettico dei patrimoni psichici esperienziali individuali costituitisi nel quadro di una società storicamente determinata (conoscenze, credenze, fantasie, ideologie, simboli, schemi di attività, scale di valori).

Il determinismo ambientale (Kroeber), il funzionalismo, il relativismo culturale (Herskovits) hanno profondamente modellato l'atteggiamento di rispetto per le differenze culturali, proprio perché l'individuo realizza la propria personalità attraverso la propria cultura e perché i costumi e i valori sono sempre modellati sulla cultura di appartenenza (v. Tiryakian e altri, 1963). L'antropologia sociale strutturalista (Radcliffe Brown, Evans Pritchard, Nadel), che parte dallo studio della personalità sociale, si differenzia anche nelle conseguenze sociopsichiatriche dal neostrutturalismo di Cl. Lévi-Strauss (la struttura non appartiene all'ordine del fatto ma è una costruzione informatrice dell'oggetto), che apre la via a inattese possibilità di analisi del rapporto natura-cultura oltremodo stimolanti per gli psicologi e gli psichiatri, per esempio nel campo del linguaggio.

I concetti di status, di ruolo, di acculturazione, di socializzazione sono stati profondamente (ma non univocamente) recepiti dagli psichiatri. Si è mostrato che la sociologia è in grado di fornire alla psichiatria un valido aiuto per la comprensione e la classificazione degli stati psichici e dei comportamenti (anche abnormi o devianti) per la reciprocità delle prospettive d'indagine: il collettivo, l'interpersonale e l'individuale, a tutti i livelli degli atteggiamenti e delle realtà sociali, tendono a integrarsi. In questo senso la recente sociopsichiatria, superando il pur fecondo discorso della psicologia sociale nordamericana, tende a considerare falso l'assioma individuo contro società' (v. Bendix e Lipset, 19662), proponendo la coscienza collettiva come immanente alla coscienza individuale.

Altro punto importante è il costante richiamo alla dimensione del culturale, per timore di indebite generalizzazioni naturalistiche (la mente come comune denominatore, generale e astratto, di tutte le forme del

sociale). Le condotte psichiatriche - è questo il grosso asserto della sociopsichiatria - sono condotte in cui il corpo, la psiche individuale e la società sono inestricabilmente mescolati, agendo e reagendo gli uni sugli altri (v. Barahona Fernandes, 1972). Anche qui il marceliano "esse est coesse" risuona in tutta la sua efficacia esistenziale.

Il dialogo costruttivo fra psicologi, psichiatri e sociologi è appena iniziato. Per meglio intendere il fenomeno magico ci si è riferiti alla già esistente psicologia dell'angoscia. È invece ancora da formulare la risposta che si chiedeva a una psicologia dell'attesa: l'attesa come atteggiamento basale del singolo e del gruppo, che sono essi stessi ulteriorità e oltrepassamento ("dies septimus nos ipsi erimus", Agostino), l'attesa la cui perdita scorgiamo e a volte cogliamo nel melancolico, nello schizofrenico, nel demente, nelle disperazioni o ammutolimenti di masse, ma le cui configurazioni positive intravediamo appena. L'attesa, appunto, come si configura nell'ontologia blochiana del noch-nichtsein, l'ontologia u-topica dell'uomo che è qualcosa che deve esser trovato. Sarà questo, forse, uno dei compiti della psichiatria degli anni a venire.

Nell'attuale sociopsichiatria il lavoro d'équipe, con i suoi rapporti di complementarità e con la reciprocità delle prospettive, tende ad affermarsi, ma non ancora abbastanza o soddisfacentemente perché, e non solo da noi, vi sono ancora troppi psichiatri che fanno della cattiva sociologia e troppi sociologi che fanno della cattiva psichiatria. In genere è nei fenomeni di acculturazione che lo psichico è più facilmente accessibile del sociale, per la degradazione dei sistemi sociali in un caos di atteggiamenti individuali, mentre nelle strutture rigide, poco bisognose di agenzie di sicurezza, è il sociale a esser più facilmente accessibile dello psichico (v. Strotzka, 1965).

L'attuale psichiatria sociale sembra aver superato l'errore sociologista di voler assorbire tutto il mentale negli altri piani della realtà sociale (v. Krill, 1978), dimenticando l'autonoma corrente dello psichismo individuale (v. Waxler, 1977) e cadendo così nell'errore della sociogenesi esclusiva della malattia mentale: l'ideologia dell'empirismo sociologico (Adorno). Non va infine dimenticato il grande merito di aver valorizzato lo studio epidemiologico (v. Hollingshead e Redlich, 1958; v. Hare e Wing, 1970) e soprattutto lo studio della comunicazione e metacomunicazione fra singoli e fra gruppi, verbale e non verbale (v. Callieri e Frighi, 1959), tanto importante per le ricerche sulla psicogenesi intrafamiliare dei disturbi psichici (si pensi al 'doppio legame', situazione paradossale ben descritta e indagata dalla scuola californiana di Palo Alto); è fuor di dubbio che la sociopsichiatria ha fornito allo psichiatra clinico e allo psicoterapeuta modelli sperimentali di ricerca e suggerimenti teorici che hanno consentito impensati allargamenti di orizzonte applicativo e interpretativo nonché importanti sollecitazioni nell'ambito psicopedagogico.

b) Psichiatria di comunità

Il significato di questo particolare settore della sociopsichiatria è soprattutto preventivo ma ha anche indubbi connotati terapeutici. Ci si occupa qui della formulazione e applicazione di un definito programma di salute mentale a una data popolazione specificata funzionalmente o geograficamente (v. Sabshin, 1966). Va detto che sono stati il Community Mental Health Centers Program e il coraggioso 'nuovo approccio' formulato nel messaggio di J. F. Kennedy al Congresso nel 1963 a far nascere e realizzare tutta una serie di nuovi modelli di servizio mentale. Pur basandosi sul modello medico (anche se in alcuni momenti e paesi con prevalenti connotazioni critiche e sociopolitiche), la psichiatria di comunità utilizza volentieri criteri di salute pubblica per valutare i bisogni psichiatrici di una data popolazione, per identificare i vari fattori ambientali che contribuiscono alla formazione di disturbi psicosociali e per valutarne gli effetti sul singolo e sul suo gruppo. Questo modo di vedere determina una concezione molto diversa della malattia e del ruolo della psichiatria, il cui intervento non è più centrato tanto sulla salute del singolo (primariamente assunta) quanto sull'equilibrio del gruppo (v. Clark, 1977): l'apporto britannico è stato qui determinante. Si può parlare di una vera e propria psichiatria preventiva (Kaplan), oggi molto ricca e fiorente nei suoi assunti teorici di base e nelle sue applicazioni pratiche, per es. la prevenzione del suicidio e degli sviluppi neurotici a condizionamento ambientale (v. Farmer e Hirsch, 1979); è da ritenere che negli anni a venire il suo ruolo assumerà un peso sempre maggiore (v. Bennett, 1978) anche da noi.

È però difficile prevedere quale sarà lo statuto di questa ancor giovane community psychiatry (v. Jones, 1976; v. Mandelbrote, 1979): si iscriverà nell'evoluzione generale del ruolo del medico, anch'esso seriamente messo in questione dall'attuale evoluzione sociale (A. M. Freedman parla di reincarnazione del moral treatment), oppure si limiterà all'erogazione di migliori servizi clinici, spostandoli dai luoghi istituzionali a quelli comunitari? Occuperà l'area (mal definita) della psichiatria preventiva o darà vita a un programma totale, più o meno ampiamente innovativo, ma che comunque oltrepassi il compito di provvedere soltanto servizi clinici? Ciò dipenderà in larga parte dai livelli di analisi e dalle attese: l'esperienza del Sozialistisches Patienten-Kollektiv di Heidelberg, compiutasi nel segno di un'autogestione radicale della salute psichica e somatica e nel rifiuto di ogni articolazione terapeutica, è emblematica della spirale ideologica in cui si può finire.

Le tecniche della psichiatria di comunità non sono specifiche né originali. Non è ignorata l'importanza dei fattori intrapsichici, tuttavia l'accento è posto sulle dinamiche di gruppo e sui fattori interpersonali, culturali e ambientali, perfino etnici, che generano, intensificano e prolungano i vari quadri di disadattamento comportamentale (v. Hinshelwood e Manning, 1979).

In senso più specificamente curativo, come alternativa ai vecchi modelli assistenziali e custodialistici, è andata proponendosi la 'comunità terapeutica' (il termine fu impiegato per la prima volta da Main nel 1946), gruppo di pazienti, medici, infermieri e assistenti sociali che - in genere nell'ambito di un'istituzione, ospedaliera e non - vivono e lavorano insieme con lo scopo di rendere possibile il reinserimento o un migliore inserimento

nella comunità sociale. L'estensione del gruppo dev'essere tale che tutti i membri possano conoscersi fra loro (30-100 persone); vengono applicate esperienze e tecniche sociopsicologiche: riunioni quotidiane, analisi delle dinamiche di gruppo e dei processi di comunicazione, ricerca dei ruoli. Caratteristico della comunità terapeutica è l'abbandono da parte del malato del suo ruolo passivo di paziente, per assumere nel processo terapeutico un ruolo attivo di partner.

In Francia dal 1960 si è sviluppata, come analogo, la psichiatria di settore (Daumezon): istituzioni poliarticolate e polivalenti di prevenzione e di trattamento, per unità geotopografiche di circa 60.000 abitanti: esempio e modello, il XIII Arrondissement di Parigi. Lo sviluppo nel paese è stato molto disomogeneo ma, in genere, ha dimostrato notevoli potenzialità, specie nei grossi agglomerati urbani (v. Paumelle, 1970; v. Bonnafé e altri, 1978). Dopo qualche esitazione tale indirizzo, implicante un notevole sforzo e coordinamento organizzativo (Balduzzi) nonché la valorizzazione della psicanalisi nell'intervento in settori pubblici, non è stato seguito nel nostro paese; è prevalso l'indirizzo (più lungimirante ma anche più ricco di ostacoli) dell'aggancio del servizio psichiatrico a quello della medicina generale, nel quadro di una riforma sociosanitaria che però stenta a decollare.

11. Psichiatria culturale ed etnopsichiatria

Negli ultimi decenni si è pervenuti a un'integrazione dei vari tipi di indagine della sociologia e dell'antropologia culturale che si realizza in modo abbastanza autonomo in quello che possiamo chiamare 'approccio psicoculturale', inteso come studio della personalità nel suo ambiente culturale; si possono così meglio comprendere lo sviluppo della personalità e la struttura del carattere e si possono cogliere anche più compiutamente gli aspetti, a volte polimorfi, dell'ordinamento sociale. È evidente, data la multiformità delle situazioni culturali, l'importanza attribuibile al relativismo culturale nel modellare le diversità dei tipi di comportamento e nello sviluppare quella che da Linton e da Kardiner vien detta struttura basale della personalità (v. Dufrenne, 1953), cioè il fondo, comune al gruppo, dei modelli di pensare, sentire, agire, di porsi e risolvere problemi personali e sociali.

È ovvia l'importanza dell'approccio psicoculturale per lo studio della funzione della famiglia, dello sviluppo psicologico del bambino, delle sue reazioni affettive alle diverse esigenze dei genitori e dell'ambiente, per lo studio, cioè, dell'influenza dominante del suo tipo di socializzazione, della trasmissione del comportamento nevrotico. Non solo, ma si possono in tal modo meglio comprendere certi tipi di reazione (per es. di gelosia e di aggressività) culturalmente determinati e accettati molto diversamente nei diversi settings culturali di vita (si pensi, per es., all'importanza dell'indagine psicoculturale per le emergenze psichiatriche negli emigranti),

che pongono problemi di intolleranza e di acculturazione molto complessi (D. Riesman; v. Parsons, 1964; v. Cox, 1977).

A parte l'ovvia importanza per la valutazione di comportamenti devianti (al limite criminali), la psichiatria culturale consente di ridurre l'ideologica dicotomia società-individuo (Sapir, Roheim, R. Linton, Opler). C'è la tendenza, attualmente, a ridurre il peso e il significato dei meccanismi psichici e, più in generale, dei processi intrapersonali e ad avvicinarsi al concetto di un organismo che apprende a vivere in un ambiente culturalmente modellato, in piena integrazione.

È però possibile che, muovendosi univocamente e acriticamente in tal senso, si possa incorrere in generalizzazioni erranee in cui la singolarità irripetibile della persona venga a perdere il suo significato primigenio, fondante il rapporto io-mondo, come è pure possibile che si tenda a interpretare troppo in chiave di psichiatria culturale fatti psicopatologici che invece vanno situati in un contesto ermeneutico diverso. Tale discorso è ancor più valido per quel settore della psichiatria, oggi molto florido, che studia in particolare gli apporti dell'etnologia. Mentre l'orientamento psicanalitico di un Roheim trova ancor oggi vigorosi discendenti, il filone descrittivo continua a essere ricchissimo di apporti sostanziosi di osservazioni e di dati; esso si svolge, dall'ultimo Kraepelin, attraverso la precisazione di sindromi peculiari, come l'imu presso gli Ainu giapponesi, l'amok presso i Malesi, l'isteria artica negli Eschimesi, il latah in Indonesia e molte altre forme (v. Opler, 1967), fino ai recenti apporti, vasti e validi, di Burton-Bradley in Papua-Nuova Guinea, e a quelli, numerosi e importanti, per lo studio etnopsichiatrico e transculturale della psicopatologia africana (v. Lambo, 1961; v. Collomb, 1968). La rivista "Psychopathologie africaine" fornisce un validissimo contributo all'etnopsichiatria e alla psichiatria culturale. Anche i contributi sociopolitici possono qui avere molto valore. Lo sviluppo di questo vasto campo è attestato da una bibliografia vastissima. Non possiamo esimerci dal ricordare R. Benedict, M. Mead e, in particolare, G. Roheim, un antropologo che ha innestato nelle sue ricerche la psicanalisi freudiana, e A. Kardiner, con il suo concetto di personalità di base. Importante, per gli ulteriori sviluppi, la proposta di B. Malinowski di distinguere nell'istinto il livello dei bisogni biologici da quello degli impulsi, caratterizzati più specificamente dalle culture. La Mead tiene particolare conto degli apporti specifici della psicanalisi e riconosce alla società un ruolo decisivo nella formazione delle nevrosi (v. Bastide, 1950).

L'antropologia culturale ha trovato in Italia numerosi e importanti cultori, per lo più di matrice marxista; ricordiamo A. Di Nola, C. Gallini, V. Lanternari, C. Tullio Altan, T. Tentori e, soprattutto, E. De Martino, il cui pensiero è stato determinante per tutta una serie di indagini e ha consentito all'antropologia culturale di trovare la sua precisa caratterizzazione e di assumere funzioni e tecniche propriamente scientifiche.

Recentemente anche l'etnopsichiatria si è trovata in parte coinvolta nell'assalto antipsicanalitico F. Laplantine (v., 1975), pur proponendo la fecondità dell'incontro multidisciplinare, denuncia l'inflazione ideologica degli

'psi'; G. Devereux, pur dichiarando, sulla scia di Roheim, che il suo universo fenomenologico è lo stesso di Freud (Saggi di etnopsichiatria), apre una breccia consistente con la sua teoria sociologica della schizofrenia per cui la società moderna, contrariamente a quelle primitive, sarebbe di per sé schizogena; assunto suggestivo, certamente, ma che sembra pressoché ignorare la feconda messe di studi sulle componenti prelogiche e arcaico-primitive del pensiero schizofrenico (v. Arieti, 19743; v. Storch, 1965).

A parte ciò, le indagini transculturali sono suscettibili, attualmente, di illuminare gli studi psicopatologici sulle nevrosi e sulle psicosi in modo molto chiarificante. Non per nulla già Kraepelin aveva indicato ai suoi allievi tale via di ricerca.

12. Antipsichiatria

Si è detto che essa è la cattiva coscienza della psichiatria, necessaria perché la conoscenza non divenga cattiva. In realtà le vicende dell'antipsichiatria sono per usare un'espressione di Hegel - assai più note che conosciute. L'inizio londinese negli anni sessanta, che si delinea con la psicosociogenesi della follia, aprendo il discorso della psichiatria 'radicale', esprime in realtà una crisi e compiutamente la rappresenta quando da un lato si pone contro la violenza della psichiatria intesa come strumento di repressione sociale, e dall'altro crede profondamente nella forza del determinismo costrittivo dell'organizzazione sociale. Le sue radici sono ritrovabili in una cultura politica storicamente determinata (v. Foucault, 1961; v. Dörner, 1975), nell'analisi esistenziale sensu lato (v. Laing, 1959), meno nella psicanalisi, il cui discorso di recupero terapeutico dei soggetti per la società appare quanto mai sospetto. La critica al discorso della psichiatria classica è tutt'altro che eccentrica o meramente ideologizzante (v. Giacanelli, 1975; v. Brutti e Scotti, 1976): ché denuncia chiaramente i termini delle sue contraddizioni, richiamando la potenziale conflittualità del rapporto società-individuo (v. Cooper, 1967).

Il comune denominatore delle diverse contestazioni, di queste "scelte di difendere il folle contro la società" (v. Mannoni, 1970), di questa ricerca di uno spazio nuovo per la follia, è, a mio avviso, profondamente clinico, nel senso proprio del termine è più facile parlare di psicosi quando non si lascia parlare la psicosi. Ma a forza di lasciar parlare soltanto la psicosi, accade (ed è accaduto) che il valido criterio jaspersiano della comprensibilità -. si pensi al ruolo svolto dalla Verstehende Psychologie (v. Kehrer, 1951; v. Gruhle, 19562) sotto la spinta del pensiero di W. Dilthey - venga spinto ben oltre i limiti posti dalla sua Psicopatologia generale (v. Jaspers, 1963 e 19658) e si assiste, forse compiaciuti, al suo ripiegamento e alla sua scomparsa, nella più completa scissione fra avventura interiore e valore generale, anche di logica formale, in una resa all'esistente, in una visione del presente che ricorda l'emersoniano "eterno ora".

Quest'invito a cambiare radicalmente modello, facilitato e sollecitato dalla scissione fra natura ed esistenza, in atto da molto tempo in psichiatria, viene formulato da Laing, Cooper ed Esterson (v., 1964), con la fondazione della famosa Kingsley Hall e di altri centri (households) chiamati 'comuni', dove manca ogni benché minimo tratto istituzionale, ruolo, terapia, regola di vita, onde il singolo possa vivere appieno la sua metanoia (Laing), la sua crisi di trasformazione.

In Italia F. Basaglia (v., 1968), partendo nel 1965 dal piccolo manicomio di Gorizia ma, ancor prima, dalla fenomenologia esistenziale, riesce a coagulare attorno al suo progetto anti-istituzionale energie riformatrici e rivoluzionarie invero notevoli, costituendo con numerosi psichiatri e con il movimento di Psichiatria democratica la premessa che in pochi anni condurrà alla riforma della legislazione psichiatrica (1978); fra entusiasmi accesi e critiche aspre, fra perplessità e ostilità, adesioni critiche o incondizionate, riuscirà a imprimere - piaccia o meno - uno scossone salutare alla sonnecchiante e torpida psichiatria italiana, sul cui necessario rinnovamento, che da tempo si andava profilando (v. Callieri, 1963), non vi erano dubbi.

R. D. Laing (v., 1959) parte dalla fenomenologia esistenziale e, attraverso l'intersoggettività, assume un ruolo determinante nell'elaborazione dei presupposti teorici del movimento (per es. smentita dell'incomprensibilità dello schizofrenico prima, modello psichedelico positivo poi, e infine negazione dello stesso esser schizofrenico; v. Peters, 1977).

Il polimorfo movimento psichiatrico francese, con Duchêne, Bonnafé, Tosquelles, Sivadon (v., 1973), Paumelle (v., 1970), Racamier (v., 1970), già da molti anni aveva preceduto il discorso anglosassone, forse anche superandolo e integrandolo fino al punto in cui le esigenze della pratica (non della prassi) stabiliscono un limite. Ma, a parer mio, è l'opera di A. Esterson, soprattutto *La dialettica della follia*, che assume, fra tutte le recenti, grande importanza per le sue dimensioni autenticamente fenomenologiche e sociopsichiatriche. Qui, invero, l'atto radicale che spezza il continuum storico del dominio e che proviene dall'esserci dell'uomo nel suo mondo si sprigiona sempre da una situazione socioculturale determinata, irriducibile a una universale e destoricata condizione umana. Ecco allora l'insistere di H. Marcuse sul 'diritto naturale alla rivolta', il nonsenso del parlare di reificazione e alienazione fuori del punto di vista della soggettività, ossia della coscienza della propria situazione esistenziale ed ecco, infine, la domanda di fondo, anch'essa marcusiana, che permea di sé tutti i molteplici movimenti antipsichiatrici e li lega a una contraddizione forse irresolubile: è possibile, e come, tenere insieme i due poli della tensione, liberazione e progetto, liberazione dal mito della malattia mentale (v. Szasz, 1961) e progetto terapeutico?

Va dunque (paradossalmente?) ricercato proprio nell'antropofenomenologia, teoreticamente ateorica, nella fenomenologia di derivazione husserliana e nell'analisi esistenziale heideggeriana di Binswanger il nucleo basilico dell'attuale psichiatria radicale, polo estremo di quella tensione oppositiva natura-esistenza di cui la psichiatria attuale ha preso piena coscienza, assumendone anche tutto il (freudiano) 'disagio'

Tuttavia la dimensione terapeutica non rientra propriamente nelle intenzioni dell'antipsichiatria; Laing, che ha percorso il suo cammino fino alle posizioni provocatorie e paradossali della mistica della follia, lo dice chiaramente. E il suo discepolo Berke si scaglia contro una società che rende folli i suoi membri, contro gli ospedali psichiatrici "dove gli individui sono resi folli". Tutto ciò solleverà, come controcultura, notevoli resistenze e, specie fra gli psicanalisti, pochi faranno professione di antipsichiatria (v. Koupernik, 1974).

L'obbligatorietà della cura durante la crisi acuta conduce il soggetto alla cronicità; qui l'antipsichiatria si fa anche progetto politico che denuncia il ruolo repressivo delegato dalla società e dalla famiglia allo psichiatra, ruolo fondato ideologicamente sul sapere medico. L'oggettivazione del malato (parlare di psicosi) conduce a trascurare il suo discorso (non lasciar parlare la psicosi), che non è solo sprofondamento (breakdown), ma anche penetrazione (breakthrough).

Gli antipsichiatri, specie britannici, girano attorno a una concezione dell'immaginario (v. Szilasi, 1969) che si avvicina a quella di Lacan (l'inconscio è ciò che non comunichiamo, né a noi stessi, né ad altri) e passano dai fantasmi individuali a quelli sociali, proponendo e sostenendo ideologie a tal punto iscritte in una società da passare per realtà.

Negli Stati Uniti, a parte l'ingenuità e la paradossalità di certe posizioni della radical psychiatry, va riconosciuta un'indubbia utilità alla sua contestazione, in quanto è riuscita a provocare un esame più approfondito delle posizioni dell'establishment psichiatrico e a correggerne molti sbagli (v. Talbott, 1974 e 1978).

Il modello medico di formazione viene messo sotto accusa perché produce diplomati "politicamente impreparati, personalmente inflazionati, orientati verso il profitto economico"; per gli operatori psichiatrici il training medico sarebbe inutile, soprattutto perché "la psicoterapia non è un atto medico, ma appartiene a un'area puramente umanistica". La visione sociogenetica del disagio psichico è spinta (Kunnes) a opporsi alle forme tradizionali di cura, perché sostegno dello status quo sociale (soluzione autoplastica), e a proporre una soluzione alloplastica; cambiare la qualità di vita dell'ambiente, trasformare la società alla radice. Il motto della terapia radicale è "therapy is change, not adjustment". Ecco allora la proposta terapeutica, non medica, centrata sulla comunità, mirante a demistificare, deprofessionalizzare, curare collettivamente, con un training della durata massima di un anno (Henley e Brown).

La denuncia radicale del potere psichiatrico si estende anche ai servizi comunitari di salute mentale, che distoglierebbero la gente dai propri reali problemi sociali agendo come "politica morbida di integrazione" (Steiner), e non invece ai servizi "continuativi, decentralizzati, non istituzionali, popolari".

La denuncia dell'uso delle diagnosi psichiatriche per etichettare come devianti le persone il cui comportamento è differente dalle norme societarie, l'esaltazione lainghiana della schizofrenia come metanoia, la denuncia ancora dell'elitismo e del maschilismo degli psichiatri, del lavaggio del cervello rappresentato da

alcuni concetti psicanalitici (ad es. l'invidia del pene), l'assoluta libertà sessuale, i programmi di liberazione della donna e degli omosessuali costituiscono i capisaldi della posizione radicale (posizione di minoranza, ma molto combattiva nella psichiatria statunitense dei primi anni settanta) e hanno condotto a liste di diritti dei pazienti (Insane Liberation Front) che non sono restate senza risonanza pratica (v. Talbot, 1974). D'altro canto la corrente radicale è estremamente composita, estendendosi da posizioni quasi riformiste a posizioni nichilistiche, neodadaiste, per cui le è mancata la capacità di organizzare nuove strutture alternative valide, specie per quanto concerne il coinvolgimento della comunità nel controllo delle istituzioni di salute mentale. Il timore è che, della corrente radicale, restino gli anatemi, le discordie, le rotture, ma nella generazione successiva "gli allievi dei nemici diventeranno complici".

Attualmente, invero, l'antipsichiatria appare per molti "votata all'insuccesso o meglio, a meno di un'incoscienza totale, essa sboccherà in una nuova forma di psichiatria" (v. Koupernik, 1974). Il considerare lo psichiatra, suapte natura, un aiuto-poliziotto, un sadico, un ciarlatano, non giova nè al suo difficile e spesso frustrante lavoro nè al paziente: e chiunque di noi potrebbe divenerlo.

Nel suo vero paese d'origine, in Gran Bretagna, l'antipsichiatria è stata un'esperienza limitata, di scarsa influenza sulle istituzioni, forse anche perché per la mentalità inglese non è facile cadere nell'errore idealistico (qual è appunto quello della negazione della malattia mentale); invece in altri paesi, fra cui il nostro, essa costituisce ancora un momento aggregante, facilitando il coinvolgimento di un sempre maggior numero di cittadini che hanno diritto all'informazione (ma non a senso unico), alla partecipazione attiva alla politica sanitaria, al dibattito aperto, non sempre però sfuggendo alla cattivante ideologia della sociogenesi totale.

13. Psichiatria forense

La psichiatria, là dove si occupa dei disturbi del comportamento e dei rapporti interpersonali (che è poi il suo specifico), è senza dubbio la disciplina, fra le tante mediche e psicosociali, che ha più punti di contatto con l'universo giuridico.

Lo stato mentale di chi ha stipulato un contratto, redatto un testamento, celebrato un matrimonio, commesso un crimine, subito un trauma cranico o violenze, implica inevitabilmente il parere del consulente tecnico, cioè dello psichiatra, alla cui formulazione egli (se richiesto) è tenuto per legge. Negli ultimi anni gli ambiti dell'attività psichiatrico-forense sono andati sempre più espandendosi, anche per la tendenza giuridica attuale ad avvalersi più spesso e per molteplici ragioni della consulenza tecnica (per es. nelle questioni relative ai minori e al diritto di famiglia).

L'incapacità di agire, l'incapacità legale, quella naturale, quella giudiziale, l'interdizione, l'inabilitazione, l'infermità o la malattia, l'incapacità di intendere o di volere, la pericolosità sociale, l'affidamento, hanno

sempre costituito e costituiscono tuttora altrettanti capitoli di grande importanza applicativa. Ma i profondi mutamenti sociali intervenuti negli ultimi trent'anni hanno reso inadeguati taluni disposti che, con le loro conseguenze pratiche, possono provocare sindromi di disadattamento o disturbare il riadattamento sociale di disadattati, specie se minori (v. Ferrio, 1959; v. Göppinger e Witter, 1972; v. De Vincentiis e altri, 1973; v. Stone, 1976).

Le competenze psichiatrico-forensi relative alla validità o meno del vincolo matrimoniale, così importante nel diritto canonico, sono andate incontro, specie negli ultimi vent'anni, a una serie di modificazioni dell'atteggiamento valutativo, giustificate sia dalle ricche aperture personologiche espresse nel Concilio Vaticano II, sia dall'introduzione di parametri psicologici e antropologici che in passato erano trascurati o addirittura ignorati. Si tende, anche qui, a colmare il distacco tra la realtà antropologica e le esigenze del diritto, forse rivolte, queste, a sanzionare prevalentemente principi etico-sociali un tempo egemonici nel contesto comunitario.

Una delle più importanti questioni di principio, che coinvolge sul terreno legale, profondamente e dovunque, la psichiatria, costringendola ad assumere inevitabilmente un connotato giuridico sovente oltremodo impegnativo, è quella relativa ai trattamenti obbligatori. Questa prassi non può non coinvolgere appieno il rapporto fra operatore psichiatrico e operatore del diritto, con numerosi riflessi pratici, di rado chiaramente ordinati, spesso quasi anomici.

Lo psichiatra forense è stato ed è ancora chiamato pienamente e inequivocabilmente in causa per tutti quei soggetti che sono stati condannati per crimini ma, su suo parere, sono stati riconosciuti o considerati 'malati' (v. Gunn, 1977). Qui l'istituzione carceraria lombrosianamente trapassava, e trapassa tuttora, in quella del manicomio criminale, secondo un'inesorabile logica di esclusione spesso tanto inumana quanto assurda, logica che non è stata toccata dalla riforma del maggio 1978 (v. Benassi e Turrini, 1979). L'ospedale psichiatrico giudiziario resta, anzi resta peggiorato perché la riforma ha ridotto la possibilità di revoca anticipata delle misure di sicurezza ai cosiddetti 'prosciolti folli' mediante la dichiarata cessazione della pericolosità sociale e il contemporaneo invio del soggetto (se realmente ammalato) in ospedale psichiatrico. D'altro canto il notevole ridimensionamento degli obblighi di custodia psichiatrica e il prevalere della breve degenza nei servizi specifici degli ospedali generali rendono ancor più improbabile il progetto di abolizione degli ospedali psichiatrici giudiziari (con l'assimilazione del prosciolto folle agli altri pazienti psichiatrici), poiché almeno finora le norme del Codice penale in materia di infermità mentale e di pericolosità sociale (con conseguente obbligo di custodia) sono rimaste inalterate. Il che è profondamente incompatibile con lo spirito di umanizzazione proprio della riforma psichiatrica in atto nel nostro paese.

Negli ultimi decenni è notevolmente aumentato il coinvolgimento della psichiatria forense nei complessi problemi valutativi e decisionali sorti nell'ambito delle insufficienze mentali (v. Benedetti, 1968). Invero i

diversi gradi di difetto dello sviluppo psichico e le loro differenti determinazioni causali (per es. genetiche, cerebropatiche, ambientali) condizionano tutta una serie di disturbi del comportamento (spesso con carenza di autocontrollo e di reazioni più o meno adeguate della famiglia e degli educatori) che hanno sovente rilevanza giuridica, per cui lo psichiatra forense viene sempre più spesso chiamato in causa, ferma restando la sua insostituibile, tradizionale opera relativa ai problemi di quegli oligofrenici che popolano il sottobosco del crimine, anche per ragioni socioambientali (oggi ben denunciate dalla letteratura sociopsichiatrica), e che confluiscono nella pratica configurazione anglosassone del defective delinquent (v. McCord e McCord, 1964; v. Moser, 1970).

La complessa problematica psicopatologica e sociale relativa ai numerosi comportamenti sessuali abnormi (dallo psicopatico sessuale e dal sexual offender ai delitti contro il pudore) e alla loro diversa rilevanza a seconda dei contesti socioculturali, come pure quella relativa all'alcolismo e alla droga (con le nozioni di abitudine e di dipendenza; v. droga), costituiscono un esteso capitolo di estrema attualità. Qui i provvedimenti e le misure legali coinvolgono inevitabilmente il tecnico, anche se si tratta di campi in cui l'esclusività della consulenza psichiatrica e psichiatrico-forense è sempre più messa in discussione per il pericolo di riduttivismi, non potendosi prescindere dalle discipline sociopsicologiche e da parametri culturali, economici e politici. Ma il campo principale, il più caratterizzante, dell'attività psichiatrico-forense quale si è venuta evolvendo da molti decenni è quello della perizia, cioè della formulazione di un giudizio tecnico in risposta ai quesiti posti dal magistrato. Qui l'esigenza della più rigorosa neutralità, magistralmente formulata da Schneider, non è facilmente osservabile. Nei paesi anglosassoni, dove vige la diretta partecipazione del consulente psichiatra al processo, si è divenuti sempre più consapevoli del pericolo che il consulente tecnico non sappia restare rigorosamente nei limiti della sua competenza specifica, ma possa essere facilmente indotto, in perfetta buona fede, alla formulazione di giudizi che travalicano il suo compito e che falsano i risultati della sua indagine tecnica. La psichiatrizzazione di problemi morali, sociali e di altre dimensioni situazionali, accanto al coinvolgimento personale di risonanza positiva o negativa di fronte a fatti o atteggiamenti difformi dalla propria Weltanschauung, costituisce il pericolo attualmente più rilevante: la denuncia, anche provocatoria, mossa dalla contestazione psichiatrica è stata qui salutare. Se l'input psichiatrico deve essere utile al giudice, il perito dev'esser capace di dirgli chiaramente non solo quello che sa ma anche, anzi soprattutto, quello che non sa o di cui non può avere certezza. Come lo psichiatra fenomenologo, anche quello forense è oggi sollecitato a fare voto di povertà in materia di certezze.

Comunque l'attività tecnica peritale, che può avvalersi di indagini cliniche e psicologiche secondo precisi parametri di rispetto e di integrità psicofisica della persona, è stata fatta oggetto di pesanti critiche, che investono il concetto stesso di perizia, quindi anche della più qualificata e ineccepibile. Essa infatti presenterebbe il limite insuperabile derivato dalla distorsione 'non terapeutica' del rapporto medico-periziando

(il che finisce col mettere inevitabilmente fuori gioco l'aspetto più significativo dell'indagine psichiatrica), e inoltre sarebbe inficiata da una ineliminabile parzialità, certo non intenzionale, dovuta alla difficoltà di dissociare la propria opinione tecnica dai propri pregiudizi (v. Diamond, 1959). Per cui la perizia psichiatrica è considerata con circospezione sempre crescente, anche se è definitivamente tramontata quasi dovunque l'epoca dei vari tipi di lavaggio del cervello (narcosuggestione, narcoanalisi, ipnosi) che per diversi anni, specie nell'immediato dopoguerra, riuscirono ad ammantarsi di una pseudovalidità scientifica ma da parecchio tempo sono restati solo appannaggio vergognoso di disumani metodi polizieschi.

14. La svolta dell'assistenza psichiatrica. La riforma legislativa in Italia

Le leggi relative alla detenzione coatta nei manicomi, anche dopo i grandi innovamenti assistenziali di Connolly e di Pinel, hanno coinvolto per centocinquanta anni gli psichiatri, in un feed-back destinato a rinforzi reciproci (v. Szasz, 1965).

Le modalità per l'ammissione, miranti a evitare abusi (anche attraverso un vero e proprio procedimento giudiziario), hanno però finito col consentire il ricovero facile. Vero è che ispezioni, commissioni, supervisioni sono state previste (fin dall'ottima legge francese del giugno 1838) per proteggere i diritti del paziente e per assicurare un trattamento umano e le opportune cure nell'istituzione; tuttavia la strada per l'inferno è sempre lastricata di buone intenzioni, per cui il manicomio, cioè l'ospedale psichiatrico, è andato incontro a una sclerotizzazione e a un degrado che ne hanno ben presto fatto il reclusorio per eccellenza, il deposito degli indesiderabili, il luogo di una radicale emarginazione (v. Belknap, 1956; v. Goffman, 1961).

Non vi è dubbio che vi sono state vere e proprie detenzioni manicomiali, che si è abusato della psichiatria come metodo di discriminazione civile e umana, meccanismo di terrore psicologico, di pressione coercitiva (v. Canosa, 1979). Numerosi convegni, specie negli ultimi anni, si sono occupati della correttezza dei metodi terapeutici, nel quadro delle psicofarmacoterapie e delle psicoterapie, cioè dei due cardini dell'attività di cura psichiatrica, ma si è anche discusso e si discute sui limiti specifici della scienza psichiatrica, sulla psichiatrizzazione abusiva di problemi e conflitti sociali.

L'inizio di un reale rinnovamento della psichiatria, col superamento dell'istituzione e l'intervento sul territorio, pur sacrosanto e necessario, è però subordinato allo sviluppo di un processo di maturazione culturale della società tale da consentirle di prendere parte attiva alla conoscenza dei temi della salute mentale e dei modi della sua preservazione e cura (v. Greenblatt e altri, 1971).

La prospettiva antistituzionale, per riuscire a concretizzarsi davvero, deve passare attraverso la seria impostazione dei problemi della psichiatria preventiva, nei suoi vari momenti, in particolare in quello della 'prevenzione primaria'; l'accettazione politico-sociale che esso trova ora in Italia pone agli operatori compiti

oltremodo difficili, esigendo una qualificazione di gran lunga superiore a quella meramente custodialistico-assistenziale.

Dopo anni di vivaci discussioni la Società Italiana di Psichiatria elaborava nel giugno 1972 le Linee programmatiche per l'assistenza psichiatrica, in cui prevedeva il superamento dell'istituzione psichiatrica e l'inserimento delle attività di cura dei malati di mente negli ospedali generali. Si erano già sviluppate esperienze di tal genere a Gorizia, Trieste, Perugia, Arezzo; altre, più decisamente territoriali, avevano preso avvio a Firenze, Padova, Varese, alla ricerca di servizi in grado di risolvere la grande maggioranza dei casi psichiatrici senza ospedalizzazioni di tipo tradizionale.

Com'è noto, in Italia nel maggio 1978 la legge 180 (poi la legge 833, 1979, di riforma sanitaria), in sostituzione di quella del 1904 parzialmente modificata nel 1968, ha decretato la fine degli ospedali psichiatrici, inquadrando l'assistenza al disturbo psichico nell'ambito della sanità generale, ridimensionando nettamente l'obbligo custodialistico del malato di mente, abolendo il criterio del pubblico scandalo (sancendo una pratica già da tempo in atto) e quello della pericolosità (molto più sulla carta che in pratica). Viene rimossa l'ambivalenza di fondo insita nella legge del 1904: cura e/o custodia (v. Callieri, 1973), propendendo per una connotazione chiaramente terapeutica.

È quello che il legislatore, recependo le istanze dei movimenti di rinnovamento psichiatrico, ha voluto come concezione fondamentale e qualificante della riforma. Ma i ritardi sono ancora assai gravi, tanto che si parla della legge 180 come di un 'monumento senza piedistallo'. È vero che si limitano notevolmente le ammissioni coatte (i trattamenti obbligatori) consentendole, in via generale, solo negli ospedali civili. Ma le polemiche sono tuttora in atto, in parte determinate dalla logica della conservazione e degli interessi costituitisi attorno all'istituzione manicomiale, in parte favorite da una diffusa carenza di strutture e di articolazioni assistenziali extraospedaliere, sul territorio; si è parlato di 'rifiuto di delega', di 'deospedalizzazione selvaggia'. La riforma, inoltre, non ha abolito l'art. 59 (abbandono di persone minori o incapaci), nè l'art. 593 (omissione di soccorso) del Codice penale. Per questo gli obblighi di cura e di assistenza disposti dalla legge restano integri e, come notano Benassi e Turrini (v., 1979), suscettibili di provocare reazioni regressive ove divenissero frequenti i procedimenti giudiziari a carico di psichiatri in rapporto ai suddetti articoli.

Lo sviluppo postbellico dei servizi psichiatrici mostra dal 1955 in poi (specie per i paesi anglosassoni) una riduzione del numero dei letti, un marcato aumento dell'avvicendamento dei ricoveri (degenze brevi) e soprattutto dei servizi extraospedaliere; il piano del Ministero della Sanità in Gran Bretagna (1962) prevedeva 1,8 letti psichiatrici per mille abitanti, con un grande potenziamento dei servizi per i pazienti esterni e delle cure diurne. Nelle zone più progredite (v. Howat, 1979) si è riusciti a ridurre la percentuale a 1,6. Tuttavia, come è accaduto in California negli anni sessanta, una dimissione più massiccia dei lungodegenti non è stata

coronata da successo (v. Lamb e Goertzel, 1972), con aumento delle situazioni d'abbandono, specie se non si affrontano le opportune coordinazioni e integrazioni dei servizi sociosanitari.

È inoltre necessario (v. who, 1978) che la legislazione in materia di assistenza psichiatrica e igiene mentale non soltanto tenga conto della politica sanitaria generale del paese in cui opera, ma sia anche compatibile con la legislazione negli altri settori della vita sociale, così che la sua applicazione non si realizzi in vuoti strutturali che finirebbero per danneggiare il paziente e ritardare l'evoluzione voluta dalla lettera della legge promulgata.

15. La formazione dello psichiatra

In quasi tutti i paesi l'insegnamento della psichiatria fa parte dei corsi di medicina, o in unione con la neurologia o, ora più spesso, separato da essa: oggi infatti una parte considerevole della formazione dello psichiatra è costituita da discipline non strettamente mediche (per es. sociologiche, fisiologiche, antropologiche, psicologiche) e, nelle concezioni più progressiste, si tende a minimizzare l'aggancio alle scienze biologiche, con una propensione più netta per le scienze umane, proponendo modelli alternativi a quelli medici, derivandoli (ad es. nella behavior therapy) dalle teorie dell'apprendimento.

Già nel 1950 Kubie aveva sollevato provocatorie obiezioni al training medico per gli psichiatri. Egli proponeva (v. Kubie, 1950) il dottorato in psicologia medica, con l'insegnamento di alcune discipline mediche fondamentali e con maggiore insistenza sulle materie psicologiche, sociologiche e antropologiche; un po' come, mutatis mutandis, si propone oggi per l'odontoiatria. Il problema quindi non è nuovo, anche per quanto riguarda il training di psicoterapisti non medici, pur se attualmente è molto più avvertito; però in molti paesi mancano ancora precise disposizioni legali in proposito, ad esempio per gli psicologi, specie in rapporto alla responsabilità professionale.

Analoghe perplessità e proposizioni alternative si hanno per la preparazione del personale paramedico, preparazione che in non poche regioni italiane è molto carente, forse proprio per un ancora persistente ruolo di subalternità e per la povertà di prospettive terapeutiche di gruppo e di comunità nel vecchio clima custodialistico dell'istituzione (v. Jervis, 19776).

A parte le inevitabili diversificazioni da paese a paese, i programmi di insegnamento della psichiatria (come stabilito dall'Organizzazione Mondiale della Sanità) debbono comprendere, oltre, ovviamente, alla clinica e alla terapia delle malattie mentali, conoscenze non superficiali di anatomia, fisiologia e biochimica del cervello nonché informazioni ampie di psicologia, di sociologia e di antropologia culturale. Si insiste molto sulla formazione, cioè sull'acquisizione di quelle capacità che debbono rendere il futuro psichiatra atto a un incontro utile con il malato (v. Jones, 1978; v. Hill, 1978).

Di qui la necessità dell'internato (gli anglosassoni parlano di residency) per un periodo di due-quattro anni (a seconda dei diversi paesi), con l'esercizio costante della pratica sotto il controllo dei responsabili del servizio. In Italia (contrariamente alla Germania, alla Svizzera, agli Stati Uniti, ecc.) la pratica dell'internato prolungato è stata discutibilmente soppiantata dai corsi universitari di specializzazione, con insegnamenti ed esami anche ben articolati, ma col rischio grave di fornire più informazioni astratte che formazione concreta. Sarebbe auspicabile, secondo chi scrive, l'introduzione di periodiche tecniche di controllo con un supervisore, come accade ad esempio nella pratica formativa psicanalitica.

Molto aperta è ancora la discussione circa la formazione del pedopsichiatra, se cioè debba attuarsi previa una necessaria preparazione autonoma oppure debba muoversi prevalentemente nell'ottica della pediatria.

Negli ultimi trent'anni vi è stato ovunque un notevole aumento del numero degli psichiatri, sia per lo sviluppo della psicoterapia, sia per il miglioramento delle tecniche di cura; esso tuttavia, specie nelle società in via di sviluppo, è ancora scarso, come pure la loro formazione.

Oggi anche in Italia, come già da tempo negli altri paesi occidentali, lo psichiatra pratico tende per lo più a una formazione psicanalitica, contrariamente a quanto accade nei paesi dell'area socialista. Tende invece a perdere di valore, anzi di ruolo, seguendo l'evoluzione dell'ospedale psichiatrico, la figura dello psichiatra istituzionale. La rivoluzione psichiatrica degli ultimi dieci anni ha però comportato, accanto a coraggiose demistificazioni e a un'aumentata coscienza critica del proprio ruolo, anche atteggiamenti estremistici ideologicamente condizionati e una notevole confusione di ruolo, con un generico appiattimento verso il basso della preparazione tecnico-professionale (a volte vista addirittura con sospetto) e con una tendenza paradossale a psichiatrizzare, superficialmente e, a volte, indebitamente, settori di altra pertinenza.

16. Le controversie più attuali

Di pacifico in psichiatria vi è stato sempre ben poco, anche quando il suo orizzonte conoscitivo e pratico si poneva in termini esclusivamente o prevalentemente naturalistici; ma oggi non vi è campo d'azione o di riflessione che non sia soggetto a visioni profondamente discordi, a volte polarmente contrapposte. Il che per lo più si è rivelato fecondo di nuove prospettive, ma anche talvolta sterile, trattandosi di vecchi problemi meramente riproposti in vesti nuove. Anzitutto il futuro della psichiatria come specialità medica non appare del tutto sicuro. Non sono pochi gli operatori che la ritengono obsoleta, come un oggetto da museo cui si può guardare con nostalgia ma che non si può più utilizzare. Si dice no ai pazienti psichiatrici: una parte di essi si fa rientrare nella neurologia e nella medicina generale, un'altra (più numerosa) nei problemi del vivere, della società, dell'educazione.

Altri operatori, più numerosi, ritengono invece assai vivace il futuro della psichiatria e prevedono anzi una progressiva psichiatrizzazione di molti campi dell'agire umano (forse la temibile 'tirannia psichiatrica' contro cui si è dispiegata la bandiera del NAPA, cioè Network Against Psychiatric Assault).

Altri ancora ritengono che lo sviluppo di una vera e propria scienza unificata del comportamento, avvalendosi di modelli matematici, statistici, di computerizzazione, di informatica, consentirà un sempre più esteso monitoraggio biochimico, psicofisiologico e sociale; la psicofarmacologia e le investigazioni psicobiologiche e genetiche potranno condurre a progressi notevoli; la figura dello psichiatra del prossimo futuro sarà essenzialmente biosociale. La psichiatria preventiva sarà soprattutto psicopedagogia e ingegneria di salute mentale, mentre allo psichiatra tradizionale si richiederà un'opera più specificamente medica, neurobiologica, comportamentista.

Certo è possibile che ciò si verifichi, e questo nuovo tipo di specialista (comunque venga denominato) sarà tanto lontano dallo psichiatra di oggi, quanto questi lo è dall'alienista di ieri (e forse ancor più).

Un altro dibattito attualmente molto vivace è quello che oppone alla preparazione prevalentemente medica un modello alternativo, legato alla modificazione del ruolo dello psichiatra (psichiatria sociale-salute mentale della comunità): al concetto di malattia mentale va sostituito quello di 'individui disturbati, con problemi di vita'. Per altri, invece, ogni alternativa al modello medico (pur ampiamente aperto) è destinata a fare dello psichiatra un ibrido inutile, a sottrargli un orientamento stabile di valori professionali, da lungo tempo acquisiti e verificati. Altri ancora sono favorevoli al modello alternativo, ma soltanto a titolo di esperimento.

Si può dire con sicurezza che oggi nessun'altra professionalità medica si trova a confrontarsi con una tale crisi di identità come la psichiatria, cui si contesta persino l'ambivalente e scomoda funzione di ponte sospeso fra le disagiate e frastagliate sponde delle scienze biologiche e di quelle sociali (v. cap. 12).

Noi riteniamo che la professione, nel multiforme articolarsi delle sue attività terapeutiche, preventive, educative, debba soprattutto trovare il modo (non demagogico) di ascoltare la gente, di sentire quel che veramente dice e di rispondere alle sue richieste sì da fornire, con l'aiuto sensibilizzato e accorto delle amministrazioni, efficienti servizi di salute mentale, terapeutici e preventivi (v. Miller e Krell, 1977).

La spinosa questione se il paziente psichiatrico debba essere ospedalizzato involontariamente (trattato obbligatoriamente) è un altro dei grandi nodi di contraddizione dell'attuale psichiatria su cui si confrontano due posizioni diametralmente opposte, l'una favorevole a un'ospedalizzazione prudente, l'altra assolutamente contraria. Nel primo caso si ritiene che, in speciali circostanze e per brevi periodi, la responsabilità sociale debba venir prima della libertà individuale (con la premessa fondamentale che esiste qualcosa propriamente denominabile malattia mentale). L'abuso del ricovero involontario, sempre incombente, non esime dall'ammetterlo, con delimitazioni e garanzie rigorose, come il minor male.

La legge italiana attuale (n. 180, 1978) sembra aver fatto proprio il Position statement dell'American Psychiatric Association (v., 1973), che stabilisce: a) l'ammissione per malattie mentali deve avvenire allo stesso modo che per le altre malattie; b) per alcune persone l'ospedalizzazione, in genere per un breve periodo, è il trattamento indicato; c) una piccola percentuale di persone che necessitano dell'ospedalizzazione sono incapaci, per malattie mentali, di decidere liberamente di ricoverarsi; d) è obbligatorio il coinvolgimento della pubblica responsabilità nel controllo del paziente così ricoverato.

Anche se molti psichiatri sono inclini a sopravvalutare la previsione della pericolosità, in alcuni casi questa è innegabile e sarebbe antiumano ignorarla (v. Halleck, 1974).

Si precisa inoltre che le psicosi (schizofreniche, paranoide, maniaco-depressive), per le quali vale il discorso, non sono simili all'isteria; se si può concordare con T. S. Szasz (v., 1961) che l'isteria è un linguaggio, non si può accettare la sua tesi che l'isteria sia il paradigma per la malattia mentale. "Se la schizofrenia e la psicosi maniaco-depressiva sono analoghe all'isteria, allora la malattia mentale è un mito" (v. Hollender, 1978).

Nell'alternativa che nega assolutamente il trattamento obbligatorio, difesa da Szasz (v., 1965), si sottolinea l'aspetto poliziesco della psichiatria, la sua natura coercitiva, nata da esigenze omologabili a quelle che giustificarono la schiavitù. La malattia mentale è una metafora; ognuno, come dice Stuart Mill, è il guardiano della propria salute, fisica, psichica e spirituale, i procedimenti coattivi sono analoghi alla schiavitù, sono spregevoli abusi della relazione medico-paziente, sono un tipo di imprigionamento senza processo, la cui legittimità morale è del tutto da escludere (v. Szasz, 1965; v. Basaglia, 1967; v. Jervis, 1977).

Questa alternativa di negazione assoluta, che ha trovato in Italia vigorosi sostenitori, ai più sembra irrealistica; tuttavia è da ritenere che i problemi autentici inerenti al conflitto tra la libertà individuale, da un lato, e la protezione della società e dell'individuo malato, dall'altro, non troveranno, almeno nel prossimo futuro, una risposta completamente soddisfacente: di volta in volta tale risposta dipenderà dai bisogni più attuali, dai pericoli più percepiti e dai valori più apprezzati da una data società, in un dato momento della sua storia (v. Clare, 1979).

Altro punto critico è quello relativo al ruolo dello psichiatra nel sistema giudiziario criminale. Il significato della criminal insanity è stato sottoposto ad accurate indagini (v. Fingarette, 1972; v. Stone, 1976; v. Schafer, 1969), da cui emergono sia la sua fragilità che il suo condizionamento ideologico, ma anche la sua realtà clinica (v. Gunn, 1977). L'analisi critica della posizione del perito psichiatra, dei suoi limiti, della sua incombente non neutralità giustifica la sua riconsiderazione da più parti (v. Diamond, 1959; v. Szasz, 1965) e l'accusa di abuso del ricorso alla perizia psichiatrica nei processi penali. È accaduto inoltre, dovunque, che nel loro lavoro con i criminali gli psichiatri abbiano investito la maggior parte delle loro energie nelle funzioni di consulenza tecnica (dispositional functions) anziché in quelle educative e terapeutiche. Negli ultimi anni, tuttavia, ciò sta in parte cambiando, per un maggior interesse per l'educazione psicodinamica da parte del

personale sociale che deve lavorare con il criminale nel sistema penale e per una maggiore sollecitazione alla terapia in appositi centri sociali (come condizione per evitare la reclusione) nonché alla terapia dei soggetti sottoposti a probation o a parole.

Ci si è domandati se il trattamento in queste condizioni obbligate sia una vera terapia (v. Rapoport, 1978) ma, in Italia perlomeno, la domanda appare pressoché oziosa, non essendo quasi possibile parlare di trattamento in genere. Il manicomio criminale (il forensic hospital) non solo non ha mai sviluppato un adeguato programma terapeutico per il criminally insane offender, ma è fornito di un'assistenza povera di numero, inadeguata di mezzi, scarsa di capacità, condannata a muoversi fra persone non motivate alla collaborazione terapeutica per la prospettiva delle lunghe scadenze detentive. Si è veramente nella fossa dei serpenti e tutto fa pensare che vi si rimarrà ancora a lungo: i fermi propositi circa l'abolizione di questa istituzione sono così ben motivati che rendono inutile, anzi per alcuni addirittura riprovevole, ogni tentativo di miglioramento. Il dramma umano coinvolto in questa controversia psichiatrica è tutto qui e, per quanto se ne possa oggi sapere, non è privilegio soltanto del nostro paese.

Altri punti di accese controversie (v. Brady e Brodie, 1978), cui non si può non accennare, sia pure a mo' di elenco, per la portata teorica e pratica del contendere, sono: 1) l'etica e l'efficacia della psicotomia, i cui passati innegabili eccessi (in verità molto modesti in Italia) sono ora molto ridimensionati; rigoroso è il controllo, nel Nordamerica, da parte della National Commission for the Protection of Human Subjects of Biomedical and Behavioral Research (v., 1977) e così pure in Europa (v. Clare, 1979); 2) l'indicazione e l'utilità dell'elettroshock, che appare fuori discussione nelle psicosi maniaco-depressive acute e in alcune forme schizofreniche; tuttavia malgrado le equilibrate recenti puntualizzazioni (v. Royal College of Psychiatrists, 1977; v. Catalano Nobili e Cerquetelli, 1972; v. Fink, 1979; v. Clare, 1979) la polemica è ancora molto accesa, soprattutto da parte delle ideologie del dissenso e oltranziste; 3) la collocazione della terapia del comportamento come fonte importante di nuovi principi di apprendimento e di impostazione di vecchi problemi (ad es. il trattamento delle fobie) oppure come semplice rinforzo dei centri empirici di psichiatria (v. Meyer e Chessler, 1970; v. Yates, 1975); 4) la psichiatria della comunità e la comunità terapeutica intese come nuovo orizzonte ricco di implicazioni teoretiche e pratiche per il futuro della psichiatria o, al contrario, come illusione già in declino, fatta di slogan e di superficiale ottimismo (v. Jones, 1976; v. Paumelle, 1970; v. Clark, 1977; v. Bennett, 1978; v. Jones, 1978; v. Hill, 1978).

17. I 'matrimoni esogarnici' della psichiatria

Da quanto finora è stato detto appare evidente la molteplicità dei rapporti fra la dimensione psichiatrica e i vari ambiti del pensiero e dell'attività umana, con uno scambio di modelli di riferimento utili e produttivi,

anche se a volte metodologicamente ingiustificati. Su alcuni piani - la filosofia, l'arte, la letteratura, la politica, la religione - l'interrelazione è tale da investire e coinvolgere lo stesso significato basilico dell'atto psichiatrico. Allargando il proprio ambito conoscitivo e di prassi oltre il campo strettamente clinico, la psichiatria ha ampiamente fornito e mutuato suggerimenti. La semplice e pur incompleta enumerazione può essere indicativa della consistenza di una tale 'rete mirabile'.

Alla fenomenologia di derivazione husserliana e al pensiero esistenzialista e antropologico si è già accennato come ai filoni più ricchi (v. Barrett, 1958; v. Prini, 1971). Ma lo strutturalismo, il fisicalismo, il materialismo dialettico, il neopositivismo logico, lo spiritualismo, l'ontologia della persona, la dottrina generale dei valori, la linguistica, la teoria delle comunicazioni, la cibernetica, la semiotica, la matematica hanno fornito al pensiero psichiatrico importanti suggestioni teoretiche e hanno saputo cogliere le sollecitazioni provenienti dalla condicio psichiatrica dell'uomo. A volte le analogie e le trasposizioni sono ingenue o indebite, ma per lo più 'tengono': Bateson, Ceccato, Hörmaun, Kainz, Matte Bianco, Morris, Piro possono indicare alcuni degli indirizzi d'indagine più fecondi.

Il discorso psichiatria-arte, che si è sempre imposto alle scienze umane, ha trovato nel Novecento la sua espressione più ricca. Impossibile far nomi, qui; ma non vi è dubbio che l'espressione plastica sia, fra le altre, la via regia delle manifestazioni della realtà psicologica della persona, anche nelle sue declinazioni più abnormi, dalla melancolia all'angoscia, dal dereismo all'allucinazione, dall'ossessione al delirio. Non si può non rinviare alle indicazioni provenienti da Calvesi, Gombrich, Hoenigswald, Malraux, Read, Sebeok, da un lato, e a quelle di Bobon, Barison, Jakab, Macagnani, Volmat, dall'altro, che si situano proprio al centro di questa ricca osmosi. Invero, è questo l'ambito in cui più fitta è la possibilità di crescita dialogica e di disvelamenti vicendevoli di suggestione e di via, ora sentiero interrotto ora cardo maximus.

I rapporti fra cinema e psichiatria sono molteplici, specie nella prospettiva psicanalitica. Non solo è possibile utilizzare il linguaggio psicologico per cogliere in un'opera cinematografica significati altrimenti incomprensibili, ma è anche molto suggestivo lo studio delle analogie tra il linguaggio onirico, polisemantico, e il linguaggio cinematografico; questo in alcuni registi (per es. Fellini) è tale da permettere allo spettatore di incontrare forme e contenuti di significato universale, che resterebbero altrimenti inaccessibili.

La letteratura, in ogni sua forma, non ha perduto il passo - oggi - nei confronti dell'Ottocento. Il suo messaggio antropologico, sia clinico che patosociale, si snoda sempre più ricco nei decenni a noi prossimi e, attraverso innumerevoli apporti (ad es. Sartre, Joyce, Svevo, Musil, Hess, Kafka, Camus, Bernanos, Kerouac, Roth, Pavese, Berto, Pasolini), offre allo psichiatra lezioni uniche di esistenza incarnata, di comprensione e illuminazione dello psicopatologico, di modulazioni dell'abnorme, ma anche di psicopatologia del quotidiano, di totem e tabù, di simboli di trasformazione, di semantica enigmatica, di perversione e di nevrosi, di alcolismo e di paradisi artificiali (v. Michaux, 1956). C'è una lunga storia di tentativi di tradurre in

linguaggio psicanalitico l'opera d'arte; la complessità del polisenso dell'inconscio viene sovente riconosciuta come crisi della ragione; il recupero del linguaggio nell'arte, come conflitto e compromesso di tendenze, è spia, indizio (v. Shapiro, 1973), per cui mai come in questi anni - analogamente a quanto accadde nell'epoca di Weimar - è possibile conoscere l'inconscio dai suoi effetti, dai suoi esiti linguistici.

Se, da Munch a Henry Moore, da Kandinskij a Paul Klee, da Rouault a Carrà, alla sintassi musicale di Pierre Boulez e all'etnomusicologia di Kurt Sachs, inesauste sollecitazioni dialogiche si offrono alla psichiatria, la "reciprocità delle coscienze" (Nédoncelle) rischia però di farsi unidirezionalità di suggestione nell'impatto col sociopolitico. A parte l'inevitabilità di certe incidenze e problematiche, più acute dopo il 1968 ma già presenti negli anni venti (si pensi al 'pensiero autistico-indisciplinato' di Bleuler), "il personale è politico" esercita oggi un'azione che tende a debordare il suo pur ragionevole e motivato porsi, ipnotizzando con la fascinosa tentazione di arrestare il movimento dialettico della psichiatria al solo momento dell'antitesi. È innegabile che attualmente nelle scienze sociopolitiche imperversi la babele delle lingue e ci sia carenza di consapevolezza metodologica, con un prevalere di filosofismo e di ideologismo. "Tutti sanno la città ideale che vorrebbero ma pochi sanno cosa fare e, ancor meno, 'come' fare" (G. Sartori). Ciò è profondamente vero per la dimensione politica della psichiatria, che quindi rischia, pena il dissenso, di farsi ideologia: appar chiaro che il singolo, nella sua irriducibile singolarità, dovrebbe restare il prolegomeno di ogni discorso psicopolitico, se non si vuol correre il pericolo di entrare nel 1984 di Orwell.

Questa singolarità irripetibile della persona, che è il suo mysterium e il suo rischio continuo, in quanto ago della bussola dell'agire psichiatrico, apre inevitabilmente al religioso, cioè alla trascendenza, all'ulteriorità, all'anticipazione, all'homo viator. Qui è innegabile il salto di qualità della psichiatria degli ultimi decenni rispetto a quella ottocentesca (v. Schneider, 1928; v. Heimann, 1956; v. Roth, 1962). E se allora l'incredibile messaggio di Kierkegaard (collegato per oscure vie metacronologiche a Pascal, a Bonaventura e Agostino, a Maimonide, ai sufi e a Plotino) cadde nel vuoto di una radicale sclerosi e marginalizzazione dell'esperienza religiosa, oggi qualcosa è mutato, e di sostanziale. Marcel e Mounier, Buber e Tillich, Barth e Bonhoeffer non sono passati invano: hanno scosso dalle fondamenta il discorso dell'altro, hanno sollecitato il passo du refus à l'invocation. Il rinnovato interesse per questa dimensione supera i sia pur validissimi approcci di R. Otto, di Odier, di Kristensen, di Leeuw, di M. Eliade, di De Martino, e consente un dialogo fecondo con la decodificazione più corretta di Freud e di Jung (v. Torello, 1961; v. Zilboorg, 1962; v. Mansell Pattison, 1969; v. Ulanov, 1975), con i richiami illuminanti dei grandi maestri di spiritualità, con l'esigenza di una vigile e critica psichiatria pastorale, tesa al recupero e alla lettura dell'ontologico nell'ontico, sensibile all'ancoraggio biosociale, a volte pesantissimo, sempre modulata su tematiche antropologiche anche là dove gli schemi scolastici appaiono di maggiore spessore e sordità o dove il richiamo psicopatologico si fa più teso e inquietante (v. Hofman, 1960; v. Spoerri, 1968).

Lo scandalo di questi 'matrimoni esogamici' della psichiatria (ne abbiamo indicati solo alcuni) è destinato a risuonare sgradevolmente alle orecchie dei puri, degli ortodossi, dei farisei di heiniana memoria, dei professionalisti a oltranza, dei timorosi di illegali e scorrette commistioni di ordinamenti, ex una parte et altera. Ma quanto più controverso, infido, ambiguo è il tema del dialogo, quanto più lo si sollecita con timore o furore, anche solo per deprecarne le pretese, tanto più la psichiatria si allontana dalla prospettiva di una sua condanna all'azoospermia.

Se, come diceva W. Hazlitt nel 1830, "quando una cosa cessa di essere oggetto di controversia cessa anche di essere soggetto di interesse", allora possiamo affermare che nell'attuale cultura, medica e non, la provocazione psichiatrica è al centro di un profondo e autentico interesse umano.

Psicoanalisi oggi

XXI Secolo (2010)

di Simona Argentieri

La psicoanalisi ha più di un secolo, è diffusa in tutto il mondo anche se tra tante vecchie e nuove polemiche, e, nell'occuparcene, possiamo contare su una letteratura sterminata e facilmente accessibile di testi, dizionari, lessici, storiche voci enciclopediche redatte da autori prestigiosi. È preferibile, dunque, non ricalcare i classici percorsi biografici e concettuali ma, piuttosto, utilizzare lo spazio di queste pagine per mettere in luce lo statuto della psicoanalisi nella cultura attuale come disciplina, come metodo e come prassi terapeutica, per reconsiderarne gli assunti teorici e clinici basilari e valutare quali evoluzioni, involuzioni, tendenze siano oggi operanti all'interno del movimento psicoanalitico stesso.

La prima difficoltà espositiva sorge dal fatto che, nel linguaggio corrente, ogni approccio clinico basato sull'ascolto, ogni offerta di aiuto tramite la parola, viene definito sbrigativamente psicoanalisi. Alla oggettiva complessità dei problemi storici, culturali e, nell'accezione più ampia del termine, politici si aggiunge la confusione non solo tra i cosiddetti profani, tra il grande pubblico dei potenziali pazienti, ma anche tra le persone di cultura e tra gli operatori stessi della salute mentale. Molti faticano a capire quali siano le differenze tra psicoanalista, psicoterapeuta, psicologo, psichiatra, a distinguere tra scuole, percorsi formativi, appartenenze istituzionali, tra indirizzi e modelli di cura psichica, a orientarsi su chi la possa somministrare, a cosa e a chi possa servire, su quali ne siano le indicazioni e i limiti.

A rigore, psicoanalisti dovrebbero essere coloro che discendono dalla linea freudiana e hanno compiuto un training formativo all'interno dell'IPA (International Psychoanalytical Association), che raccoglie ancora oggi tutte le singole società componenti, fondata da Sigmund Freud stesso nel 1910 a Norimberga con lo scopo di «coltivare e promuovere la scienza psicoanalitica nel mondo». I membri dell'IPA sono poche migliaia, oggettivamente una minoranza in confronto alle sempre più folte schiere di coloro che esercitano oggi le più svariate forme di psicoterapia. Ciascuna scuola è connotata da un nome che ne indica l'identità specifica (psicologia analitica, psicoterapia sistemica, cognitiva, comportamentista o transazionale); ma nell'uso prevale ormai l'indifferenziazione. Ovviamente, sul piano della cultura, Freud è di tutti e molti ne utilizzano più o meno esplicitamente le teorie anche se non si riconoscono nella linea dell'IPA; ma proprio per questo è ancor più importante che le differenze siano chiare.

Il confronto tra le varie scuole e le inesauribili polemiche circa la solidità teorica e l'affidabilità clinica dei vari indirizzi è un altro problema che nella presente occasione non affronteremo neppure; ma è comunque evidente che l'ambiguità e la confusione vanno a discapito delle società più serie e rigorose.

In ordine a un'esigenza preliminare di chiarezza, è necessario dunque precisare che in queste pagine si parlerà di psicoanalisi e di psicoanalisti in un senso specifico e restrittivo.

I numeri

In tutto il mondo, alla fine del 2007, i membri componenti dell'IPA erano 11.836 (distribuiti nel seguente modo: 3605 in America Settentrionale, 3033 in America Meridionale, 5198 in Europa e nel resto del mondo) più gli allievi. Per ragioni storiche e culturali non sempre facili da spiegare, la distribuzione per aree geografiche è assai disomogenea (v. tabella) e si notano vistose disparità locali nel rapporto tra numero degli psicoanalisti e numero degli abitanti. Per es., soltanto 133 psicoanalisti operano in Austria, patria della psicoanalisi; un numero davvero esiguo se confrontato con quello della Germania, che può contare 1130 membri. Così, ci sono 155 psicoanalisti in Israele, ma soltanto 23 in tutta la Russia. Sappiamo che l'ampia diffusione in America Settentrionale e Gran Bretagna deriva dalle forzate migrazioni dei pionieri della psicoanalisi, in gran parte ebrei, all'epoca delle persecuzioni naziste. Lo stesso Freud (1856-1939) fu costretto a riparare con la famiglia a Londra, dove trovò calda accoglienza e fertile terreno culturale, nel 1938, pochi mesi dopo l'annessione dell'Austria alla Germania hitleriana. Il grande sviluppo in America Latina, particolarmente in Argentina e in Brasile, ha la stessa radice e venne ulteriormente propiziato dal successivo flusso migratorio degli anni Quaranta e Cinquanta.

Nuclei di aggregazione più recenti si registrano in territori ‘vergini’ come la Nuova Zelanda o la Repubblica di Corea; nei Balcani o nell’area che una volta si chiamava ‘oltre cortina’. Fa eccezione l’Ungheria, unico Paese che sia riuscito a salvaguardare la sua storica e prestigiosa identità psicoanalitica anche negli anni del regime sovietico. In altri Paesi, nutriti da tradizioni culturali ed esistenziali molto diverse, sono ancora attivi piccoli gruppi fondati ormai molti anni addietro da personalità carismatiche come Emilio Servadio (1904-1995, unico psicoanalista ebreo che cercò rifugio dalle persecuzioni naziste verso Oriente) in India, o come Takeo-Doi (1920-2009) in Giappone. Quanto all’Italia, si contano, sempre nel 2007, 841 soci, ai quali vanno aggiunti gli allievi.

La Società italiana di psicoanalisi, fondata nel 1932 da Edoardo Weiss (1889-1948) – analizzato da Paul Federn, a sua volta discepolo diretto di Freud –, fin dal 1935 entrò a far parte dell’IPA. Disciolta in epoca fascista, si ricompose nel dopoguerra e ha sempre conservato un carattere privato; i suoi padri fondatori sono Servadio, Cesare Musatti (1897-1989) e Nicola Perrotti (1897-1970). Attualmente convivono due società: la Società psicoanalitica italiana (SPI) e l’Associazione italiana di psicoanalisi (AIPsi), nata nel 1992 per scissione dalla SPI, con Servadio tra i soci fondatori.

Il training

L’iter formativo di uno psicoanalista, il cosiddetto training, è divenuto nel corso degli anni più lungo e severo, se confrontato con i tempi e i modi delle origini, quando le analisi si facevano in famiglia, tra persone unite da legami di amicizia e addirittura di parentela (Freud analizzò la figlia Anna, Carl Gustav Jung la moglie), per pochi mesi e in condizioni di precarietà.

Oggi, secondo le norme delle società componenti l’IPA, salvo qualche variante locale, dopo la laurea in medicina oppure in psicologia, l’aspirante psicoanalista deve sostenere tre colloqui a carattere informativo-selettivo con altrettanti analisti didatti. Se l’esito dei colloqui si rivela positivo, il candidato potrà iniziare la sua psicoanalisi personale; in altre parole, potrà intraprendere egli stesso un percorso analitico come un qualsiasi altro paziente, imparando così dalla sua viva esperienza cosa significhi entrare in contatto con il proprio mondo inconscio e con le proprie parti sofferenti. Soltanto dopo un determinato periodo di analisi (non meno di due anni), sosterrà un nuovo colloquio, in seguito al quale verrà o meno ammesso a frequentare l’Istituto e a seguire i corsi di insegnamento teorici e clinici. Parallelamente, l’aspirante psicoanalista dovrà svolgere attività clinica sotto la supervisione e la consulenza di analisti didatti diversi dal suo analista

personale. Questa seconda fase dura circa 4 o 5 anni, durante i quali egli continuerà l'analisi personale. Alla fine il candidato dovrà sostenere una discussione con il comitato del training, corredata da un resoconto scritto dell'attività svolta durante il periodo di formazione. Una volta superata quest'ultima fase, verrà accettato come membro della società componente e, in ordine al regolamento internazionale, anche dell'IPA.

Analisi selvaggia e analisi laica

Fin dalle origini, l'atteggiamento della psicoanalisi rispetto alla selezione dei candidati è stato al tempo stesso severo e liberale. Freud definì 'selvaggi' coloro che pretendevano di curare analiticamente e fornivano interpretazioni ai pazienti senza essersi sottoposti preliminarmente all'analisi e al training. Per contro, nel famoso saggio uscito nel 1926 (*Die Frage der Laienanalyse*; trad. it. *Il problema dell'analisi condotta da non medici*, in *Opere*, 10° vol., 1978) prese decisamente posizione a favore degli psicoanalisti 'laici' (cioè non medici) nel violento dibattito giuridico che si era acceso negli Stati Uniti.

Le società psicoanalitiche danno infatti tuttora un peso relativo alla preparazione universitaria precedente, poiché considerano che la vera formazione sia quella dello specifico training istituzionale.

I primi discepoli freudiani erano medici psichiatri; ma anche scienziati, musicisti, artisti, autodidatti. Negli storici Istituti di Vienna e di Berlino si privilegiavano candidati di ampia e vasta cultura letteraria e umanistica. Anche in Italia, alcuni nostri pionieri erano laureati in matematica (Musatti) o in giurisprudenza (Servadio, Pietro Veltri, 1904-1989).

Nella modernità è la legge a imporre le norme, al di sopra dei regolamenti delle singole associazioni. In tutto il mondo ormai è consentito l'accesso alle scuole di psicoterapia solo ai laureati in medicina o in psicologia; e la tendenza spontanea dei candidati sembra andare decisamente in favore della psicologia.

In conclusione, si può dire che quello contro i 'selvaggi' è un contenzioso ormai perenne, mentre quello a favore dell'analisi 'laica' è stato vinto, seppure con qualche tardivo rammarico, poiché si va così sempre più impoverendo la collaborazione tra psicoanalisi e psichiatria, al servizio dei pazienti sofferenti delle patologie più gravi.

Il percorso legislativo in Italia

In Italia, fino agli anni Settanta, qualunque medico era autorizzato a praticare la psicoterapia senza alcuna preparazione specifica. Dopo la laurea in medicina, poteva però conseguire la specializzazione in malattie nervose e mentali, che comprendeva malattie organiche neurologiche e affezioni psichiatriche, trattate con farmaci, ricoveri, trattamenti fisici (dall'elettroshock alla psicotomia). Per avere un'idea dell'atteggiamento culturale dell'epoca, si può segnalare che l'esame di neuropsichiatria del corso di laurea in medicina di quegli anni era basato su un volume di quasi 1000 pagine per la neurologia e di uno scarso libricino per la psichiatria.

Non senza conflitti e polemiche, nel 1976 fu sancita la separazione tra neurologi e psichiatri (l. 29 apr. 1976 n. 238). I primi psicoanalisti operavano dunque in un contesto riduttivo e organicista e – qualora fossero psichiatri che lavoravano nelle strutture pubbliche – dovevano cercare di introdurre quasi clandestinamente i principi psicodinamici della psicoanalisi. Non è questa l'occasione per rivisitare la dolente e tuttora irrisolta questione della riforma psichiatrica. Va però segnalato che ci sono grandi differenze da Paese a Paese e che in altre culture, per es. nei Paesi anglosassoni, il rapporto tra psichiatria e psicoanalisi è stato ed è assai più fertile e integrato.

A partire dal 1971 venne istituito il corso di laurea in psicologia (dapprima a Padova e Roma), nel 1991 si decretò la nascita della facoltà di Psicologia e parallelamente prese avvio il tormentato iter legislativo teso a stabilire chi possa – e soprattutto chi non possa – esercitare la complessa e indefinita arte della psicoterapia, con la difficilissima necessità di conciliare il criterio delle garanzie verso gli utenti con le esigenze identitarie e le specificità culturali delle singole scuole.

La l. 18 febr. 1989 n. 56 disciplina l'ordinamento della professione di psicologo e fissa i requisiti per l'esercizio dell'attività psicoterapeutica. L'art. 3 della legge subordina l'esercizio dell'attività psicoterapeutica all'acquisizione, successivamente alla laurea in psicologia o medicina e chirurgia, di una specifica formazione professionale mediante un tirocinio clinico, l'esame di Stato e l'abilitazione, seguiti da un corso di specializzazione, almeno quadriennale, attivato presso scuole di specializzazione universitarie o presso istituti riconosciuti. Evidentemente la questione più difficile e controversa è stata (ed è ancora) quella di selezionare le scuole: nel 2007 ne risultavano accettate ben 311. Di fronte alla legge, tutte queste scuole diventano equivalenti e il criterio della qualità è difficile da stabilire con parametri oggettivi.

Le società psicoanalitiche di tutto il mondo non hanno avuto difficoltà a essere riconosciute dalle pubbliche istituzioni, in ragione del prestigio storico e del loro già rigorosissimo training, ma il doversi adeguare a

controlli e a normative burocratiche esterne ha avuto conseguenze tutt'altro che trascurabili. In Germania, per es., dove esistono sovvenzioni sociali per la psicoterapia, sono gli enti pubblici, guidati da criteri amministrativi, a stabilire il ritmo e la durata dei trattamenti.

Teoria e clinica

Nel corso della storia della psicoanalisi si registrano significative evoluzioni; ma in questa particolare disciplina i progressi avvengono, più che per contrapposizione o superamento, per apposizione. Nella maggior parte dei casi i nuovi contributi non fanno decadere i paradigmi originari, con i quali coesistono, si articolano e dialogano. Così, per es., le moderne concettualizzazioni del narcisismo di autori come Herbert Rosenfeld o André Green – radicate in modelli teorici molto personali e diversificati – possono convivere nella scena psicoanalitica internazionale e non entrano in contraddizione con le antiche ipotesi freudiane.

Ogni lettore odierno può agevolmente interrogare le fonti del pensiero di Freud nei suoi tanti e corposi saggi-casi clinici, principi di psicopatologia e di meta-psicologia, speculazioni sul mito, sulla società, sulla storia, sull'arte e sugli artisti scritti nel suo stile limpido e avvincente, raccolti nella monumentale opera omnia in tedesco, tradotta poi in tante altre lingue. In Italia il compito è stato assolto dalla casa editrice Bollati Boringhieri, che l'ha pubblicata in dodici volumi (OSF), accompagnati da un denso apparato critico, più altri recenti volumi di epistolari e appendici. A margine, particolarmente da quando sono scaduti i diritti editoriali (1989), si consuma la spinosa questione della traduzione e ritraduzione, della fedeltà e infedeltà al testo freudiano, dell'interpretazione filologica e letterale da parte di coloro che, tra velenose polemiche, si cimentano in tale impresa infinita. Non sono fruibili altrettanto agevolmente, purtroppo, gli scritti della maggior parte degli autori contemporanei, troppo spesso chiusi in un gergo autoreferente e in un linguaggio tecnico che rende poco accessibili i contenuti a un lettore non specialista.

Per comprendere la portata delle trasformazioni teoriche e cliniche della psicoanalisi moderna sarà dunque opportuno ricordare, sia pure sommariamente, i concetti basilari che, anche se non mantengono immutata la loro validità e pregnanza operativa, tuttavia fungono da pietra di paragone.

Il costrutto concettuale ideato da Freud è al tempo stesso una teoria metapsicologica, un metodo di indagine sul funzionamento della mente normale e patologica e, soprattutto, una prassi terapeutica. La particolarità della psicoanalisi è che questi tre livelli sono legati da una circolarità intrinseca: ogni concetto astratto nasce dall'esperienza clinica, a partire dalla quale si costruisce la teoria da cui deriva lo specifico metodo.

L'intuizione fondamentale della psicoanalisi è l'esistenza dell'inconscio, parte prevalente dello psichismo umano, composto secondo la cosiddetta prima topica di tre livelli: conscio, inconscio e preconscio. La nota metafora freudiana rappresenta la psiche come un iceberg, nel quale solo la piccola parte che emerge dall'acqua corrisponde alla coscienza, mentre l'inconscio corrisponde all'enorme e inquietante massa sommersa. Alla base dello psichismo domina il cosiddetto principio del piacere-dispiacere, che solo tardivamente e con fatica cede il controllo del funzionamento al più maturo principio di realtà. L'inconscio può essere conosciuto e analizzato soltanto attraverso i suoi derivati: innanzi tutto i sogni (via regia per la dimensione inconscia, secondo Freud), ma anche i sintomi e i lapsus dei singoli individui, e ancora tramite i miti e le leggende dei popoli. L'assunto basilare è che tutti questi materiali, apparentemente assurdi e sconnessi, hanno invece un senso che può essere decifrato nella normalità e nella patologia.

La seconda topica, formulata da Freud in un momento successivo, distingue nel processo di sviluppo l'organizzarsi della struttura psichica, che si differenzia in Io (che non coincide semplicemente con la coscienza), Es (il serbatoio delle pulsioni sessuali e aggressive) e Super-Io (l'istanza normativa, protettiva e punitiva che ciascuno interiorizza a partire dalle relazioni e dalle successive identificazioni con le figure autorevoli dell'infanzia). Nel corso del processo di sviluppo, si organizza – o si disorganizza – la struttura, secondo meccanismi di regolazione e specifici meccanismi di difesa che cercano di proteggere l'io dall'angoscia (rimozione, proiezione, scissione, diniego, isolamento).

Lo scenario, tuttora vigente, della cura psicoanalitica prevede il paziente steso sul lettino e l'analista seduto alle sue spalle. Tale scenario è correlato al cosiddetto setting delle norme formali: 4 o 5 sedute settimanali (sebbene vi sia una tendenza a ridurre la frequenza) di 45 minuti, con il terapeuta in silenzioso ascolto, in atteggiamento di astinenza (di non gratificazione di impulsi e desideri) e neutralità (di rinuncia a dare suggerimenti, suggestioni, giudizi). Tutto ciò favorisce l'emergenza del livello inconscio e della realtà interna dell'analizzato. La frequenza delle sedute è preliminarmente fissata, con il corrispettivo onorario.

Il lettino – che sia ricoperto da cuscini orientali come quello di Freud, o lineare nella sua essenza di pelle e acciaio come quello disegnato da Le Corbusier – è diventato lo stereotipo della terapia psicoanalitica nell'immaginario collettivo; e non a caso tale strumento concreto ed esteriore viene adottato imitativamente come elemento di arredo anche da tanti psicoterapeuti di altri indirizzi. Per parte sua, l'analizzato gode della licenza di dire tutto ciò che vuole, ma non di agire; deve lasciar fluire dalla mente le cosiddette libere associazioni, pensieri spontanei che possano consentire l'accesso alla dimensione inconscia. In tale

specialissimo clima emotivo, che favorisce una temporanea regressione, si riattivano le antiche dinamiche relazionali: il transfert del paziente sull'analista, che rivive nell'attualità antichi conflitti e passioni con personaggi basilari del suo passato; al quale – come si sarebbe compreso meglio in epoca postfreudiana – si aggiunge la risposta affettiva inconscia del terapeuta, il cosiddetto controtransfert. Lo psicoanalista, nella cornice affettiva e cognitiva della relazione, offre contenimento silente alle angosce e formula specifiche interpretazioni, seppure consapevole che meccanismi difensivi e resistenze inconscie del paziente si oppongono sempre al processo della cura e al cambiamento, per il motivo – non banale – che cambiare è doloroso. Secondo l'esperienza psicoanalitica, per questa via lunga e faticosa è però possibile ottenere modificazioni profonde e stabili della personalità.

Evoluzioni, involuzioni, trasformazioni

Fino a ora il discorso è stato oggettivo, sostenuto dai dati storici e dai numeri. Le considerazioni seguenti, più interessanti e complesse, sono fortemente segnate invece dalla soggettività di chi scrive; poiché riguardano la discussione su quali siano gli elementi basilari ancora oggi validi della teoria psicoanalitica classica; quali siano le evoluzioni che consentono di continuare a fare riferimento a Freud e quali invece se ne discostano; e infine quali siano le involuzioni e i limiti della psicoanalisi nella società moderna. Seguendo dunque un criterio dichiaratamente opinabile, si possono tracciare alcune valutazioni.

a) Il primo punto saldo è la necessità dell'analisi personale di ogni psicoanalista, poiché noi siamo al tempo stesso medico e medicina. La persona del terapeuta è strumento di indagine del mondo interno del paziente, basata sulla capacità di fare riferimento costante al funzionamento del proprio inconscio quale necessaria garanzia per avventurarsi in quello dell'altro. Proprio a partire da una rigorosa formazione uno psicoanalista si può poi cimentare in tanti tipi di intervento. Questo è un assunto tuttora condiviso (tanto che molti psicoterapeuti di altre scuole si sottopongono ad analisi personale con psicoanalisti). Fanno eccezione alcuni lacaniani che non fanno parte dell'IPA e che, pur condividendo il patrimonio teorico freudiano, pensano che l'analisi personale, sia pure didattica, non si possa imporre e che ciascuno sia legislatore di sé stesso. Auspicano che gli allievi sentano l'esigenza dell'analisi personale, ma non la pretendono, né tanto meno la controllano.

b) L'analisi del sogno continua a essere di importanza cruciale nella teoria e nella clinica psicoanalitica. Oltre un secolo fa, nel 1900, Freud aveva pubblicato *Die Traumdeutung*, sua opera capitale, frutto in gran parte della lunga e sofferta autoanalisi (tuttora il più noto, tradotto, citato e contestato dei suoi scritti). Ancora oggi

riteniamo con lui che i sogni siano spia preziosa dei processi inconsci, appagamento illusorio di desideri, compenso ed elaborazione delle frustrazioni del reale, teatro della mente, messa in scena dei conflitti irrisolti. Gli riconosciamo, però, un'ulteriore funzione di costruzione del pensiero, di traduzione in immagini del 'non rappresentato' originario. Nella linea di Wilfred R. Bion (1897-1979), non diciamo più che è l'inconscio a creare il sogno, ma piuttosto che è l'attività onirica a creare l'inconscio.

c) La psicoanalisi ha scoperto che molte patologie, apparentemente incomprensibili e prive di senso, hanno origine da vicissitudini relazionali distorte. L'etiopatogenesi psicogena è sempre considerata però, oggi come ieri, nel più ampio quadro della multifattorialità, cioè della concorrenza di tanti variabili fattori interni ed esterni, biologici e psicologici, culturali e naturali. Il rigido nesso di causa-effetto – quale che sia l'ambito nel quale viene ipotizzato – è considerato un grave errore riduzionista.

d) Continuiamo a pensare che il passato infantile e gli eventuali traumi precoci segnino l'evoluzione della personalità adulta, ma non in un senso banalmente lineare. Viene invece rivalutato il concetto freudiano di *Nachträglichkeit*, mal traducibile in italiano come 'risignificazione retroattiva'; non solo il passato determina il presente, ma a sua volta – sovvertendo l'ordine temporale – il presente risignifica a posteriori e conferisce nuovo senso alle vicissitudini e ai traumi del passato.

e) Il dualismo delle pulsioni continua a essere il punto più debole della teoria psicoanalitica, da Freud ai nostri giorni. Il perenne conflitto, la contrapposizione e la fusione/defusione di Eros e Thanatos, di libido e aggressività mantengono un ruolo basilare; ma continuiamo a interrogarci sulla differenza tra istinto e pulsione, a chiederci quale sia lo statuto delle pulsioni dell'Io, di autoconservazione, se l'aggressività sia una conseguenza della frustrazione o se esista una pulsione innata di morte, quale sia la differenza tra aggressività e distruttività. Fin dall'epoca di *Drei Abhandlungen zur Sexualtheorie* (1905; trad. it. Tre saggi sulla teoria sessuale, in *Opere*, 4° vol., 1967), Freud aveva formulato la convinzione, scandalosa per l'epoca, circa la sessualità infantile: il bambino non più visto come la creatura angelicata della cultura vittoriana, ma come un piccolo perverso polimorfo agitato da angosce e profonde passioni. Sul terreno clinico, l'analisi delle vicissitudini della sessualità nel corso dello sviluppo, durante l'intero arco della vita, mantiene la sua importanza: la sessualità non è solo sesso; ma oggi si dà giustamente maggior rilievo all'aggressività.

f) Il processo di sviluppo femminile normale e patologico è stato radicalmente criticato, a partire dalla visione fallocentrica di Freud, ma soprattutto delle sue prime allieve che – come è noto – formularono contro il loro sesso le teorizzazioni più svalutanti e feroci, sancendo un'identità mutilata, dominata dalla triade

‘masochismo, passività, narcisismo’, condannata a un’eterna infanzia senza istinti, consegnata a un destino di invidia e mancanza. Oggi possiamo invece contare su un ricco patrimonio di idee che hanno riconsiderato il percorso identitario di genere e sessuale delle donne e che, necessariamente, hanno scardinato e riedificato, nella dimensione relazionale, anche tutti i classici parametri del maschile. Le donne (Lou Andreas-Salomé, Helen Deutsch, la figlia di Freud Anna) – fatto non banale – parteciparono senza discriminazioni all’avventura psicoanalitica fin dai primi passi. Può essere interessante sapere che se tra gli psicoanalisti italiani di prima generazione compariva una sola donna (la principessa Alessandra Tomasi di Lampedusa, 1895-1982), il rapporto uomo/donna si è andato poi progressivamente spostando nel corso del tempo: un terzo di presenze femminili tra i didatti, circa la metà tra i soci, più della metà tra i candidati. È probabile, quindi, che – analogamente a quanto si riscontra anche a livello internazionale – la psicoanalisi si rivelerà sempre più una professione congeniale al sesso femminile.

g) L’evoluzione più importante e significativa del dopo Freud, dagli anni Quaranta ai nostri giorni, è stata senza dubbio l’esplorazione dei livelli precoci dello psichismo, cosiddetti pre-edipici, e di conseguenza si è affinata l’analisi del narcisismo e delle patologie narcisistiche che derivano da deficit e distorsioni relazionali avvenuti in epoche precoci della vita. Sono aree dello psichismo nelle quali non sono ancora definiti i confini tra dentro e fuori, mentale e corporeo, e il limite tra ‘me’ e ‘non me’ è confuso, fluido e continuamente rinegoziato. In quest’ambito un contributo prezioso, accettato universalmente, è quello di Donald W. Winnicott (1896-1971) a proposito dei cosiddetti fenomeni transizionali, nella norma e nella patologia. L’esempio più tenero e banale è l’orsacchiotto che stringono a sé i bambini per affrontare il delicato passaggio dalla veglia al sonno: oggetto di transizione, appunto, tra sé e non sé, tra il proprio corpo e quello della madre, rassicurante contatto sensoriale, al confine del simbolico. Ai nostri giorni, l’essere umano a cui guardiamo, nella norma e nella patologia, è complesso, ma non compatto, e in esso dobbiamo riconoscere la coesistenza di livelli evolutivi e di funzionamento diversi. Nella teoria e nella clinica le due dimensioni intrapsichica (di rapporti tra parti di sé, tra i cosiddetti oggetti interni, di identificazioni e introiezioni) e intersichica (di rapporti con gli altri) sono sempre necessariamente intrecciate. L’intrapsichico è abitato dalle relazioni già vissute mentre l’intersichico è condizionato e colorato dalle ‘forme’ del mondo interno. Fondamento ontologico dell’individuo, la duplice dimensione dell’interiorità (unica ed essenziale) e dell’incontro con l’alterità (punto di riferimento speculare per la costruzione dell’identità) è d’altronde un criterio irrinunciabile non solo per ogni psicoanalista, ma anche per chiunque – in epoca di ‘crisi del soggetto’ – sia uomo/donna della modernità.

È specificamente nel transfert che si evidenzia come l'intersichico si coniughi con l'intrapsichico e come le interpretazioni di transfert si completino, in una complessa circolarità, con le interpretazioni tra gli oggetti interni del paziente, eredi a loro volta delle antiche relazioni. L'approccio a patologie gravi ci confronta infatti con organizzazioni vieppiù instabili, che veicolano nel transfert stati di 'non integrazione' o 'scissi' della persona. Lo strumento precipuo per entrare in contatto con tali livelli cosiddetti preverbal del paziente – nel regime delle sensazioni e degli affetti, più che dei pensieri – diviene il controtransfert dell'analista; il quale attualmente appare oggi più avvertito di tali implicazioni, più attrezzato all'ascolto, ma non in minori difficoltà.

L'attenzione ai livelli precoci ha dato un ruolo fondamentale al registro preverbale degli affetti quali tessuto connettivo della mente, cerniera tra psiche e soma. Emozioni e sentimenti, così intrisi di fisicità, sono ingredienti necessari per la ragione, per lo svolgersi delle funzioni intellettuali 'alte', dall'apprendimento alle scelte etiche ed estetiche. Non esiste però ancora un preciso accordo sulla distinzione metapsicologica tra emozioni, affetti, umori, sentimenti. Il contributo personale dell'analista, dunque, quando si lavora a livelli precoci dello psichismo, è più sostanzioso; il muoversi nel triplo registro cognitivo, affettivo e sensoriale, invoca la sua creatività e generosità; ma lascia anche più margine all'arbitrio.

h) I meccanismi di difesa sono cambiati: se all'epoca di Freud era in primo piano la rimozione, oggi si parla più spesso di scissione o di regressione all'ambiguità. Resta da stabilire quanto ciò corrisponda a un effettivo mutamento, oppure derivi da un diverso approccio teorico attuale. Rimane comunque un punto delicato trovare l'equilibrio tra le due funzioni basilari del terapeuta: l'analisi dei livelli precoci e l'analisi di quelli più evoluti; il contenimento emotivo, l'ascolto silenzioso e l'interpretazione. L'obiettivo è infatti sempre l'integrazione tra parti e livelli.

Le indicazioni

Storicamente, i primi pazienti di Freud erano affetti da nevrosi ossessiva, isteria, ma è ormai un dato consolidato dall'esperienza che non solo le nevrosi, ma anche le più gravi patologie narcisistiche, le psicosi e le cosiddette sindromi borderline possono trarre giovamento dalla psicoanalisi, purché si trovi il terapeuta disposto e preparato ad assumersene il carico. Tuttavia, il trattamento psicoanalitico classico, con il paziente sdraiato sul lettino, trova la sua indicazione solo in una percentuale limitata di casi, seppure più per motivi contingenti esteriori che per ragioni cliniche.

Poiché l'analisi non ha il compito limitato di eliminare i singoli sintomi, ma si propone di ristrutturare l'intera personalità, favorendo i processi maturativi e integrativi dello sviluppo mentale che le vicende patologiche hanno interrotto e distorto, ciò inevitabilmente richiede un impegno lungo e continuativo.

Il problema delle indicazioni al trattamento psicoanalitico si intreccia con quello del cambiamento della patologia che si registra ormai da alcuni decenni nelle nostre società occidentali: le nevrosi classiche sono quasi scomparse, mentre aumentano le patologie identitarie di base, le personalità imitative, i 'come se', i 'falsi Sé'. Le specifiche sindromi – perversioni, fobie, disturbi alimentari, connotate da particolari strutture e vicissitudini psicopatologiche – si configurano sempre più spesso come sintomatologie aspecifiche e fluttuanti. I criteri di scelta sono comunque molto diversi da quello che comunemente si crede. Non è vero, per es., che solo persone di un certo livello culturale possono intraprendere l'analisi, mentre è vero che una certa qualità di intuizione e di intelligenza rappresenta un valido aiuto. Neppure l'età è un elemento determinante: sempre più, anzi, l'indicazione di analisi si estende dall'età infantile all'adolescenza, fino alla maturità e anche alla vecchiaia.

Non si può invece negare che i fattori esterni di realtà, tempo e denaro, abbiano un grande peso. L'esigenza è quella di trovare, accanto alla psicoanalisi, altre modalità di intervento senza svilire o degradare lo strumento terapeutico. A ogni modo, la più autentica indicazione all'analisi restano l'esigenza e la disponibilità a volere vedere chiaro in sé stessi, il grado di sofferenza e il coraggio di cercare dentro di sé le cause e le soluzioni delle proprie angosce.

Altre possibilità di intervento

Evidentemente gli psicoanalisti non fanno solo psicoanalisi. Più spesso anzi svolgono psicoterapie di indirizzo psicoanalitico, condotte a ritmo e durata ridotti, in cui si cerca di affrontare in modo circoscritto un singolo problema. Talvolta, anche solo una breve serie di due o tre colloqui può aiutare il paziente a focalizzare una difficoltà in un momento di crisi e a superarla poi con le proprie forze. Inoltre, molti si impegnano parallelamente, in ambito sia pubblico sia privato, in altre aree: interventi di psicoterapia combinati con ricovero in comunità, con trattamenti psicofarmacologici, consultazioni individuali, consulenze in scuole e ospedali, formazione di personale specializzato, attività di insegnamento nel contesto più vasto della cultura e così via. È chiaro che se variano il tipo di intervento, il destinatario, il contesto, deve necessariamente cambiare anche il relativo setting. L'intervento più utile, quello preventivo, per es. nei reparti di ostetricia o di pediatria ospedalieri, è invece purtroppo il meno praticato.

Fanno parte delle attività cliniche anche le varie psicoterapie derivate dalla matrice psicoanalitica: psicoterapia della coppia, della famiglia, dell'infanzia, dell'adolescenza. Un grande sviluppo hanno avuto le diverse forme di terapia di gruppo, che fanno prevalentemente riferimento al pensiero di Siegmund H. Foulkes (1898-1976) e W.R. Bion. Ciascuna di queste modalità di cura è praticata anche da psicoterapeuti di altre scuole.

Un altro interessante ambito di attività è quello della cosiddetta psicoanalisi applicata alla storia, alla filosofia, alla politica, alla sociologia e, soprattutto, all'arte. È una definizione desueta, considerata oggi troppo imperialista nella pretesa di esportare e, appunto, applicare meccanicamente gli strumenti psicoanalitici in contesti extraclinici. Attualmente siamo giustamente molto critici rispetto all'ingenuo entusiasmo dei pionieri, che si concedevano la licenza di interpretare artisti e opere d'arte. L'interesse tuttavia continua a essere molto vivo, seppure con una salutare rivisitazione della metodologia di volta in volta implicata, più attenta alla dimensione relazionale e contestuale.

La psicoanalisi può offrire interessanti occasioni di impegno interdisciplinare anche nel campo del lavoro, delle imprese, delle organizzazioni pur se in questi ambiti operano più frequentemente psicologi appartenenti ad altre scuole.

La cosiddetta medicina psicosomatica, nata dalla psicoanalisi, ha attualmente una vasta, ma ambigua fortuna; le superficiali semplificazioni correnti, che propongono rozzi nessi di causa-effetto tra supposte fantasie inconsce rimosse e sintomi patologici del corpo, sono fuorvianti e molto lontane da una corretta visione del rapporto tra mente e corpo.

Tutto nell'umano esperire è psicosomatico, in salute e in malattia, poiché la psiche, come insieme strutturale e funzionale, è in continua, dinamica relazione sia con l'ambiente esterno, sia con quello interno corporeo. Nella nostra disciplina è impossibile separare l'attività psichica non solo da quella cerebrale, ma anche da quella corporea nella sua interezza. Il corpo è nella mente, come schema, immagine, rappresentazione di sé, e la mente, per contro, abita il corpo in ogni sua parte: nelle circonvoluzioni cerebrali come nei visceri, nella muscolatura scheletrica come nella pelle, a vari livelli di consapevolezza e di integrazione. Non possiamo prescindere, difatti, né in clinica, né in teoria, da quella globalità psicofisica secondo la quale, come già scriveva Freud, l'io stesso, all'origine, è un io corporeo; e successivamente, nel corso dello sviluppo, le articolazioni più raffinate del pensiero e dell'astrazione sempre coesistono e si declinano con i livelli più arcaici e concreti, consci, preconschi e inconschi, al confine con il biologico.

La salute psicofisica dipende dai processi di integrazione, in un costante mobile equilibrio. Coerentemente con tali assunti, l'approccio psicosomatico dovrebbe, dunque, mirare soprattutto alla sensibilizzazione dei medici verso una visione integrata della malattia, più che al trattamento di singoli pazienti o di singole patologie.

Le scuole affini

Come abbiamo detto nella premessa, non ci impegneremo nella descrizione e nella valutazione comparata tra le altre diverse scuole di psicoterapia basate sulla parola; così come lasceremo a margine i contrasti con altre concettualizzazioni e altri sistemi di cura del disagio mentale (per es., terapie organiche quali l'elettroshock, la psichirurgia e quelle che ricorrono a un uso massiccio ed esclusivo di psicofarmaci), molto lontani dalla psicoanalisi per quel che riguarda presupposti teorici, deontologia, prassi.

È invece opportuno segnalare le terapie affini alla psicoanalisi, derivate per scissione, ma che tuttavia conservano elementi di base comuni, come il riconoscimento dell'inconscio. Sono note le precoci liti e scissioni che funestarono il rapporto tra Freud e i suoi primi allievi (C.G. Jung, Alfred Adler, Otto Rank, Wilhelm Reich), dalle quali derivarono i relativi indirizzi quali la psicologia analitica di Jung (1875-1961), allievo prediletto di Freud, fondata dopo un doloroso distacco in ragione di contrasti personali, ma anche di autentiche divergenze teoriche; oppure la psicologia individuale di Adler (1870-1937), altro allievo ribelle.

Un caso a sé è rappresentato da Jacques Lacan (1901-1981), fuoriuscito clamorosamente dall'ambito istituzionale, ma che si è sempre dichiarato un fedelissimo freudiano. Tutti gli psicoanalisti leggono e studiano oggi le originali teorie di Lacan, pur criticandone alcuni eccessi polemicisti, lo stile astruso e soprattutto le bizzarre tecniche (per es., lo sconvolgimento del setting, lasciato all'estro e all'arbitrio del terapeuta). Ci sono però alcuni gruppi (prevalentemente in Francia e in Italia) che si definiscono psicoanalisti lacaniani, operano secondo modalità diversificate (per es., ritengono che chiunque sia legislatore di sé stesso e possa autopromuoversi a terapeuta) e restano al di fuori dell'IPA.

Un problema serio e molto concreto deriva dalla variegata composizione degli operatori – di assai variabili indirizzi, talora francamente dissimili – che possono essere chiamati a collaborare nelle strutture pubbliche (ASL, consultori, comunità terapeutiche, perizie giudiziarie). I criteri per cui i singoli pazienti vengono avviati all'uno o all'altro indirizzo terapeutico dipendono da motivi esteriori, contingenti. Tutto ciò alimenta la confusione e non va certo a vantaggio della cura.

Modelli

All'interno della psicoanalisi stessa si possono distinguere diversi orientamenti e modelli, intorno ai quali si raggruppano gli psicoanalisti di tutto il mondo che, non senza diatribe e conflittualità, tuttavia convivono nel grande contenitore dell'IPA. Oggi si registra maggiore tolleranza istituzionale per le diversificazioni e forse meno spinta eversiva nei gruppi di quanto accadesse nel passato; ovviamente è opinabile se questo sia un bene o un male.

Psicoanalisi classica: prevalentemente di area francese, fa continuo, esplicito riferimento a Freud, anzi, soprattutto al primo Freud. L'individuo è visto essenzialmente nell'ottica del cosiddetto complesso di Edipo, in termini di pulsioni e loro vicissitudini, di lotta per appagare bisogni, di rimozione, di fantasie inconscie e desideri che producono conflitti, colpa e angoscia.

Psicoanalisi delle relazioni oggettuali: fa capo agli studi di Melanie Klein (1882-1960), la personalità più significativa dopo Freud, la quale diede vita alla psicoanalisi infantile e alla terapia del gioco. Secondo la Klein e i suoi seguaci, ben prima dell'epoca del complesso edipico, fin dalle epoche arcaiche della vita il bambino entra in rapporto con la madre e con il padre, sia pure vissuto ancora in modo parziale e indistinto. Ogni trauma della prima infanzia è interiormente conservato come traccia che viene continuamente rimessa in scena. Gli eventi nuovi vengono assimilati agli antichi drammi secondo il registro delle fantasie e delle angosce primarie. La scuola kleiniana, originatasi in Inghilterra, ha oggi seguaci in tutto il mondo.

Psicoanalisi dell'Io (Ego psychology): deriva da Anna Freud (1895-1982), figlia di Sigmund, e si è sviluppata principalmente in Gran Bretagna e in America Settentrionale, in aperto contrasto con le teorie kleiniane (d'altronde le due signore della psicoanalisi furono apertamente rivali per tutto l'arco della loro esistenza). Secondo tale corrente, lo sviluppo psicofisico viene inteso in modo abbastanza lineare; come capacità di progressivo adattamento tra mondo interno e mondo esterno, in una dialettica tra esame di realtà e difese, secondo la quale i fallimenti evolutivi si traducono in difetti dell'Io.

Psicoanalisi del Sé: è più difficile dare una definizione globale dei vari modelli che si riuniscono sotto questo nome (seguaci di D.W. Winnicott, Heinz Kohut, Eugenio Gaddini) e che esplorano gli stati soggettivi emergenti, la progressiva delimitazione tra Sé e non Sé, i diversi gradi di differenziazione tra Sé e l'altro, e che avviano la costruzione di confini psicofisici e di nuclei identitari. Il termine Sé (Self) è stato adottato per

prendere le distanze dal classico Io protagonista della struttura di cui parlava Freud. Costoro danno grande rilievo a problemi e patologie connesse al duale, al materno, al pregenitale, al preverbale – in contrapposizione alle dinamiche connesse al triangolo edipico – relativi a livelli, non epoche, nelle quali non c'è ancora discriminazione tra sé e l'altro.

Altri gruppi di aggregazione si possono individuare in varie aree geografiche, più o meno esplicitamente connotati dal nome del pensatore al quale fanno precipuamente riferimento: Winnicott, Lacan, Bion, José Bleger (1923-1972). Sono nuclei uniti (e divisi) da modelli teorici talora conciliabili, talora davvero divergenti, ma più spesso da simpatie, antipatie, questioni di leadership e di politica istituzionale.

La questione epistemologica

Annosa e ricorrente è la questione della scientificità della psicoanalisi, del suo statuto epistemologico, della possibilità o meno di individuare criteri di validazione delle ipotesi metapsicologiche fondanti e ancor più dell'operare clinico. La psicoanalisi, fondata in parte essenziale sull'autoanalisi di Freud, divisa – ma mai interamente compresa – tra scienze naturali e scienze umane, tra medicina-psichiatria e filosofia, è certo priva di quel marchio di impersonalità che è considerato un requisito precipuo della scienza. Tuttavia, occorre considerare che le critiche dipendono strettamente dal concetto di scientificità al quale si vuole fare riferimento e dal modello di scienza con il quale si opera.

D'altronde, la filosofia della scienza stessa è agitata perpetuamente da diatribe, polemiche, vivaci contrasti. Se si adotta il modello logico empirico-razionalista, le modalità di osservazione e di raccolta dei dati clinici, di quantificazione, replicabilità, predizione e falsificabilità della psicoanalisi, sono evidentemente inadeguate. Se invece ci si colloca sul terreno del cosiddetto postmoderno, dove vige una concezione relativista della razionalità – secondo la quale è illusorio pretendere di far derivare la conoscenza dai soli dati dell'esperienza, in quanto la teoria sempre precede l'osservazione – la psicoanalisi può essere riconsiderata nell'ambito delle scienze della soggettività, delle congetture esperienziali e non sperimentali, poiché è comunque necessario prendere atto della specificità delle singole esperienze, e ogni riflessione epistemologica deve tener conto dell'oggetto che indaga.

Certo la psicoanalisi non può aspirare a entrare nel novero delle scienze 'dure', ma non è soddisfacente neppure la scelta di campo di stampo ermeneutico, che intende la psicoanalisi come una sorta di 'pratica narrante', in una deriva dell'interpretazione libera e duttile, ma abbandonata all'arbitrio. Più adeguata, in una

dimensione euristica, è l'idea direttrice di una tensione verso un metodo; come strategia di ricerca infinita, più che come affermazione preliminare di principi.

Da alcuni anni, sull'onda della diatriba epistemologica, alcuni psicoanalisti nordamericani ed europei si sono dedicati alla cosiddetta ricerca empirica, con l'intento di esplorare nuove strategie di indagine più vicine ai criteri oggettivi della comparabilità e della quantificazione dei dati: un territorio di frontiera senza dubbio interessante, non tanto per i risultati (al momento modesti; troppo spesso si assiste a un enorme dispendio di energie per arrivare a riaffermare l'ovvio), quanto per lo stimolo alla riflessione sulle metodologie implicate. La ricerca empirica in psicoanalisi, con il ricorso a questionari, scale numeriche, griglie computerizzate, lungi dal sanare i punti deboli sul piano epistemologico, rischia così continuamente di snaturare la specificità e la qualità dell'esperienza psicoanalitica. Il merito di tutte queste serrate e inesauste critiche è comunque quello di obbligare gli psicoanalisti a chiarire, innanzi tutto a sé stessi, i criteri basilari della teoria e la coerenza del metodo e di non rinunciare allo sforzo di mettere a punto migliori criteri di osservazione.

Psicoanalisi e neuroscienze

Un interessante terreno di incontro è quello tra psicoanalisi e neuroscienze. Attualmente, nel piccolo mondo della psicoanalisi circola infatti un certo entusiasmo, perché la nostra architettura concettuale si è rivelata in larga misura compatibile con le più recenti e accreditate acquisizioni delle neuroscienze, particolarmente della neurobiologia e della neurofisiologia. Un segno tangibile di tale nuova era è rappresentato dall'enorme mole di lavori che nell'ultimo decennio sono stati pubblicati nella zona di interfaccia tra psicoanalisi e neuroscienze.

I vantaggi di un dialogo non riduzionista con le altre branche del sapere che oggi si rivolgono alla psiche umana, di una reciproca, aperta conoscenza sono evidenti in entrambe le direzioni: i neuroscienziati possono offrirci rassicuranti conferme, ma soprattutto possono limitare taluni perniciosi arbitrii di 'fantapsicoanalisi' aiutandoci a non produrre teorie in contrasto con le cognizioni biologiche attuali. Per contro, gli psicoanalisti possono confutare e contraddire le semplificazioni e i riduzionismi che caratterizzano troppo spesso sia le metodologie sia le deduzioni finali degli scienziati 'puri', senza perdere di vista la multifattorialità e il plurideterminismo che regolano ogni vicenda umana.

Le qualità dell'analista

È infine lecito interrogarsi su quali debbano essere i requisiti di coloro che si propongono come terapeuti delle sofferenze altrui. L'analisi personale ha lo scopo di vagliare il progetto del candidato che vorrebbe diventare analista, di confrontarlo con le sue parti malate e sofferenti (che in variabile misura ci sono sempre in coloro che decidono di intraprendere tale atipica professione) anziché avallare il cortocircuito di porsi preliminarmente dalla parte di chi cura.

La qualità minimale, ma essenziale dell'analista è comunque la capacità di sopportare l'angoscia: la propria, come premessa indispensabile per reggere poi quella degli altri. Ciò comporta la rinuncia, per quanto è umanamente possibile, alle difese che ostacolano la circolazione inter- e intrapsichica di pensieri e affetti; particolarmente la rinuncia a quelle che potremmo chiamare difese professionali stabilizzate, al servizio delle quali possono andare i livelli più evoluti del pensiero: l'autoreferenzialità delle argomentazioni, l'autogiustificazione del proprio operare, la conferma autogestita delle variazioni delle strategie cliniche.

Fin dall'epoca di Freud, d'altronde, amiamo dire che nel nostro mestiere etica e tecnica coincidono, come sforzo verso il riconoscimento dell'alterità. E ciò serve a metterci in guardia dalla tentazione di prendere il posto dell'ideale dell'Io dei pazienti, di cercare in essi sotterranee gratificazioni narcisistiche o oggettive e anche di trovare nel lavoro l'intero senso della nostra esistenza, dimenticandoci di vivere.

In conclusione, la psicoanalisi moderna continua a fare riferimento a Freud, ma soprattutto al Freud degli ultimi anni, severo e consapevole dell'interminabilità del lavoro analitico, della dolorosa rinuncia alle illusioni, privo di ogni nota di trionfalismo. Così la storia travagliata della psicoanalisi prosegue, tra le miserie e le follie private dei singoli, le critiche di taglio epistemologico, politico, religioso, le accuse di falsa scienza, pratica borghese, fragilità teorica, inadeguatezza terapeutica a fronte dei supposti repentini successi degli psicofarmaci. E tutto ciò avviene in contrasto, peraltro, con tutte le straordinarie acquisizioni teoriche e cliniche della nostra disciplina.

La psicoanalisi, d'altronde, è in sé una teoria della crisi permanente: l'esigenza di rivisitare i concetti, di sfidare le certezze raggiunte e di rimanere accessibile anche a profonde trasformazioni fa parte della filosofia di fondo come ricerca della verità, sia pure la verità modesta e destituita di onnipotenza del non mentire a sé stessi. La crisi, semmai, è degli psicoterapeuti, attratti da altri più sbrigativi percorsi formativi o da altri apparentemente più oggettivi parametri di scienza.

Anche l'esiguità numerica è un problema relativo. Anzi, alcuni aneliti di espansione in nuove aree del mondo e della cultura hanno creato più problemi che vantaggi. La crescita quantitativa non è mai stata un obiettivo precipuo; la storia insegna che fin dagli esordi il maggiore pericolo non proviene dall'ostilità aperta, bensì dai meccanismi imitativi, dall'inglobamento, dal consumo frettoloso e dalla trasformazione/deformazione dello spirito di questa particolare disciplina. La crescita degli psicoanalisti nell'ambito della comunità internazionale, come pure nel nostro Paese, se è istituzionalmente rigorosa, non può che essere lenta e numericamente modesta. È invece vero, purtroppo, che non è facile sopravvivere nella modernità, in una società dominata dalla superficialità e dalla fretta, nella quale i criteri legali per l'esercizio della psicoterapia omologano ormai tutti; nella quale i bisogni di introspezione, di coerenza interiore, di costruzione del senso di sé e della propria storia appaiono indeboliti o forse non si sanno più riconoscere. D'altronde, nel cuore stesso dell'associazione internazionale, tra una bufera e l'altra le acque sono permanentemente mosse; tra scuole, modelli, correnti che, alla rincorsa della modernità e del consenso, rosicchiano dall'interno le pietre angolari: il setting, il transfert e il controtransfert, l'interpretazione, addirittura il concetto di inconscio.

Tutto ciò rende inevitabilmente assai arduo anche l'incontro clinico con i pazienti, la possibilità di offrire loro indicazioni corrette. Sempre più spesso infatti vengono messe 'in cura' persone afflitte dalle fisiologiche difficoltà dell'esistenza, mentre le vere patologie restano relegate ai margini istituzionali oppure abbandonate a sé stesse.

La questione non è proteggere la psicoanalisi come una rara specie in estinzione, ma non lasciare inaridire le condizioni socioculturali nelle quali possa essere coltivata quale bene comune da non dilapidare.

Psicologia

Enciclopedia del Novecento (1980)

di Leonardo Ancona

Sommario: 1. Introduzione: a) definizione; b) articolazione. 2. L'osservazione esterna: a) rilevazione psicofisiologica; b) comparazione del comportamento; c) manifestazioni differenziali. 3. L'introspezione pilotata: a) i contenuti mentali; b) le funzioni interiori; c) l'organizzazione interna. 4. Lo studio delle interazioni sociali: a) la prospettiva incentrata sul gruppo; b) la prospettiva incentrata sull'individuo. 5. La

dimensione genetica: a) l'evoluzione psichica normale; b) la deviazione psicopatologica; c) la processualità psicopatologica; d) la prospettiva psicanalitica. 6. Integrazione. 7. Conclusione.

1. Introduzione

a) Definizione

La psicologia è la scienza che si propone lo studio delle funzioni mentali dell'uomo; a tal fine essa analizza il comportamento umano, sia dal punto di vista delle manifestazioni esterne, e cioè nelle sue componenti motorie e neurovegetative, sia dal punto di vista della dinamica, conscia e inconscia, del pensiero e dell'affettività. In quanto disciplina scientifica, la psicologia ha una lunga preistoria, come componente fondamentale del pensiero filosofico, ma una brevissima storia, iniziata all'incirca un secolo fa; non tutti, peraltro, sono disposti, ancor oggi, ad attribuire alla psicologia la qualifica di disciplina scientifica. Il ritardo subito dalla psicologia nel costituirsi come scienza si può imputare a due ragioni principali. La prima, di carattere generale, riguarda il peculiare oggetto di studio della psicologia, e cioè l'individuo nella sua totalità. In particolare si è incontrata enorme difficoltà, non ancora compiutamente superata, a inquadrare scientificamente il concetto di mente e di funzione mentale. Per questo motivo, fra le discipline che studiano l'uomo, sono diventate rigorosamente scientifiche innanzitutto quelle nel cui ambito non rientra l'analisi della 'soggettività individuale. La prima in ordine di tempo è stata l'anatomia, seguita dall'anatomo-patologia: queste due discipline, per il fatto di studiare corpi inanimati, garantiscono in senso assoluto la possibilità di prescindere dalla soggettività. Si costituirono poi come scienze la fisiologia e la farmacologia, che, pur studiando l'organismo vivente, non si occupano dell'uomo nella sua totalità. In un momento successivo si differenziarono la chirurgia e la medicina interna; queste due branche della medicina, benché riguardino già l'individuo come un tutto e prendano in considerazione anche le caratteristiche individuali del paziente, pongono ancora l'accento sull'aspetto biologico dell'uomo; solo recentemente nell'ambito della medicina interna si è distinta come disciplina autonoma la neurologia. È ben noto che la psichiatria, per le ragioni in discussione, ha avuto più difficoltà di ogni altra specialità medica a costituirsi come scienza, e in realtà ancor oggi la sua identità rimane piuttosto indefinita; infatti, da una parte la psichiatria tende a presentarsi come una branca della medicina, e quindi come scienza naturale, dall'altra tende a sconfinare nella sociologia (v. psichiatria).

È pertanto comprensibile la difficoltà incontrata dalla psicologia a costituirsi come scienza e si comprende anche come la sua collocazione fra le scienze naturali sia alquanto problematica, tanto che alcuni sono propensi a collocarla nell'ambito delle discipline filosofiche. La psicologia, infatti, si accosta più di tutte le altre scienze naturali all'intimità dell'uomo; questa sua caratteristica può ingenerare il sospetto che sia ancora

impregnata di quel pensiero magico dal quale sono nate, distaccandosene, tutte le scienze naturali e specialmente la medicina. È interessante notare che nella storia stessa della psicologia è possibile rintracciare una linea evolutiva che sembra riflettere lo sviluppo sopra delineato a proposito delle scienze mediche, dal momento che gli aspetti anatomici e fisiologici del comportamento sono stati i primi a essere rilevati e studiati, mentre quei settori della psicologia che studiano la dinamica profonda dell'apparato psichico, in particolare la psicanalisi, che rappresenta il settore più avanzato della psicologia, sono stati sviluppati per ultimi. La seconda ragione che ha impedito per lungo tempo alla psicologia di trovare un assetto scientifico dipende dalla natura stessa della disciplina. La molteplicità degli aspetti che la psicologia presenta, spesso apparentemente incompatibili fra loro, il fatto che non di rado scuole di psicologia di diversa ispirazione si pongano in antagonismo, la mancanza di una terminologia unitaria sono circostanze che alimentano il sospetto che la psicologia stenti a trovare la sua strada, o, all'opposto, che abbia già esaurito il suo compito. In realtà il carattere peculiare dell'oggetto di studio della psicologia comporta necessariamente una molteplicità di metodologie, di terminologie, di indirizzi di ricerca; orientata in ultima analisi verso lo studio della soggettività umana, la psicologia deve occuparsi di tutti quegli aspetti della vita individuale e sociale, conscia e inconscia, che mediano ed esprimono la stessa soggettività, intesa non già come un'entità statica e immutabile, ma come un processo dinamico in continua evoluzione. Proprio la straordinaria ricchezza espressiva della vita umana offre all'indagine psicologica una varietà praticamente inesauribile di riferimenti che devono essere affrontati con diverse metodologie, da cui scaturiscono risultati apparentemente eterogenei, in realtà reciprocamente integrabili. Per far sì che le conclusioni tratte nell'ambito delle varie direttive di ricerca possano inserirsi in un comune tessuto concettuale, è però necessario interpretare le variabili osservate come espressioni di funzioni mentali e queste, a loro volta, come le strutture portanti di quella funzione superordinata che è la soggettività. Resta inteso che il concetto di soggettività è un'astrazione; ma in ciò la psicologia non si differenzia dalle altre scienze naturali le cui teorie vengono formulate a partire, appunto, da astrazioni concettuali.

È evidente che non sempre una ricerca psicologica permette di trarre conclusioni riguardanti direttamente e globalmente la soggettività. D'altra parte, molti ricercatori si limitano a interpretare i risultati delle loro indagini sul piano fattuale, disinteressandosi di ogni riferimento alla soggettività o addirittura negandola programmaticamente. Ciò non toglie che il contributo di questi ricercatori allo sviluppo della psicologia come scienza possa essere di inestimabile valore, purché la ricerca venga condotta con autentico rigore scientifico. In altre parole, se si studia obiettivamente un riflesso condizionato, la formazione di una Gestalt, la dinamica di un transfert, e lo si fa secondo una procedura scientifica, si compie della vera ricerca psicologica, anche se l'orizzonte del ricercatore rimane limitato a quei dati e anche se egli sostiene che tutta la vita mentale è riducibile a riflessi condizionati, a Gestalten, ad atteggiamenti transferali. In questo caso il suo errore

consisterà nella concezione di base piuttosto che nella strategia procedurale prescelta e i fatti messi in rilievo costituiranno comunque un prezioso contributo alla ricerca psicologica, potendo essere inseriti in una sintesi concettuale di ordine superiore. Come infatti accade in molte altre scienze, anche in psicologia dati ormai acquisiti sono suscettibili di interpretazioni sempre più approfondite, ovvero possono essere utilizzati a un livello preliminare di analisi, anche quando sembrano superati da nuove prospettive di ricerca: si tratta infatti di 'pezzi di sapere' che restano veri e che possono sempre essere integrati in una più ampia visione sintetica. La tendenza in atto in campo scientifico a operare sintesi sempre più estese sulla base della collaborazione fra specialisti di diverse discipline, cioè la tendenza interdisciplinare, indica la strada del futuro sviluppo della psicologia: l'integrazione delle diverse metodologie caratterizzerà sempre più la psicologia come scienza. Tuttavia questo processo di integrazione comincia a svilupparsi soltanto adesso ed è per questo che tuttora molti considerano la psicologia come un insieme di concezioni eterogenee e non le riconoscono quel carattere unitario di corpus disciplinare cui si è soliti attribuire la qualifica di scientifico. D'altra parte, il superamento della posizione deterministica in campo scientifico, la sostituzione del concetto di osservazione con quello, più comprensivo, di interazione e il conseguente ampliamento del concetto stesso di scienza sono fattori che aprono la strada alla possibilità di annoverare ormai la psicologia fra le scienze naturali. La psicologia si può allora definire, in ultima analisi, come la disciplina scientifica che studia ciò che caratterizza e media la soggettività umana, nel suo divenire normale e patologico.

b) Articolazione

Non è mai stato facile descrivere il contenuto della psicologia, a causa della sua complessità. Vi è stato chi ha risolto il problema prendendo in esame, separatamente, le diverse branche della psicologia che si occupano delle più importanti funzioni mentali. Altri hanno preferito seguire l'evoluzione storica della disciplina, analizzando le diverse scuole e i diversi indirizzi di ricerca che si sono succeduti nel tempo. Altri ancora hanno scelto di presentare lo sviluppo della psicologia nei diversi paesi e nelle diverse culture scientifiche. Vi è stato infine chi ha preso lo spunto dall'opera dei grandi pionieri per offrire un quadro articolato del contenuto della disciplina. Tutti i metodi sono validi e tutti presentano dei limiti. Il criterio scelto nella stesura di questo articolo mira a fornire una visione d'insieme della psicologia, a partire da quelle metodologie e dai quei punti di vista che meglio caratterizzano l'attuale ricerca psicologica. Si tratta di diversi modi di studiare la dinamica psichica, attraverso la quale si rende manifesta quella soggettività che, come abbiamo visto, costituisce l'ultimo riferimento delle funzioni mentali. Le metodologie scelte debbono pertanto intendersi come punti di riferimento, strumenti di ricerca, e quindi come modalità operative piuttosto che come modelli interpretativi.

L'indagine sulle manifestazioni della soggettività umana si può condurre attraverso: a) l'osservazione esterna; b) l'introspezione pilotata; c) lo studio delle interazioni sociali; d) la rilevazione genetica e psicopatologica. Ognuna di queste modalità di ricerca costituisce una delle strade maestre della psicologia; a sua volta, ognuna di esse si suddivide in varie procedure specifiche e indipendenti le une dalle altre. A partire dal prossimo capitolo prenderemo in esame le diverse modalità di ricerca elencate con le rispettive suddivisioni.

2. L'osservazione esterna

L'osservazione esterna del comportamento, eseguita con l'ausilio di speciali strumenti di rilevazione, deriva direttamente da quella osservazione ingenua e non scientifica attraverso la quale l'uomo ha sempre cercato di comprendere gli altri uomini e se stesso. Questa modalità di ricerca comprende tre tipi di procedure specifiche, molto diverse l'una dall'altra, benché in qualche modo collegate tra loro: la rilevazione psicofisiologica, l'osservazione comparata e l'esame delle manifestazioni differenziali.

a) Rilevazione psicofisiologica

La psicofisiologia è nata in seguito ai tentativi di esprimere quantitativamente il rapporto fra l'intensità di una sensazione e l'intensità dello stimolo relativo. Questo programma di ricerca, per quanto limitato si possa giudicare, ha avuto un'importanza enorme nello sviluppo della psicologia come scienza.

Sulla scorta delle indicazioni fornite da E. H. Weber, G. Th. Fechner giunse a formulare, nella sua opera *Elemente der Psychophysik*, una legge che lega direttamente l'intensità di una sensazione all'intensità del relativo stimolo; questa legge, nota come 'formula fondamentale' di Weber-Fechner, stabilisce che l'intensità di una sensazione è proporzionale al logaritmo dello stimolo:

$$S=k \log R;$$

S indica la sensazione, k è una costante di proporzionalità e R indica lo stimolo (dal tedesco Reiz).

Fechner chiamò 'psicofisica' la disciplina fondata sulla formula fondamentale; tale disciplina costituì il fondamento storico e concettuale della psicofisiologia moderna. La ricerca delle relazioni intercorrenti fra stimoli e sensazioni implicò infatti la necessità di misurare le 'soglie differenziali', cioè i minimi incrementi percepibili di intensità degli stimoli; da questa esigenza si sviluppò un settore di ricerca ricco di spunti concettuali e metodologici. Fra l'altro l'indagine psicofisiologica comportò l'utilizzazione di teorie e concetti matematici, come, per esempio, il concetto di 'distribuzione normale degli errori' secondo la curva di Gauss.

Chi proseguì sistematicamente su questa linea di ricerca fu W. Wundt, che a ragione è considerato il padre della psicofisiologia, non tanto per l'originalità del suo pensiero, quanto per la prodigiosa attività di ricerca da lui svolta all' Università di Lipsia, dove fondò, nel 1879, il primo laboratorio di psicologia del mondo. Il trattato di Wundt, *Grundzüge der physiologischen Psychologie*, offre un panorama completo delle indagini svolte in campo psicofisiologico, nonché degli strumenti concettuali e materiali introdotti e applicati alle ricerche. Wundt e i suoi collaboratori fecero approfondite indagini sulle soglie iniziali, differenziali e terminali, sui tempi di reazione semplici e complessi, sulla visione, sull'udito, sul tatto, sul gusto, sul senso del tempo, nonché sull'attenzione, sui sentimenti, sulle associazioni, ecc. Partendo dal concetto che la psicologia poteva essere sperimentale solo se era fisiologica, Wundt definì la psicologia come la scienza dell'esperienza immediata (*Erfahrungswissenschaft*) e suddivise l'attività di ricerca in tre momenti: a) la scomposizione in elementi dei processi di cui si è consapevoli; b) la determinazione delle connessioni fra tali elementi; c) la formulazione delle leggi che regolano le connessioni suddette; la principale di queste leggi è quella della 'sintesi creatrice', subordinata alla causalità psichica.

Secondo la concezione di Wundt un fatto psichico corrisponde a un fatto di coscienza, cioè alla consapevolezza immediata, da parte del soggetto, del verificarsi di tale fatto; l'esperienza mediata appartiene invece alla fisica.

L'influenza della Scuola di Lipsia, che restò viva per circa due generazioni, si estese in Nordamerica per merito di E. B. Titchener (v., 1909), che di Wundt fu primo allievo e poi traduttore, e ispirò l'opera di G. T. Ladd (*Elements of psychology*, New York 1887); lo stesso W. James, un altro dei 'padri' della psicologia, nella versione pragmatista americana, subì l'influenza della concezione wundtiana.

b) Comparazione del comportamento

In contrasto col metodo precedente, che aveva fatto riferimento sistematico a parametri fisiologici, il metodo della comparazione del comportamento trovò garanzia di obiettività nello studio del comportamento animale, condotto prescindendo da qualsiasi riferimento mentalistico, in particolare dal concetto di coscienza. In effetti, anche nella ricerca psicofisiologica più rigorosa, non si poteva fare a meno del riscontro introspettivo nel descrivere gli effetti prodotti dagli stimoli; pertanto lo studio del comportamento prese piede anche sulla base di una posizione polemica nei confronti della psicofisiologia.

Il principio ispiratore di questa corrente di pensiero fu formulato da C. L. Morgan nel suo famoso 'canone', secondo il quale "in nessun caso è lecito interpretare una azione come il risultato di un'attività psichica superiore, se essa può essere interpretata come il risultato di una facoltà situata a un livello inferiore nella scala psicologica". Fondamento sperimentale della scuola fu la dimostrata possibilità di studiare tipici fatti psichici, come l'apprendimento e la memoria, senza ricorrere all'introspezione e riferendosi piuttosto con

grande esattezza alla situazione esterna contingente in cui si determina il comportamento. Questa forma di sperimentazione prese l'avvio dagli studi di I. P. Pavlov (v., 1927) sui riflessi incondizionati e condizionati. Come è noto, il concetto di riflesso condizionato deriva dall'osservazione elementare che, nel cane affamato, la secrezione gastrica o salivare si produce non soltanto alla vista del cibo o durante la masticazione, ma anche alla semplice vista del piatto su cui il cibo gli viene abitualmente dato, o in presenza di stimoli di vario tipo che abbiano preceduto regolarmente l'offerta di cibo. Tali stimoli, di per sé neutri, stimolano la secrezione a condizione di essere stati più volte associati allo stimolo incondizionato, il cibo. Attraverso il meccanismo del riflesso condizionato, in un primo tempo chiamato 'riflesso psichico', Pavlov poté studiare, senza ricorrere a interventi distruttivi, il funzionamento cerebrale, cui aveva attribuito la formazione dei riflessi stessi, e poté interpretare, in termini di riflessi condizionati e della relativa organizzazione, tutto il comportamento e anche l'attività nervosa cosiddetta superiore dell'uomo.

Rimasta confinata in Russia fino al 1912, la riflessologia fu fatta conoscere in Francia da un ex allievo di Pavlov, F. Dontchef (v. Dontchef e Deseuze, 1912); solo nel 1927, ad opera di F. Andrep, fu divulgata anche negli Stati Uniti, dove esercitò un potente influsso sulla cultura scientifica. J. B. Watson si servì della tecnica sperimentale fondata sul concetto di riflesso condizionato per costruire una psicologia obiettiva basata unicamente sullo studio del comportamento. Watson perseguiva tale progetto fin dal 1912 e aveva già capito che si poteva sostituire l'indagine basata sull'introspezione con la tecnica dei riflessi condizionati (v. Watson, 1916). Egli fondò la dottrina chiamata behaviorismo (v. Watson, 1919) e si propose di eliminare dal campo della psicologia concetti inutili, come quelli di sensazione, immagine, coscienza, pensiero, per riferirsi esclusivamente a stimoli oggettivamente riscontrabili e a movimenti osservabili; il presupposto di questo programma di ricerca è che gli eventi psichici, come le immagini e gli stessi pensieri, siano dovuti a micromovimenti muscolari, costituiscano cioè un 'comportamento implicito' (v. Watson, 1925). Il behaviorismo finì per diventare la corrente di pensiero che, a un certo punto della storia della cultura, rappresentò il pragmatismo americano nell'ambito della ricerca psicologica.

Nell'ambito del behaviorismo si inserisce anche l'opera di E. L. Thorndike, il quale aveva proposto come legge fondamentale dell'apprendimento quella dell' 'effetto', secondo cui il successo rende stabile l'associazione che lo ha determinato (*Animal intelligence, an experimental study of the associative processes in animals*, in "Psychological review", 1898). Thorndike conduceva i suoi esperimenti servendosi delle cosiddette puzzle-boxes; si trattava di gabbie chiuse provviste di un congegno di apertura che l'animale doveva scoprire e attivare per poter uscire. Le puzzle-boxes furono le precorritrici della gabbia ideata da B. F. Skinner (v., 1938) allo scopo di studiare il riflesso condizionato 'operante' o 'strumentale', complemento di quello 'rispondente' della Scuola russa. La gabbia di Skinner è stato uno degli strumenti più importanti fra quelli impiegati nella vastissima ricerca psicologica comparata fatta negli Stati Uniti. Altri strumenti e tecniche sperimentali sono: i

labirinti (V. S. Small, 1900), l'apparecchio a scelte multiple (R. G. Hamilton, 1911), la tecnica delle risposte differite (W. Hunter, 1913), il labirinto temporale (Hunter, 1920), l'apparecchio a ostruzione (C. J. Warden, 1926), la tecnica del salto (K. S. Lashley, 1930), ecc. (v. psicologia del comportamento).

c) Manifestazioni differenziali

Si può giungere alla comprensione del modo in cui l'uomo è strutturato psicologicamente studiando le differenze comportamentali che intercorrono fra diversi soggetti impegnati a eseguire uno stesso compito. Su questo presupposto si basa il programma di ricerca della psicologia differenziale, di origine anglosassone; a Fr. Galton (*Hereditary genius*, London 1869) va il merito di avere iniziato questo tipo di ricerche, basate su osservazioni sperimentali, adeguatamente inquadrare mediante rigorose leggi statistiche, e sul concetto di 'correlazione'. Queste prime ricerche riguardavano la trasmissione ereditaria (1869) e la personalità criminale (*Inquires into human faculty*, London 1877); i soggetti sperimentali venivano distinti in tipi visivi, acustici e cinetici a seconda delle loro immagini preferenziali. A un nordamericano, J. McKeen Cattell, già primo assistente di Wundt, venne poi l'idea di studiare non il tempo di reazione in sé, come faceva il suo maestro, ma le differenze presentate da vari soggetti sottoposti alla stessa prova. Tornato negli Stati Uniti, McKeen Cattell introdusse il primo esame psicologico per l'ammissione all'Università di Columbia (*Physical and mental measurements of the students of Columbia University*, in "Psychological review", 1896, III, pp. 618-648), dando inizio all'enorme sviluppo dei metodi di misura mentale (psicometria) in America e nel mondo. Contemporaneamente, in Francia, A. Binet, incaricato dal Ministero dell'Istruzione pubblica di ideare un sistema per poter distinguere i ragazzi normali da quelli mentalmente ritardati, in modo da riunire questi ultimi in classi differenziali, escogitò un nuovo metodo basato sul numero di risposte date a una serie di domande ordinate secondo difficoltà progressive. Per fare una 'scala' di misura fondata su questo criterio, Binet, in collaborazione con Th. Simon (v. Binet e Simon, 1905), incominciò a sottoporre la sua lista di domande a ragazzi normali divisi per gruppi in base all'età. Le domande cui veniva data una risposta corretta dal 75% di ogni gruppo diventavano il gradino di difficoltà corrispondente all'età del gruppo, permettendo in tal modo di distinguere i ragazzi normali dai ritardati, da una parte, e dai superdotati, dall'altra. La 'scala' di Binet fu perfezionata da L. M. Terman e M. A. Merrill (v. Terman, 1916; v. Terman e Merrill, 1937); in quest'ultima versione si introdussero la misura del Quoziente Intellettivo (QI), rappresentato dal rapporto tra età mentale ed età reale, secondo il suggerimento di W. Stern; fu questo il primo esempio di test mentale, ancor oggi largamente utilizzato.

Immensa è stata la quantità di ricerche cui questo metodo ha dato origine e numerosi i suoi perfezionamenti. Dopo i test per la misura dell'intelligenza sono stati messi a punto test per la rilevazione degli interessi, per la valutazione del carattere, delle attitudini lavorative, dei sentimenti, degli atteggiamenti sociali e del grado di

adattamento. Nell'ambito della psicomètria si sono poi differenziate branche specifiche; la psicomètria, nel suo complesso, è poi confluita nella 'caratterologia' (o 'tipologia'), disciplina che studia le differenze di carattere, ovvero tipologiche, individuali. Questa corrente della psicologia differenziale mira a raggruppare, sulla base di uno o più aspetti comuni, diversi individui, attraverso l'osservazione delle loro differenze comportamentali; i gruppi che ne derivano non hanno solo valore di classificazione, ma servono anche a prevedere il modo di comportarsi di ciascun individuo.

A questo proposito possiamo ricordare le funzioni caratterologiche stabilite da G. Heymans ed E. Wiersma (v., 1906 e 1907) sulla base di questionari volti a controllare l'emotività, l'attività, la risonanza, e gli otto 'tipi' che derivò da queste funzioni, secondo varie combinazioni, R. Le Senne (v., 1946); la tipologia di C. O. Jung (v., 1925), imperniata sulle polarità opposte di introversione ed estroversione e sulle quattro funzioni psichiche elementari, anch'esse in opposizione, e cioè il pensiero, il sentimento, la sensazione e l'intuizione; quella di E. R. Jaensch (v., 1929), fondata sul diverso modo di reagire alle cosiddette immagini eidetiche; e quella di O. Pfahler (v., 1932), basata sulla coppia antagonista: contenuto mentale fluido - contenuto mentale rigido. Ph. Lersch (v., 1932 e 1938) è assurto alla fama, in questa area della psicologia, per aver trattato molto ampiamente i vari tipi di personalità in un quadro meticolosamente articolato e secondo un orientamento globale che l'autore stesso ha definito 'antropologico'.

Il problema della personalità non è stato trascurato negli Stati Uniti; è sufficiente ricordare due nomi, che rappresentano una grande tradizione scientifica. Il primo autore è G. W. Allport, lo psicologo della Harvard University cui si deve l'introduzione, nello studio della personalità, del criterio 'idiografico' accanto a quello 'nomotetico'; mentre quest'ultimo criterio caratterizza gli indirizzi sopra ricordati, il primo studia invece l'individualità nel modo in cui si è venuta costituendo lungo l'evoluzione del soggetto, e quindi ha un interesse prevalentemente clinico (v. Allport, 1937). Il secondo autore è W. H. Sheldon, anch'egli della Harvard University, che ha compiuto estese e sistematiche osservazioni sugli allievi di quel centro universitario, ponendo in correlazione i dati antropometrici, ottenuti mediante una speciale tecnica di misura, con i risultati dell'applicazione di 60 tratti di carattere, ricavati da questionari. In tal modo Sheldon ha potuto dimostrare la corrispondenza fra tre tipi somatici, l'endomorfo, il mesomorfo e l'ectomorfo, e tre tipi psicologici, il viscerotonico, il somatotonico e il cerebrotonico, rispettivamente (v. Sheldon, 1942).

3. L'introspezione pilotata

Wundt aveva stabilito il principio secondo cui la psicologia riguarda lo studio dei fatti dei quali si ha diretta esperienza; non ci si deve quindi meravigliare se molti ricercatori hanno pensato di ricorrere all'introspezione per condurre l'indagine psicologica. Vero è che un tale indirizzo speculativo aveva dei precedenti nella

cosiddetta psicologia razionale, come fu definita la psicologia elaborata dai filosofi, e altrettanto vero è che la psicologia scientifica sorse come una reazione alla vaghezza e all'inutilizzabilità dei risultati ottenuti tramite l'introspezione. Tuttavia il fallimento della psicologia introspettiva può essere attribuito non alla scarsa validità del metodo in sé, ma al fatto che chi lo aveva usato non era preparato a farlo in modo scientifico e subordinava il metodo stesso e i risultati cui perveniva a una finalità ideologica estranea alla scienza, antepo- nendo il quadro esplicativo al fatto sperimentale; così non si poteva giungere ad altro che a uno 'psicologismo', a una easy-chair psychology incapace di fornire risultati attendibili. In realtà, quando il pensatore aveva dimostrato di possedere indipendenza di giudizio e sufficiente distacco da un'ideologia precon- cetta, ciò che si era ottenuto con l'introspezione era stato del più alto interesse scientifico: le descrizioni fenomenologiche di Agostino di Ippona e quelle di Tommaso d'Aquino sono una testimonianza irrefutabile di tale possibilità e trovano diretto riscontro in quelle più recenti di H.-L. Bergson e di M. Merleau-Ponty.

Allo scopo di dare carattere di scientificità all'introspezione, permettendo la comunicabilità dei risultati ottenuti, era pertanto necessario raffinare il metodo, in modo da renderlo oggettivo.

Questo proposito ha ispirato i vari modi in cui l'introspezione è stata utilizzata in psicologia, secondo tre diverse prospettive: a) lo studio dei contenuti mentali; b) lo studio delle funzioni interiori; c) lo studio dell'organizzazione interna.

a) I contenuti mentali

La scuola che per prima si propose l'adozione sistematica dell'introspezione scientifica fu quella di Würzburg, diretta da O. Külpe. Questi formulò il suo programma di ricerca in completo antagonismo rispetto a quello di Wundt, del quale, fino al 1894, era stato allievo; quindi bandì dalla propria ricerca qualsiasi strumento di rilevazione dei dati (Grundriss der Psychologie, Leipzig 1893). H. Ebbinghaus aveva già dimostrato, lavorando autonomamente, la possibilità di applicazione e la fecondità del metodo introspettivo nel suo studio sulla memoria, (Über das Gedächtnis, Leipzig 1885), rimasto esemplare nella psicologia. Ebbinghaus aveva individuato il numero di ripetizioni necessarie per apprendere liste di sillabe prive di significato, per ricordarle, per memorizzarle di nuovo dopo un certo tempo dal primo apprendimento. Con queste ricerche Ebbinghaus aveva chiarito importanti problemi di psicologia, in modo scientifico e prescindendo da qualsiasi riferimento a fattori sensoriali.

Diventato professore ordinario di psicologia a Würzburg, Külpe intraprese, con i suoi collaboratori, lo studio del pensiero, del giudizio, della volontà, della coscienza e dei sentimenti: tutti problemi che Wundt si era dichiarato incompetente a risolvere con i metodi della psicofisiologia e che in realtà aveva affrontato indirettamente, quando nell'ultima parte della sua vita si era dedicato allo studio della 'psicologia dei popoli' (v. Wundt, 1911-1920). A Würzburg il metodo d'indagine si riduceva alla descrizione dei processi

mentali studiati, stimolati dall'istruzione data ai soggetti sperimentali, descrizione estremamente dettagliata, in base all'assunto che in tal modo si sarebbe ottenuto il massimo grado di oggettività dei risultati. Gli elementi di ogni processo psichico su cui doveva successivamente concentrarsi in modo esclusivo l'attenzione erano: il periodo preparatorio, il momento di comparsa della stimolazione, il periodo di ricerca secondo l'istruzione, l'insorgenza della risposta.

La Scuola di Würzburg non riuscì a ottenere risultati convincenti a proposito dei contenuti mentali; tuttavia proprio da questo fallimento emersero risultati imprevisti: per esempio, il compito di giudicare se un peso è maggiore o minore di un altro non provoca un'immediata risposta diretta ma, semplicemente, un 'atteggiamento di consapevolezza' (Bewusstseinanlage) del processo mentale in via di svolgimento (K. Marbe). L'analisi dei sentimenti (J. Orth) conduce analogamente a mettere in evidenza un'attitudine conscia (Bewusstheit), che rimane tuttavia oscura, irraggiungibile, inanalizzabile; quella del pensiero (H. J. Watt) rivela una 'predisposizione ad agire' (Einstellung) tipicamente priva di immagini; quella della volontà (N. Ach) evidenzia la 'tendenza determinante' (determinierende Tendenz). Dall'analisi della coscienza risultò evidente che non si tratta di un 'contenitore' quanto di una funzione mentale, ovvero di un 'atto' mentale. In sostanza le ricerche della Scuola chiarirono il fatto che i processi mentali superiori non corrispondono ad alcun contenuto, quindi sono inaccessibili mediante un'analisi introspettiva; in particolare si precisò che il pensiero può essere privo di immagini, le quali insorgono, piuttosto, quando un'interferenza ne disturba il corso. In ciascuno dei processi mentali è presente invece una tendenza, un orientamento attivo, di cui l'introspezione non è in grado di precisare né la natura né lo sviluppo; al massimo, attraverso l'introspezione, ci si può rendere conto dell'importanza decisiva che riveste il compito (Aufgabe) assegnato al soggetto e dell'orientamento mentale (Einstellung) che tale compito induce.

Di questo tipo di psicologia introspettiva tratta l'opera di Galton, *Inquires into human faculty and its development*, in cui sono descritti numerosi esperimenti di analisi dei modi di associare e di immaginare rilevati in soggetti diversi. Galton aveva fatto uso del metodo delle libere associazioni sui contenuti mentali; tuttavia anch'egli, come Külpe e i suoi discepoli, non conseguì risultati di rilievo. Nel corso delle associazioni, infatti, si verificava invariabilmente un fenomeno che Galton non fu in grado di spiegare: la catena associativa a un certo punto si arrestava, come di fronte a un ostacolo insuperabile, e chi tentava di procedere era preso da ansia, paura, disgusto, noia. I tempi non erano evidentemente maturi per suggerire a Galton tutto quel mondo nuovo di fatti psichici che gli stessi dati avrebbero più tardi rivelato a Freud.

b) Le funzioni interiori

La modalità d'indagine esperita dalla Scuola di Würzburg si era imprevedibilmente conclusa con la scoperta delle 'funzioni mentali', cioè di un'attività spontanea del soggetto che non era stata ancora esaminata. Allo

studio delle funzioni mentali arrecò un importante contributo Fr. Brentano (*Psychologie vom empirischen Standpunkt*, Wien 1874), che, benché fosse un filosofo, influì considerevolmente sulla psicologia. A questo autore si deve la dottrina dell' 'intenzionalità' degli atti psichici, attinta alla Scolastica, che parte da una contestazione della 'psicologia dei contenuti' sottolineando che questi non hanno, di per sè, quella 'esistenza intenzionale', cioè quella orientazione a un fine, che è invece caratteristica ineliminabile dei fatti psichici; non il colore o l'oggetto desiderato sono in se stessi 'psichici' ma l'atto con cui si percepisce il primo, si vuole il secondo. In tal modo fu possibile distinguere il contenuto mentale (fenomeno) dalla funzione che lo riguarda (atto) e chiarire che l'atto resta identico anche se il contenuto cambia, e viceversa (v. Stumpf, 1906).

Nella stessa prospettiva dinamica si colloca il cosiddetto funzionalismo anglosassone, definibile come 'la psicologia nella prospettiva dell'azione', i cui maggiori esponenti furono W. James e W. McDougall. Il primo fondò alla Harvard University un laboratorio che divenne più famoso di quello di Wundt e scrisse quei *Principles of psychology* (1890) che sono ancor oggi in più parti insuperati. James, contro la psicologia germanica che egli accusò di "polverizzare l'unità del vivente in atomi che si ordinano e si riordinano come pezzi di un domino", si batté per la continuità, la mobilità, la fluidità della coscienza. James assimilò la coscienza a un fiume, provvisto di una parte centrale e di frange laterali, che collega e unifica tutti i fatti psichici. Egli affermò che l'esperienza psichica dell'Io è primaria, immediata, si compie nella transizione e nel cambiamento; gli 'stati transitivi', che nel linguaggio naturale si esprimono con verbi, corrispondono a funzioni di coscienza; i contenuti sono invece 'stati sostantivi', sono espressi da nomi e non dicono niente sul fine proprio dell'uomo, che è quello di adattarsi all'ambiente esterno, nonché di modificare la realtà mediante la volontà.

James attribuì, di conseguenza, grande importanza all'azione, fece di essa la misura del valore dell'uomo, inteso, secondo i canoni del pragmatismo, come rendimento pratico. Su questo presupposto si può capire la 'teoria periferica' delle emozioni formulata da James; l'emozione è la percezione di una modificazione di natura sensoriale, cenestesica, propriocettiva prodotta dall'ambiente esterno. Di qui il noto paradosso: "non piangiamo perché siamo tristi, ma siamo tristi perché piangiamo". Oltre che allo studio dell'emozione, James diede importanti contributi a quello della memoria e degli istinti, inquadrati in una prospettiva evoluzionista, e fornì un'interpretazione delle verità necessarie imposte dalla natura biologica, e della religione.

Il programma della ricerca in psicologia era così chiaramente impostato: essa non doveva più interessarsi di 'ciò che è' un fatto psichico, ma di 'ciò per cui è', con la sostituzione dell'interesse funzionale a quello strutturale. Anche la psicologia differenziale si era posta, come si è visto, questo programma; ma nei funzionalisti era conservato l'interesse per la dinamica psichica interiore, rimasta invece trascurata o quanto meno sfumata nella corrente di psicologia differenziale.

McDougall è l'autore che ha portato fino alle estreme conseguenze il discorso funzionalista, imperniato sull'importanza attribuita all'attività psichica; egli coniò un nuovo termine per specificare il suo modo di intendere la psicologia: chiamò psicologia 'ormica', da hormè, impulso, la sua dottrina. Secondo questo autore scopo della psicologia è lo studio degli impulsi che spingono l'organismo a perseguire determinati fini; nell'agire umano queste spinte sono più importanti delle decisioni prese a livello di coscienza ed è a partire da tali spinte che le altre motivazioni si differenziano e si organizzano. I caratteri distintivi della condotta finalizzata sono i seguenti: a) la spontaneità motoria; b) la persistenza dell'attività al di là della spinta determinata dalla causa iniziale; c) la variabilità dei mezzi per raggiungere il fine; d) il fatto stesso di raggiungere una conclusione.

McDougall (v., 1908) ha anche proposto una lista degli 'impulsi umani fondamentali', definendoli come processi emotivi interposti fra la ritenzione di alcune delle innumerevoli eccitazioni che pervengono all'organismo e l'esecuzione dei movimenti specifici per raggiungere un fine. Così gli impulsi partecipano sia della natura delle emozioni sia di quella degli istinti e questo fatto conferisce loro un carattere di modificabilità in funzione dell'esperienza, da una parte, e, dall'altra, un carattere di permanenza. Sulla base degli impulsi fondamentali si formano i sentimenti, che a loro volta generano interessi e legami che si attuano sul piano sociale.

Anche McDougall ha pertanto trattato del comportamento, tuttavia ha affrontato l'argomento in modo del tutto diverso rispetto a Watson; fra i due intercorse infatti un'aspra polemica: per distinguere il proprio oggetto di studio da quello di Watson, McDougall impiegò il termine behaviour, mentre Watson parlava di behavior; Watson accusò McDougall di 'oscurantismo medievale', intuendo la risonanza, nella psicologia ormica, della concezione scolastica rappresentata dal pensiero di Brentano, per molti versi vicino a quello di McDougall.

c) L'organizzazione interna

In questo paragrafo tratteremo di quella corrente di pensiero che va sotto il nome di Gestaltpsychologie o di 'psicologia della forma'. A prima vista sembrerebbe improprio porre la psicologia della forma nell'ambito della psicologia introspettiva, tuttavia questa collocazione si può giustificare in base al fatto che i gestaltisti hanno unanimemente e sempre sostenuto che l'unico modo di compiere un'indagine sperimentale valida in psicologia è quello di porsi in condizioni di 'ingenuità' di fronte al fatto psichico, di coglierlo nella fenomenicità con cui si presenta, senza deformato con atteggiamenti preconcepiuti. La Gestaltpsychologie sorse come movimento culturale in aperto contrasto con le scuole di Wundt e di Külpe; d'altra parte la posizione dei gestaltisti era polemica nei confronti di ogni assunto elementaristico, sensistico o associazionistico, cui essi contrapponevano il principio della totalità primordiale.

M. Wertheimer, W. Köhler e K. Koffka sono i tre fondatori della scuola della forma; essi sostennero che, se in psicologia l'analisi del dato introspettivo è inevitabile, deve però essere compiuta senza distruggere l'unità originaria del dato stesso, perché il tutto non è riducibile alla somma delle parti; gli elementi di coscienza sono solo il frutto secondario di un'analisi successiva all'apprensione del tutto. L'introspezione non deve pertanto raggiungere gli elementi sensoriali né gli atti mentali, ma semplicemente gli 'oggetti'; essi assumono un significato che non dipende da una sovrapposizione conoscitiva, ma dal modo in cui si svolge l'esperienza, cioè dalla capacità di cogliere in una struttura le relazioni fra gli oggetti.

Si suole far risalire la nascita della Gestaltpsychologie al 1912, anno in cui Wertheimer pubblicò il resoconto di esperimenti sul 'movimento apparente' che aveva compiuto nei due anni precedenti con Köhler e Koffka (v. Wertheimer, 1912). L'esperimento con cui si dimostra che un'autentica percezione di movimento può originare da stimoli luminosi stazionari, si svolge come segue: A e B sono due segmenti luminosi proiettati in parallelo a qualche centimetro di distanza l'uno dall'altro e a differenti intervalli di tempo. Il tipo di percezione dei due segmenti dipende dall'intervallo di tempo intercorrente fra le successive proiezioni: per un intervallo piuttosto lungo si vedono apparire due linee in successione; se l'intervallo si fa più breve si vede un solo segmento luminoso spostarsi dalla posizione A alla posizione B e viceversa; una riduzione ulteriore dell'intervallo di tempo produce la percezione di un movimento che inizia da A e da B simultaneamente e per un intervallo di tempo ottimale si ha la percezione di un movimento continuo dall'una all'altra posizione: il phenomenal movement o fenomeno phi.

Wertheimer definì il movimento come 'emergenza' da due elementi statici, cioè come la comparsa di una struttura sovraordinata rispetto alle componenti di base, cui non è riducibile. In questo senso la struttura è qualcosa di più della somma delle parti che la compongono. L'esperienza del movimento si struttura senza bisogno di intermediari fisiologici, di moti oculari; infatti quando i due segmenti si muovono l'uno verso l'altro gli occhi non potrebbero muoversi contemporaneamente in due direzioni opposte; questa esperienza è quindi primaria e la stessa cosa si può dire per quel che riguarda la percezione delle forme, che, anche se risultano poi composite, vengono colte nella loro globalità, prima dei particolari che le compongono.

Koffka mise bene in evidenza l'inadeguatezza di ogni interpretazione percettiva basata sulle proprietà fisiche degli stimoli, cioè sulla 'corrispondenza punto a punto'; e per spiegare la correttezza delle percezioni in termini di organizzazione di forma stabili che "le stesse leggi fisiche debbono governare sia l'organizzazione degli oggetti che quella del campo percettivo" (v. Koffka, 1935).

Quali fattori determinano la 'forma'? Wertheimer ne ha descritti parecchi, che si possono così sintetizzare: macchie disperse senza ordine su uno sfondo tendono a raggrupparsi secondo la vicinanza e, se di forma diversa, secondo la somiglianza; sono pure raggruppate se animate da un moto comune; se una figura ha contorni interrotti è vista integra; si ha anche la tendenza a ridurre le irregolarità di una forma, ad accentuare

una forma nei riguardi dello sfondo oppure in riferimento a una forma contigua. Il materiale sensoriale è dunque sempre lo stesso, ma lo strutturarsi della percezione di una forma è qualcosa di nuovo, di emergente, condizionato dalla situazione psicofisica totale, cioè dal 'campo'. Questo concetto implica quello di 'tutto dinamico', del quale non è possibile modificare una parte senza la conseguente modificazione del tutto medesimo, e viceversa (v. psicologia della forma).

Le leggi della configurazione riguardano infine non solo la realtà psichica, ma anche quella fisica, inorganica e organica; ecco perché Kbhöler (v., 1920) ha sostenuto che i fenomeni percettivi hanno un corrispettivo nella dinamica cerebrale, che è analoga a quella fisica, e che le Gestalten possono intendersi tanto come oggetti reali, aventi una figura percettibile, quanto come forme percepite (principio dell'isomorfismo). A sua volta Koffka (v., 1921) ha sostenuto l'ipotesi di un'evoluzione nel costituirsi delle percezioni, nel senso che l'esperienza passata e anche quella attuale arricchiscono e trasformano continuamente la percezione, permettendo lo stabilirsi di nuove relazioni, quindi di nuovi significati, fra i vari oggetti delimitati dal rispettivo contorno e presenti nel campo.

I gestaltisti hanno poi esteso e applicato agli stati d'animo, alla memorizzazione, al pensiero, alle motivazioni, al comportamento degli animali e all'interazione sociale le loro teorie sulla percezione. Anche per tali funzioni vale secondo loro il principio dell'isomorfismo.

4. Lo studio delle interazioni sociali

Questo campo di ricerca psicologica è relativamente nuovo; esso si è sviluppato da alcune delle direttive di ricerca sopra presentate e dalla consapevolezza dei limiti inerenti ad altre concezioni metodologiche.

Nella rilevazione psicofisiologica e nell'analisi dei contenuti mentali, il sociale, infatti, non compariva mai; ciò rappresenta, secondo le attuali vedute, il maggior difetto di tali metodologie, dato che un soggetto umano, isolato dal contesto sociale e studiato in un laboratorio, cioè in un ambiente del tutto artificiale, non si può più nemmeno considerare un soggetto umano.

Già nell'osservazione comparata del comportamento era evidente, d'altra parte, l'importanza che l'ambiente circostante assume per l'individuo; le manifestazioni differenziali conducevano anch'esse, attraverso l'applicazione del test di adattamento e tramite il concetto di personalità, alla prospettiva sociale; ancor più, lo studio delle funzioni psichiche, nell'ambito sia della concezione pragmatista di James sia di quella pulsionale di McDougall, preludeva alle ricerche sulla dinamica sociale, e non è sorprendente che la psicologia ormica di quest'ultimo autore sia stata presentata proprio in uno dei primi volumi di psicologia sociale. La Gestaltpsychologie, infine, sfociò direttamente nel sociale ad opera di K. Lewin, che allargò il concetto di 'campo dinamico' all'ambiente in quanto contenente uno o più individui. Per questo autore il campo è infatti

“lo spazio vitale che contiene la persona e il suo ambiente psicologico” e in esso sono presenti, come all'interno del campo mentale, forze di attrazione e di repulsione per oggetti rispettivamente appetibili e sgradevoli, locomozioni verso e via da tali oggetti, barriere e resistenze, soddisfazioni e frustrazioni (v. Lewin, 1936). Infatti, secondo Lewin, l'individuo in campo sociale si trova nella stessa situazione in cui si trova l'Io in campo psichico: “ambedue costituiscono, rispettivamente al proprio livello, una regione della situazione globale”.

Questi concetti, espressi da notazioni e riferimenti matematici, fondarono quella 'topologia', da intendersi come la formalizzazione matematica dello spazio sociale, e quella analisi vettoriale, pertinente alle motivazioni sociali, che hanno conferito alto livello di scientificità alla psicologia sociale.

La prospettiva della Gestalt divenne il modello più preciso per la comprensione psicologica dei fatti sociali; tuttavia, poiché nel 'campo' i poli sono due, l'individuo e l'ambiente, e ambedue concepiti con lo stesso grado di dignità funzionale, alcuni gestaltisti, nello studio della dinamica sociale, hanno posto l'accento sull'ambiente, altri invece sull'individuo. Questi due orientamenti hanno di fatto caratterizzato il contenuto della psicologia sociale, e a essi si possono ricondurre paradigmaticamente le elaborazioni fatte anche da psicologi appartenenti ad altre scuole, a proposito dell'interazione sociale. Si possono pertanto distinguere due prospettive in questo campo: quella incentrata sul gruppo e quella incentrata sull'individuo.

a) La prospettiva incentrata sul gruppo

Le indagini sull'interazione sociale che pongono l'accento sul gruppo, piuttosto che sull'individuo, costituiscono una corrente di pensiero che traspone sul terreno psicologico le concezioni sociologiche del XIX secolo. Tali concezioni erano fondate sull'ipotesi comune di una 'mente collettiva', basata, per G. Tarde, sulla reciproca imitazione (*Les lois de l'imitation*, Paris 1890) e sull'opposizione (*L'opposition universelle*, Paris 1897), per G. Le Bon sulla regressione emotiva (*La psychologie des foules*, Paris 1895) e per E. Durkheim (*Le suicide*, Paris 1897) sulla coscienza collettiva. Nel campo strettamente psicologico si possono qui ricordare: E. A. Ross (v., 1908), che interpretò i fatti sociali secondo la prospettiva di Tarde, nella dinamica della suggestionabilità, della moda, dell'imitazione, dell'opinione pubblica e del conflitto; C. H. Cooley (v., 1909), che sottolineò l'influenza sullo sviluppo infantile dell'ambiente sociale e in particolar modo della classe di appartenenza; è di questo autore il concetto di *looking-glass self*, secondo cui l'idea che un soggetto si fa di se stesso dipende unicamente dal modo in cui gli altri lo trattano. Anche L. L. Bernard (v., 1924) seguì un orientamento sociologico, combattendo l'ipotesi che l'istinto determinasse i motivi dell'attività umana; per Bernard, infatti, gli istinti possono determinare il comportamento animale, non quello umano che implica l'esistenza di fattori più complessi della causalità biologica istintuale. M. Sherif (v., 1935) infine si assunse il compito di dimostrare sperimentalmente la modificazione profonda che i processi psichici elementari

subiscono per effetto dell'interazione sociale. Sherif scelse a questo fine un particolare fenomeno, il cosiddetto movimento autocinetico, che si può illustrare come segue: se si fissa, in una stanza completamente buia, un punto luminoso di debole intensità proiettato su una parete, dopo circa dieci secondi si ha l'impressione che il punto si muova lentamente, anche se resta effettivamente fermo. Ora, la valutazione individuale dell'ampiezza del movimento appare fortemente subordinata all'interazione di gruppo; se infatti a ogni esperimento si domanda a soggetti isolati di quanto si è mosso il punto, si hanno valutazioni diverse da individuo a individuo. Ma quando i soggetti vengono messi in gruppo e sono invitati a esprimere i loro giudizi ad alta voce, si ha una sorprendente convergenza delle valutazioni che tendono a uniformarsi. Da ciò Sherif dedusse il principio che le 'norme individuali' si trasformano nel gruppo in 'norme sociali' e che la verità è relativa al gruppo più che al singolo; egli pose questi risultati sperimentali alla base della sua concezione di psicologia sociale (v. Sherif, 1936). In tal modo Sherif si metteva in completo allineamento con il pensiero di Lewin, per il quale l'individuo da solo non ha alcun valore, ma lo acquista in quanto diventa membro di un gruppo. Coerentemente con i principi gestaltistici, infatti, individuo e ambiente sono i due poli di un campo di forze e le linee del comportamento individuale si dispongono secondo la risultante delle forze presenti, così come le linee di forza di un campo elettromagnetico si dispongono intorno ai due poli che lo generano. Su questa base Lewin è giunto a formulare l'equazione $R=f(P \times E)$, secondo la quale il comportamento (B) è una funzione (f) della persona (P) e dell'ambiente (E). Valgono naturalmente anche le relazioni inverse; in particolare, considerando la persona come variabile indipendente, si ha che "lo stato di una persona dipende dal suo ambiente" (v. Lewin, 1951). Degli studi di Lewin sono rimasti famosi quello sulle 'atmosfera di gruppo' e quello sulle 'motivazioni di gruppo'; nel primo, insieme con R. Lippitt, egli si propose lo studio dell'influenza di tre climi sociali sperimentalmente prodotti, chiamati rispettivamente 'autoritario', 'democratico', 'anarchico', sul comportamento aggressivo e sulla produttività di gruppi di bambini di 11 anni (v. Lewin e Lippitt, 1938). Risultò da questa indagine che il clima 'autoritario' paralizza l'iniziativa e l'energia dei membri del gruppo: in questa condizione si sviluppa in essi una forte aggressività e quando poi il leader si allontana, il gruppo si disintegra rapidamente per mancanza di forza interna. Il clima 'democratico' tende invece a far scomparire l'aggressività ed eleva al massimo la produttività collettiva e il benessere psichico dei membri del gruppo; all'allontanamento del leader il gruppo resta coeso e continua a svolgere le sue funzioni. Il gruppo 'anarchico' non funziona. Il secondo lavoro di Lewin rimasto celebre tratta della 'decisione di gruppo' ed è stato condotto durante la guerra; bisognava indurre le massaie nordamericane a fare uso di carni che abitualmente non vengono consumate, in modo da far fronte alla contingente carenza di cibo. Lewin confrontò l'efficacia di tecniche di persuasione convenzionali, come le conferenze propagandistiche, con una nuova tecnica consistente nel promuovere una discussione sull'argomento, seguita da una decisione collettiva finale. Risultò che soltanto il 3% delle massaie che avevano ascoltato le conferenze aveva seguito il consiglio, mentre ben il

32% di quelle coinvolte nella decisione di gruppo lo aveva fatto. Questa ricerca diventò esemplare e paradigmatica degli interventi di 'bonifica sociale' sviluppatasi in quest'area della psicologia (v. Lewin, 1948).

b) La prospettiva incentrata sull' individuo

Iniziatore della corrente di psicologia sociale che pone l'accento sull'individuo si considera McDougall, che, come si è già avuto modo di rilevare, trattò degli istinti intesi secondo la prospettiva ormica, ponendoli alla base delle istituzioni sociali. Questo autore si interessò infatti primariamente degli aspetti individuali dell'adattamento sociale, collegandosi direttamente ad altri due psicologi nordamericani: G. W. Allport e J. R. Cantor.

Allport (v., 1924) respinse decisamente il concetto di 'mente collettiva' o di gruppo, sostenendo che il comportamento individuale si spiega con la presenza di un sistema nervoso mentre il gruppo non possiede niente del genere. I comportamenti collettivi si possono pertanto spiegare adeguatamente, secondo Allport, in termini di reazioni di un soggetto nei confronti degli altri, in base all'integrazione di tali reazioni nella coscienza e alla presenza di reazioni inconscie. La sistematicità che si osserva nei comportamenti deriva poi dal fatto che, a causa delle esperienze e delle scelte compiute, si organizza uno stato preparatorio, neurale e muscolare, che è durevole, facilita il passaggio all'azione e si concretizza nell'atteggiamento (attitude), variabile di schietta impronta sociale.

Anche R. H. Thouless (v., 1925) interpretò la dinamica sociale in termini personalistici, secondo la teoria degli istinti di McDougall, e con lui si possono ricordare B. C. Ewer (1929), Ch. Murchison (1929) e K. Young (1930), tutti autori di opere di psicologia sociale. Di fronte a queste interpretazioni del comportamento collettivo, in realtà limitate e riduzioniste, si manifesta, come è stato già accennato più sopra, la ricchezza e la fecondità della concezione gestaltista, introdotta da Wertheimer e sviluppata in seguito da S. Asch.

Wertheimer (v., 1935) partì dall'assunto che l'individuo e il gruppo non sono due realtà inconciliabili, in quanto sia l'uno sia l'altro sono elementi indispensabili del processo sociale. Quindi, come Lewin, Wertheimer ha visto i rapporti fra individuo e gruppo come una forma particolare di relazione della parte col tutto. Ma per questo autore, se è vero che gli individui sono parte del gruppo e che fra di essi intercorrono forze la cui forma conferisce un carattere all'insieme, anche l'individuo è già in se stesso una unità organizzata, dotata di sue caratteristiche originarie. In ciò Wertheimer ha visto la via per giungere a una definizione del gruppo senza accentuare il valore della società, da un lato, e dall'altro, senza dare peso eccessivo alle modificazioni che l'individuo può portare alla società.

Asch, allievo di Wertheimer, ha esplicitato il pensiero del maestro elaborandolo nella prospettiva dell'interazione umana, vista come la condizione primaria del comportamento sociale. Egli ha innanzitutto sottolineato che, per raggiungere il loro posto nella società, gli uomini debbono riconoscere gli uni l'esistenza

degli altri e sviluppare un certo grado di comprensione dei rispettivi bisogni, emozioni, pensieri (v. Asch, 1952). Lo studio della comprensione reciproca fra le persone è la base per la comprensione delle azioni umane; per Asch si risponde in modo specificamente qualitativo alle azioni altrui perché si risponde alla loro 'forma', dotata di un suo intrinseco carattere. Le azioni umane, al pari di una melodia, hanno pertanto delle caratteristiche 'qualità formali' che ne rendono possibile la percezione e la conoscenza; non sarebbero percepite se si vedessero soltanto come una successione di movimenti, così come da singole note non si potrebbe riconoscere un motivo musicale, un'armonia. Vi è inoltre corrispondenza fra esperienza soggettiva e azione, per cui nel seguire le azioni degli altri, nel prendervi parte, si vengono a conoscere le loro motivazioni, secondo il principio dell'isomorfismo che è fondamentale nella teoria della Gestalt; il significato dell'azione di un soggetto A, delle sue condizioni emotive, si comunica dunque direttamente a un soggetto B e diventa parte del suo campo psicologico. Di conseguenza, gli atti di due soggetti in interazione si compenetrano, si regolano a vicenda e ciascuno dei due vede in tali atti la partecipazione di entrambi; la capacità di percepire una situazione che include se stessi e gli altri, e di percepire gli altri come soggetti riferentisi alla stessa situazione, costituisce il requisito fondamentale per la formazione del 'campo sociale'. Questo processo richiede d'altra parte che ciascuno dei partecipanti all'interazione mantenga il proprio punto di vista e affermi la propria individualità. A fondamento della comprensione sociale sta dunque l'interazione dei campi psicologici e il gruppo deve considerarsi come un insieme di campi mutuamente interagenti, in cui ogni membro ha una rappresentazione mentale che include se stesso, gli altri, le reciproche azioni. Tale sistema non risiede nei soggetti presi singolarmente, nè risiede fuori di essi: è presente nelle interazioni fra gli individui. Il gruppo ha perciò la sua fondazione negli individui che lo compongono, ma si tratta di soggetti che interagiscono gli uni con gli altri. In quanto rapportato agli altri, e non come soggetto isolato, l'individuo è quindi per Asch la sede dei fatti sociali. Come si vede, questa impostazione concettualizza il gruppo come il prodotto e allo stesso tempo come il presupposto degli individui che lo compongono, partendo dallo stesso modello teorico, quello della Gestalt, che aveva condotto Lewin e la sua scuola a concepire il gruppo come una realtà astratta, indipendente dall'individuo. Strettamente subordinato a questa prospettiva è un principio di natura operativa, politica: mentre la scuola di dinamica di gruppo di Lewin afferma che chi devia dalle idee del gruppo di appartenenza ha sempre torto, per la scuola di Wertheimer e di Asch non si può parlare di deviazione, ma di indipendenza dal gruppo; anzi di fronte a un dissenziente il gruppo ha il dovere di riesaminare le proprie norme di azione ed eventualmente di correggerle.

5. La dimensione genetica

La conoscenza della genesi di una struttura, di un processo psichico, può essere di impareggiabile importanza per comprendere quella struttura, quel processo e non solo perché anche in questo caso si può applicare il canone di Morgan, già ricordato, riuscendo a comprendere il più complesso attraverso l'articolazione del più semplice, ma anche perché nella dimensione genetica occorre considerare, oltre che il divenire normale, anche l'evoluzione verso il patologico: la patogenesi accanto alla normogenesi.

In questa prospettiva la psicologia ha raccolto i suoi frutti studiando il processo evolutivo che va dalla nascita all'età adulta e analizzando le deviazioni e la processualità psicopatologiche.

a) L'evoluzione psichica normale

Lo studio della maturazione progressiva della mente consente di cogliere l'essenza dei processi psichici; i primi a intraprendere questo tipo di indagine sono stati A. Binet in Francia e W. Stern in Germania.

Binet, interessato agli aspetti psicologici comparati, si era dedicato all'osservazione sistematica delle figlie, Armanda e Margherita, ed era giunto autonomamente alle stesse conclusioni della Scuola di Würzburg, cioè a postulare l'esistenza di un 'pensiero senza immagini' (v. Binet, 1903). Stern, esaminando anch'egli l'evoluzione dei suoi figli, si era reso conto di un fatto psichico fondamentale, cioè della convergenza dei tratti del carattere in formazione con la totalità delle influenze ambientali (v. Stern, 1900). Da tale convergenza o sinergia egli aveva dedotto il principio dell'unità dei fatti osservabili nell'individuo in sviluppo, la *unitas multiplex* della personalità d'insieme, ed era diventato così l'iniziatore della psicologia 'personalistica' (v. Stern, 1935), nonché il promotore dello studio sistematico della psicologia infantile. Anche K. Buhler (v., 1930) aveva perseguito lo studio dello sviluppo psichico, attraverso l'esame dell'attività cognitiva, del linguaggio, del gioco e del disegno.

All'attività di questi pionieri ha fatto seguito la sistematica ricerca compiuta da H. Wallon a Parigi, da A. Gesell negli Stati Uniti e soprattutto dagli allievi di Binet, É. Claparède, fondatore a Ginevra dell'Istituto Jean Jacques Rousseau per lo studio della psicologia infantile, e J. Piaget, suo successore alla direzione di questo Istituto e alla cattedra di Ginevra.

Wallon ha messo in evidenza l'importanza che hanno i rapporti dell'organismo umano in evoluzione con l'ambiente che lo circonda, e in modo speciale con gli influssi sociali; tali rapporti influiscono sull'intera personalità del bambino, quindi, oltre a interessare le capacità intellettive e l'apprendimento, condizionano anche l'evoluzione delle emozioni e l'affettività (v. Wallon, 1941). Gesell, attestato su posizioni behavioristiche, ha introdotto metodi obiettivi di osservazione, seriatamente alle varie età, dello sviluppo motorio, dell'adattamento verbale, personale e sociale. Egli si è avvalso della tecnica cinematografica per documentare le sue osservazioni, la cui sistematicità ha reso possibile la definizione di 'normalità comportamentale' per ogni livello di età (v. Gesell, 1948).

La Scuola di Ginevra ha il merito di aver portato più avanti di ogni altra la sperimentazione nel campo della psicologia genetica, ad opera soprattutto di Piaget. Questo autore si è proposto il compito di scoprire il rapporto esistente tra la maturazione delle strutture nervose e diversi 'stadi' di sviluppo psichico, osservando, sulla base di un'accuratissima metodologia clinica, le attività dei bambini, a cominciare da quelle dei propri figli (v. psicologia genetica).

In un primo periodo, iniziato nel 1933, Piaget dimostrò che l'intelligenza dell'adulto, con le leggi che le sono proprie, si può considerare come l'ultimo stadio di un'evoluzione iniziata con gli schemi dell'attività muscolare, i quali gradualmente si interiorizzano e si trasformano in strutture mentali. Dalle reazioni circolari primarie, sul tipo dei riflessi di coordinazione, si passa all'intelligenza senso-motoria, ancora legata alla concretezza della situazione, alle reazioni circolari secondarie e terziarie, che si complicano sempre di più con l'intenzionalità volta all'adattamento dell'organismo all'ambiente fisico e sociale, e infine all'intelligenza rappresentativa, tramite la quale gli oggetti possono venire sostituiti da un'immagine mentale, da un simbolo, da un segno. A sua volta l'intelligenza rappresentativa, che si sviluppa sui parametri dell'imitazione, del gioco e del linguaggio, si suddivide nei due livelli del pensiero concreto, dai 7 agli 11 anni, e del pensiero verbale e ipotetico-deduttivo, dai 12 anni in poi. Dopo il 1943 Piaget allargò il campo della sua indagine allo studio genetico della percezione, in quanto il funzionamento di questa risulta essere autonomo rispetto a quello dell'intelligenza e, dal 1955, con la promozione di un fiorente centro di epistemologia genetica aperto a un mirabile cenacolo di ricercatori, si è dedicato all'analisi dei problemi logici sul terreno empirico. La produzione letteraria di Piaget è assai vasta; G. Petter ne ha redatto una sintesi a proposito delle ricerche sullo sviluppo mentale (v. Petter, 1967) e un gruppo di noti autori ha svolto una serie di studi sullo sviluppo cognitivo in onore del maestro (v. Elkind e Flavell, 1969). Un volume dello stesso Piaget, dedicato ai meccanismi percettivi, contiene una sintesi delle numerosissime ricerche fatte in questo campo dall'autore e dai suoi collaboratori (v. Piaget, 1961).

b) La deviazione psicopatologica

Dall'esame del malato mentale si possono imparare molte cose sulla dinamica psichica normale; infatti la malattia determina necessariamente l'esaltazione unilaterale di meccanismi e di contenuti che sono difficilmente percepibili nel soggetto sano di mente, e agisce a guisa di lente diffrattrice che ha valore di vero e proprio strumento di ricerca: l'*experimentum naturae*. Per questa ragione l'osservazione dei malati mentali è stata ampiamente utilizzata nell'indagine psicologica. La consapevolezza dell'importanza di questa prospettiva è stata peraltro sempre presente nella comune opinione, prova ne sia la fortunata trasposizione letteraria fatta da Cervantes di due tipi opposti di alienazione nelle figure di don Chisciotte e Sancio Panza. Sul piano scientifico E. Kretschmer, lo psichiatra di Tubinga, si è certamente ispirato alla coppia di caratteri resi celebri

dal Cervantes nel distinguere le due polarità opposte della schizofrenia e della cosiddetta follia circolare (maniaco-depressiva), affermando l'esistenza di una correlazione significativa (purtroppo non dimostrata dall'autore) fra la struttura corporea e il funzionamento mentale (v. Kretschmer, 1925): gli schizofrenici posseggono una struttura longilinea e fragile, i maniaco-depressivi una corporatura massiccia e tondeggiante. Avendo poi attribuito a orientamenti psichici opposti caratteri somatici pure in opposizione, Kretschmer pensò che non solo nel campo patologico, ma anche in quello della normalità psichica si potesse ritrovare qualcosa di analogo; cioè che tutti i soggetti magri e longilinei echeggiassero il modo di funzionare degli schizofrenici, quelli corti e grossi il modo dei malati circolari. Egli chiamò pertanto i primi schizotimici o asintonici, i secondi ciclotimici o sintonici e pose fra lo stato di normalità e quello patologico uno stadio di passaggio nel quale collocò forme schizoidi e cicloidi, rispettivamente. Più tardi, allo scopo di completare il quadro del funzionamento psichico, Kretschmer aggiunse ai primi due tipi un terzo tipo somato-psichico, quello 'adetico-gliscoide', attribuendogli come malattia l'epilessia e come caratteristica specifica una certa viscosità mentale, ostacolo alla capacità di seguire agilmente il flusso delle impressioni esterne.

Un contributo originale agli studi sulle correlazioni fra caratteri somatici e malattie mentali è stato dato da L. Szondi (v., 1952), che elaborò una sua tipologia. Questo autore propose anche uno speciale test psicodiagnostico, basato sull'espressione fisionomica tipica di quattro forme di devianza psicopatologica, considerate come manifestazioni geniche, rispettivamente riguardanti: la sessualità (sadismo e omosessualità), la istero-epilessia, la dissociazione dell'intelligenza (catatonia e paranoia) e la depressionemania. Il test si applica presentando diverse volte al soggetto sei serie di otto fotografie corrispondenti alle devianze citate e chiedendogli di scegliere le fisionomie che considera più simpatiche o verso le quali prova maggiore repulsione. Per interpretare il risultato del test si parte dall'ipotesi che le scelte vengano guidate da fattori istintuali analoghi a quelli rappresentati nelle singole devianze; inoltre si postula che quando questi fattori sono presenti in modo omozigote (come nei malati delle fotografie) determinino forme irreversibili di malattia e che, viceversa, i soggetti eterozigoti, pur avendo tutti i fattori istintuali considerati, siano suscettibili di modificazioni spontanee nel corso dello sviluppo.

Nel campo della ricerca psicologica effettuata attraverso l'esame delle manifestazioni psicopatologiche si deve ricordare l'attività della Scuola francese della Salpêtrière, il cui massimo esponente fu J. M. Charcot. Egli si interessò, come è noto, di forme cliniche di isterismo e fu il primo a interpretare, sulla base dei meccanismi agenti in tale malattia, l'ipnotismo.

c) La processualità psicopatologica

L'evolversi di un processo morboso mentale può chiarire i problemi della psicologia normale molto più che la rilevazione della sua presenza, perché, come ha felicemente sottolineato Freud (v., 1933), "i malati di mente,

essendosi disinteressati della realtà esteriore, la sanno naturalmente più lunga di noi su quella interiore e possono quindi rivelarci certe cose che senza di loro resterebbero impenetrabili". La psicopatologia scatena inoltre un processo regressivo in base al quale possiamo conoscere, osservando il malato mentale, aspetti del mondo preverbale proprio dei primi tempi di vita. Lo studio della processualità psicopatologica, oltre a rivelare l'intima natura di processi psichici profondi, ha promosso, più vigorosamente di quanto si sia verificato per la medicina interna, la convinzione che non vi sono iati sostanziali fra chi è sano e chi risulta malato: ogni persona mentalmente sana contiene, infatti, dentro di sé i nuclei che caratterizzano i vari disadattamenti mentali, da quelli più lievi a quelli più gravi delle psiconevrosi e delle psicosi; solo per il fatto di rimanere celati in profondità, o incistati difensivamente, questi nuclei patologici possono non turbare un'armonia complessiva di funzionamento psichico.

Allo studio della processualità psicopatologica è dedicata, in primo luogo, la psicanalisi. È noto che l'orientamento clinico di Freud prese un deciso contenuto dinamico, anticipatore della psicanalisi, dopo il soggiorno a Parigi nel 1885 e a Nancy qualche anno più tardi; è quindi in Francia che si deve rintracciare il clima culturale che avrebbe portato Freud alla scoperta di una nuova disciplina scientifica. Più ancora che a Charcot questo clima può attribuirsi a Th. Ribot, il titolare della prima cattedra francese di Psicologia sperimentale e comparata al Collège de France (cattedra fondata nel 1889) e di un incarico di Psicologia sperimentale alla Sorbona; Ribot si dedicava alla psicopatologia. A Ribot seguirono P. Janet (al Collège), G. Dumas (alla Sorbona), H. Wallon, M. Lagache e numerosi altri ricercatori, particolarmente interessati all'aspetto patologico della vita mentale e alla dinamica affettiva superficiale e profonda. Freud fu chiamato a cogliere l'eredità di questo pensiero, a innestarlo nella linea della clinica psichiatrica secondo il modo di procedere di Charcot, a svilupparlo autonomamente e originalmente fino alla fondazione della psicanalisi. Si dice, a ragione, che Freud è partito dal punto cui era arrivato Janet; di fatto, quest'ultimo portò avanti un discorso importante, dimostrando quanto poteva contribuire alla conoscenza psicologica l'osservazione di isterici e di allucinati. Frutto di queste osservazioni sono l'opera che tratta delle 'forme inferiori dell'attività mentale', *L'automatisme psychologique* (Paris, 1889), il volume *L'état mentale des hystériques* (Paris, 1893), altri numerosi contributi e l'insegnamento che questo autore impartì per 40 anni al Collège de France. Fedele al metodo prescelto, Janet studiò i tipi di condotta dei suoi malati, ricercando di ognuno la filogenesi e l'ontogenesi; scoprì così l'enorme importanza del linguaggio, la sua derivazione dall'azione, delineò l'evoluzione della memoria e della nozione del tempo, propose la distinzione di forza e di debolezza psichica, formulando il concetto di 'psicastenia'. È rimasta famosa la polemica che contrappose Janet a Freud sia sul piano personale sia su quello clinico; quanto al primo, Janet accusò Freud di aver concepito la teoria psicanalitica in seguito alle conversazioni cui aveva assistito alla Salpêtrière, nelle quali Janet era uno dei principali interlocutori; quanto al secondo, lo scienziato francese interpretava l'isterismo come il risultato

dell'insorgenza, a causa di uno stato di debolezza mentale, di automatismi psichici inconsci e irrazionali, mentre per Freud la malattia dipendeva dal processo della rimozione, un processo che avrebbe avuto un'importanza fondamentale nella nascente psicanalisi.

Non vi è comunque dubbio che mancò in Janet la dimensione della dinamica inconscia e quella considerazione della libido che Freud avrebbe sviluppato in un modo assolutamente personale, al punto che non appare possibile esimersi dal dedicare, nell'ambito della psicologia genetica, un capitolo alla psicanalisi, intesa come studio dell'evoluzione normale e patologica facente perno sulla dinamica dell'inconscio (v. inconscio).

d) La prospettiva psicanalitica

È ovviamente impossibile tentare in breve un riassunto della psicanalisi, vista l'estensione, la profondità, la novità della dottrina. È soltanto possibile accennare ai suoi principi più importanti, che si possono sintetizzare nel modo seguente: 1) l'inconscio è una sfera di attività psichica obiettivamente dimostrabile, in grado di determinare fatti patologici e sequenze ordinate di comportamento: è quanto Freud capì nell'osservare le dimostrazioni di ipnosi fatte da Charcot sugli isterici e di comando postipnotico eseguite alla Scuola di Bernheim a Nancy; 2) è possibile conoscere le motivazioni inconscie che determinano sintomi e comportamenti più precisamente che mediante l'ipnosi, stabilendo una collaborazione intima e significativa col paziente: è quanto Freud dedusse dall'uso dell'ipnosi applicata da lui personalmente e dal collega e amico J. Breuer; 3) l'uso delle associazioni libere e l'interpretazione dei sogni costituiscono metodi primari per svelare la problematica conflittuale inconscia: è quanto Freud scoprì mediante l'autoanalisi e l'analisi dei propri pazienti; 4) l'inconscio oppone una grande resistenza all'analisi, anche perché i sintomi e i modi di comportamento sono dei compromessi gratificanti: è quanto Freud accertò, dimostrando che nel sintomo il malato trova sistematicamente una soddisfazione, un guadagno secondario, per cui tende a perpetuare la propria malattia; 5) il trattamento psicanalitico, come anche quello ipnotico, innesca un sentimento emotivo (di amore o di odio) del malato verso il terapeuta, il transfert, al quale il terapeuta può corrispondere con analoghi e opposti sentimenti, che costituiscono il controtransfert. L'uno e l'altro processo debbono considerarsi come forti resistenze, soprattutto lo è la loro reciproca combinazione: è quanto Freud dedusse, inizialmente, dal fallimento registrato da Breuer nella cura di Anna O., entrata in un transfert cui Breuer aveva controrispinto; in seguito Freud osservò regolarmente lo sviluppo di transfert nei suoi pazienti; 6) transfert e controtransfert costituiscono forme di resistenza se e fino a quando non vengono interpretati, perché rappresentano un comportamento motivato dall'istinto anziché da una riflessione su di esso. L'interpretazione adeguata e adeguatamente accettata è perciò un cardine del processo terapeutico; 7) transfert e controtransfert costituiscono la riviviscenza di atteggiamenti emotivi del lontano passato personale; questi atteggiamenti sono

strettamente collegati con la dinamica della sessualità infantile; 8) la sessualità infantile si svolge in modo inconscio e attraversa varie tappe di maturazione, ciascuna delle quali può venire perturbata da traumi e frustrazioni di varia natura; queste dolorose esperienze determinano un arresto, nell'inconscio, dei contenuti e dei modelli di comportamento tipici della fase in cui sono state vissute e ciò produce la formazione di nuclei di disadattamento psicopatologico. In questo processo patogenetico il trauma può essere vissuto nella fantasia anziché nella realtà, conservando tuttavia tutto il suo valore morbigeno; 9) i dinamismi impulsivi inconsci hanno carattere di istinto; le varie classificazioni degli istinti che Freud adottò successivamente e l'interpretazione dinamica che ne diede costituiscono la cosiddetta 'metapsicologia' della psicanalisi. Di essa sono soprattutto note la distinzione fra conscio, inconscio e preconscious, la tripartizione dell'apparato psichico in Io, Es e Super-Io e la distinzione fra istinto di vita e istinto di morte; 10) la conoscenza della pulsione libidica, più tardi di quella aggressiva, ha offerto la possibilità di prospettare in modo unitario, in termini di pulsione e di difesa dalla stessa, non solo il comportamento psichico quotidiano normale e la natura del sogno, ma anche i più vari aspetti della vita associata e della civiltà, e quelli della psicopatologia; inoltre ha consentito di prospettare una psicoterapia ragionata dei disturbi mentali, nota col nome di trattamento psicanalitico. Dalla teoria e dalla pratica psicanalitiche sono comunque derivate importantissime conoscenze sulla vita psichica dell'uomo (v. psicanalisi).

6. Integrazione

Il discorso condotto sinora è stato imperniato sul modo in cui la psicologia si è strutturata come disciplina scientifica a partire dai suoi primordi. Come si è già avuto occasione di dire, le posizioni passate in rassegna rappresentano i parametri, i modelli concettuali, ai quali sembra si possa ricondurre la ricerca in psicologia. Tuttavia essi non rappresentano più sostanzialmente la psicologia contemporanea, in quanto la massima parte dei suoi cultori, pur riconoscendo in essi la matrice della disciplina, hanno oggi assunto altre prospettive e modalità più complesse di azione.

In questo capitolo vedremo come il progresso compiuto dalla psicologia nel corso degli anni non si sia configurato come un approfondimento dei singoli parametri esaminati, anche perché molti di essi hanno da tempo raggiunto un 'tetto' non facilmente superabile; il progresso si è invece verificato ogni volta che una delle singole modalità di ricerca si è integrata con qualcuna delle altre. In tal modo resta dimostrato che la specificazione di parametri individuali può porsi unicamente e artificiosamente per esigenze pragmatiche e didattiche e che ognuno di essi assolve il compito di prospettare una disarticolazione speciale del funzionamento mentale; ma, essendo quest'ultimo assolutamente unitario in quanto unica è la soggettività che

ciascun parametro traduce e media, diventa necessario attuare un'integrazione delle parti, una volta che si sia proceduto alla loro individuazione.

La legge dell'unificazione, fondamentale a proposito delle funzioni mentali specifiche e tenacemente sostenuta in tutta la sua opera da A. Gemelli (v. Gemelli e Zunini, 1947), deve a sua volta trovare un'unificazione superordinata fra le stesse funzioni, e proprio in questo incontro, che si potrebbe definire interdisciplinare, anche se si svolge in seno a una sola disciplina, sta evidentemente la vitalità e il progresso della psicologia. Può essere interessante ripercorrere il cammino sin qui compiuto, dando qualche esempio del modo in cui si è attuata, nel progresso della psicologia, la sua crescente integrazione.

Esaminiamo innanzitutto i progressi registrati nel campo dell'osservazione esterna'. Per quanto riguarda la ricerca psicofisiologica' propriamente detta, G. T. Ladd e R. S. Woodworth danno un primo esempio di integrazione: ispirati alla visione integratrice della neurofisiologia di C. S. Sherrington, questi autori si interessano con metodi psicofisiologici dei 'contenuti di coscienza' (v. Ladd e Woodworth, 1911). A loro volta, rifacendosi alla teoria di W. B. Cannon, molti ricercatori si dedicano allo studio delle 'emozioni' utilizzando il riflesso psicogalvanico (C. Landis), l'elettromiografia (F. L. Golia), il palloncino gastrointestinale (D. Brunswick) e l'elettroencefalogramma (H. Berger). S. I. Franz e K. S. Lashley, e soprattutto quest'ultimo (v. Lashley, 1928), utilizzano gli schemi della Gestalt per studiare non più singole risposte, ma l'esito complessivo sul comportamento di ablazioni sperimentali dell'encefalo, cioè le cosiddette unità molarì; anche A. Gelb e K. Goldstein fanno riferimento alla Gestalt per studiare i cerebrolesi di guerra (v. Gelb e Goldstein, 1920) e il secondo giunge a distinguere l'attitudine 'concreta' da quella 'astratta' verso l'ambiente, attribuendo alla prima un carattere di rigidità, alla seconda la possibilità di adattamento e dimostrando che la concretezza è propria dei cerebrolesi, degli schizofrenici, dei deficienti e dei bambini (v. Goldstein, 1934).

Altri ricercatori in campo fisiologico si interessano delle conseguenze delle lobotomie prefrontali e degli accidenti vascolari cerebrali (v. Jacobsen, 1936) sulle funzioni mentali, dando così inizio a quella moderna specialità psicologica che va sotto il nome di neuropsicologia. Infine R. B. Malmö, rifacendosi ai concetti di omeostasi e di reazioni neurovegetative, affronta, sempre con metodologia psicofisiologica, lo studio della 'motivazione' (v. Malmö, 1959).

Secondo una diversa prospettiva di integrazione, N. Rashevsky fonde poi la ricerca psicofisiologica con la biofisica matematica (v. Rashevsky, 1948) e attraverso l'influenza esercitata da N. Wiener (v., 1948) viene formulato il concetto che l'organismo può considerarsi come un calcolatore cui può applicarsi la teoria dell'informazione; ancora, l'organismo viene sempre più considerato come un sistema fisico di risposte, secondo le vedute dell'ingegneria umana (v. Delgado, 1969).

Se si analizza ora con lo stesso criterio lo studio comparato del comportamento, si osserva una complicazione del tutto analoga; lo stesso behaviorismo riduzionista si integra, per merito di E. C. Tolman (v., 1932), con il concetto di 'finalità' di un comportamento, "anche se - afferma Tolman - non si potrà mai sapere se l'animale raggiunge il suo fine"; questa prospettiva sancisce di fatto la convergenza fra la psicologia obbiettiva del comportamento e quella 'ormica' di McDougall. A sua volta C. Hull interpreta il comportamento come il risultato di un adattamento biologico, quindi come un processo sempre orientato alla riduzione dei bisogni prodotti da una modificazione nelle condizioni ideali di vita. Per rendere conto in maniera coerente dei vari modi di adattamento, Hull ha elaborato un metodo ipotetico-deduttivo estremamente complesso e rigorosamente inquadrato in formulazioni matematiche (v. Hull, 1952).

Al di là di questi schemi, ancora molto teorici, la psicologia comparata si è arricchita, nell'ambito della riflessologia, del concetto di 'nevrosi sperimentale'; lo stesso Pavlov (v., 1927) sottoponeva i suoi animali da laboratorio a frustrazioni intollerabili, facendo ricorso alla tecnica dei riflessi condizionati. Più precisamente, i cani da esperimento venivano abituati ad associare a uno stimolo luminoso di forma circolare la presenza di cibo e a uno stimolo luminoso di forma ellittica l'assenza del cibo stesso; proiettando successivamente forme circolari sempre più schiacciate e forme ellittiche sempre più arrotondate, gli animali cadevano vittime di un acuto, grave disadattamento. Le nevrosi sperimentali vengono analogamente realizzate da J. H. Masserman (v., 1950) nei gatti, col sottoporli a situazioni gravemente conflittuali; in un secondo tempo lo sperimentatore elimina tali nevrosi indotte mediante la psicoterapia: in tal modo il behaviorismo riflessologico si salda intimamente con la psicopatologia.

Su di un altro versante, J. McV. Hunt e altri (v., 1941) si sono incaricati di controllare, nel comportamento dell'animale adulto, l'effetto di maltrattamenti subiti nella prima infanzia, introducendo in tal modo considerazioni di ordine genetico nell'ambito della psicologia comparata. Di notevole importanza sono da considerarsi al riguardo le ricerche compiute da H. F. e M. K. Harlow nel Laboratorio dei Primati dell'Università di Wisconsin, su scimmie neonate separate dalla madre (v. Harlow e Harlow, 1969). Harlow ha dimostrato che sul futuro comportamento dell'animale ha un'importanza determinante il tipo di trattamento che riceve da neonato; più precisamente il tipo di sostituto che gli si dà al posto della madre naturale: se il neonato può fruire di un contatto 'morbido', come quando ha a disposizione un pupazzo di gommapiuma che funge da madre, non solo risulta meno ansioso e più disinvolto, ma diventa anche molto più socievole quando si fa adulto; l'opposto si verifica quando il sostituto materno è costituito da un reticolo di fili metallici a forma di pupazzo, anche se questa sagoma (come d'altronde quella in gommapiuma) è fornita di un biberon che dispensa latte (v. Harlow e Harlow, 1969). La ricerca comparata si è anche enormemente arricchita per l'apporto degli etologi, che osservano gli animali nelle condizioni naturali di vita, evitando così le deformazioni connesse con l'esperimento di laboratorio; fra le più importanti ricerche in campo etologico

debbono essere ricordate quelle relative all'imprinting fatte dal caposcuola K. Lorenz (v., 1935) e dai suoi discepoli; i risultati raggiunti confermano l'enorme influenza che possono avere le esperienze neonatali sull'intero corso evolutivo. Le ricerche di N. Tinbergen (v., 1951) sul 'comportamento innato' degli animali hanno permesso a questo studioso di affermare che ogni animale possiede un determinato corredo di movimenti, organizzati gerarchicamente, che vengono effettuati quando le circostanze ambientali forniscono un innesco specifico, funzionando da Innate Releasing Mechanism (IRM).

Molti dei risultati ottenuti dalla ricerca psicologica comparata concordano con analoghi risultati raggiunti nel campo dell'esperienza psicanalitica; un autore che si è occupato di confrontare i dati raccolti nell'ambito delle due prospettive di indagine è stato J. Bowlby (v., 1969-1973). Anche la psicofisiologia ha contribuito ad arricchire la gamma dei dati a disposizione della psicologia comparata, in particolare tramite gli esperimenti di elettrostimolazione cerebrale profonda su animale integro; con questo metodo si sono potuti localizzare i centri istintuali del piacere e del dolore (v. Olds e Milner, 1954) e quelli deputati alla dinamica dell'aggressione (v. Delgado, 1967).

Passando ora ad analizzare il settore delle manifestazioni differenziali, si può innanzitutto sottolineare che il sistema di W. H. Sheldon costituisce già un esempio dell'incontro fra teoria della personalità e misurazioni obiettive, e l'interesse che ha suscitato dipende certamente da questa sua integrazione. Ma anche il sistema classificatorio proposto da P. S. Holzmann e G. S. Klein (v., 1950) in termini di funzione di levelling e sharpening è un evidente esempio del genere. Allo stesso tipo di integrazione, ma svolto in un modo più ampio e interessante, appartiene il sistema proposto da H. A. Witkin (v., 1959) per la valutazione interindividuale. Tale sistema si basa sui risultati ottenuti con una tipica procedura psicofisiologica: il soggetto dell'esperimento deve porre in posizione verticale un'asta declinata nel piano frontale e inquadrata in una cornice rettangolare i cui lati maggiori sono orientati secondo la verticale, oppure sono obliqui. L'esperimento si svolge in una camera buia nella quale asta e cornice sono rese visibili da una vernice fosforescente. Per portare l'asta in posizione verticale alcuni soggetti fanno riferimento alla propria verticale gravitazionale e trascurano gli indici visivi circostanti (la cornice), pertanto correggono la declinazione dell'asta molto precisamente; tali soggetti vengono chiamati 'field-independent'. Altri soggetti, invece, adottano come sistema di riferimento la cornice, per cui quando essa è inclinata giudicano come verticale una posizione dell'asta che è invece più o meno obliqua a seconda dell'inclinazione della cornice; si tratta di soggetti che, per il fatto di utilizzare gli indici visivi più di quelli posturali e di riferirsi principalmente al campo, si definiscono 'field-dependent'. La 'dipendenza dal campo' evidenziata mediante la procedura descritta varia con continuità fra due poli opposti; in base al risultato raggiunto nella prova ogni soggetto viene collocato a una certa distanza da essi. Queste polarità corrispondono poi a modi antagonisti non solo di percepire la realtà fisica, ma anche di immaginare se stessi e gli altri, di pensare, di comportarsi; rappresentano cioè due opposti 'Stili cognitivi', il primo dei quali,

quello centrato sul dettaglio e retto dall'analisi, è proprio della psiche maschile; il secondo, centrato sul contesto e retto dalla sintesi, è proprio della psiche femminile. La differenziazione si verifica peraltro anche in funzione del modo generale in cui si è svolta l'evoluzione e in particolare l'educazione familiare del soggetto (v. Witkin e altri, 1962). La classificazione di Witkin si è rivelata di straordinaria importanza per la comprensione sia della dinamica personale sia di quella sociale e ha offerto una prova evidente della fecondità dell'integrazione di metodi diversi della ricerca in psicologia.

Alleandosi infine con la tematica psicanalitica, la psicologia delle differenze individuali ha tenuto a battesimo tutta la serie delle prove 'proiettive' della personalità, a cominciare dal 'test delle macchie di inchiostro' di H. Rorschach (v., 1921) e dal Thematic Apperception Test di H. A. Murray (v., 1938), per finire al Picture Frustration Test di L. Rosenzweig (v., 1937) e al test dello sviluppo psicosessuale di G. S. Blum (v., 1954). Nel campo dell'"introspezione pilotata" si possono svolgere considerazioni del tutto analoghe; si è già visto come il concetto di Gestalt sia stato applicato, oltre che allo studio della percezione, a quello delle più diverse funzioni mentali e si è già messo in evidenza come il suo inserimento nel campo dell'interazione sociale abbia considerevolmente promosso la conoscenza e la sperimentazione; le ricerche di Gelb e Goldstein sui cerebrolesi di guerra, già citate, e quelle di Wertheimer (v., 1945) sul 'pensiero produttivo' ne sono una conferma. Debbono qui essere ricordate in modo specifico le osservazioni sperimentali compiute da Köhler (v., 1917) sugli scimpanzé durante il periodo della sua prigionia, nel corso della prima guerra mondiale, nell'isola di Tenerife. Anticipando la prospettiva degli etologi, secondo i quali è necessario osservare l'animale in libertà per sapere di lui qualcosa di significativo, Köhler giunse a dimostrare che l'apprendimento non si svolge attraverso un procedimento di 'prove ed errori' come sosteneva a quel tempo E. L. Thorndike (v., 1912); l'animale sembra infatti trovare la soluzione definitiva senza esitazioni quando il suo spazio percettivo-motorio si riorganizza come un tutto, secondo i principi della Gestalt: tale riorganizzazione segna il costituirsi di un legame significativo e di un nuovo equilibrio fra le percezioni.

Per quanto riguarda la dinamica delle funzioni interiori, di carattere impulsivo, l'adozione delle tecniche di condizionamento ha permesso a J. V. Brady di condurre interessanti esperimenti che, pur attuati su scimmie, rivestono un'indubbia importanza anche per la psicologia umana. In queste ricerche coppie di scimmie venivano fatte sedere su una specie di panca, con le zampe inferiori appoggiate su una sbarra metallica in cui, ogni 20 secondi, veniva fatta passare della corrente elettrica. Le due scimmie avevano a portata di zampa una leva ciascuna, che potevano abbassare facilmente. Una delle due scimmie abbassando la leva poteva interrompere la corrente, mentre l'altra leva non era collegata con un interruttore. Il programma di lavoro consisteva in periodi di 6 ore di stimolazione e di 6 ore di riposo e le scimmie (chiamate 'esecutive') apprendevano a manovrare la leva abbassandola frequentemente per evitare le scosse. Dopo 23 giorni di sperimentazione continua una delle scimmie 'esecutive' morì e l'autopsia rivelò la presenza di larghe

ulcerazioni in sede gastroduodenale. L'altra scimmia, pur avendo ricevuto lo stesso numero di scosse non aveva invece alcuna lesione gastrointestinale; tutto ciò dimostrava senz'altro l'importanza patogenica dell'attesa del trauma, in confronto al trauma stesso (v. Brady e altri, 1958).

La 'determinazione a fare' è stata analogamente studiata con uno dei metodi ricordati nel capitolo riguardante la dimensione genetica: in un gruppo di soggetti in trance ipnotica fu indotto uno stato psichico di tipo tensione/irritazione, in un altro uno stato psichico di tipo distensione/ disponibilità. Fu poi dato il comando di conservare lo stato rispettivo per un certo periodo di tempo dopo il risveglio dalla trance; il rendimento lavorativo registrato in tale periodo risultò significativamente diverso: i soggetti del primo gruppo lavoravano meno e peggio degli altri (v. Ancona e altri, 1970).

L'orientamento dell'aggressività, in senso autoplastico o alloplastico, è stato obiettivato in termini di secrezione catecolaminica, con la dimostrazione che l'aggressività esteriorizzata si correla con una prevalenza noradrenalinica, quella che resta imprigionata all'interno del soggetto è invece correlata con un incremento della secrezione adrenalinica, ed è a sua volta in correlazione con gli stati depressivi (v. Funkestein, 1955). Infine sono stati sottoposti a meticolosa indagine sperimentale anche i contenuti mentali allo stato puro, come le immagini oniriche e quelle allucinatorie del dormiveglia, e il modo di articolarsi del pensiero. Sono state trovate tecniche per evidenziare questi contenuti, ad esempio il 'Ganzfeld visivo e acustico' (v. Bertini e altri, 1964) e l'applicazione pilotata di LSD (v. Ancona, 1968); inoltre il dormiveglia è stato monitorizzato (v. Bertini e altri, 1970) e si sono fatte registrazioni poligrafiche delle reazioni a stimoli applicati in varie fasi del sonno.

Queste ricerche confluiscono nel ricchissimo filone delle indagini sperimentali sul sogno iniziate negli anni cinquanta da E. Aserinski, N. Kleitman e W. Dement (v. Aserinski e Kleitman, 1953; v. Dement, 1955). Esse comprendono infatti la dimensione introspettiva, quella dell'osservazione esterna, quella genetica e si integrano direttamente con la psicanalisi. Una dimostrazione sperimentale di questa confluenza di interessi e di metodi di ricerca è data dall'indagine fatta da M. Bertini sui contenuti mentali durante il sonno, con un metodo derivato dalle tecniche di condizionamento con cui ha cercato di cogliere la verbalizzazione del sogno allo stato nascente, per confrontarla con il racconto reso dal sognatore al risveglio (v. Bertini, 1970). A tale scopo i soggetti sperimentali sono stati immersi in un Ganzfeld (white noise) facilitante le associazioni e inducente forme concrete di pensiero fino all'allucinazione; i soggetti sono stati poi condizionati a parlare a ruota libera ogni volta che sentivano il white noise. Dopo il training di condizionamento lo stimolo acustico veniva immesso nella camera dove il soggetto dormiva, all'inizio di ogni fase REM, e mantenuto per il periodo presumibile della stessa fase. Si è così ottenuta una verbalizzazione onirico-simile; la sua natura psicofisiologica è tuttora incerta, tuttavia essa si è rivelata capace di tradurre l'esperienza vissuta dal soggetto durante la notte in un modo molto più ampio, dettagliato e privo di distorsioni di quanto sia ottenibile

retrospettivamente dopo il risveglio; Bertini ha sottolineato che con questa metodica è non solo possibile lo studio obiettivo dei processi onirici, delle trasformazioni in fase REM e non REM che il soggetto opera sui contenuti (filmici) visionati prima dell'esperimento e dei fenomeni connessi con l'oblio e con la censura del sogno; ma è anche possibile una estesa applicazione clinica alla dinamica del sogno.

Si può ora procedere all'analisi degli sviluppi di quella dimensione della ricerca che è stata definita dell'interazione sociale. Per quanto riguarda quella 'centrata sull'individuo', non vi è dubbio che la psicologia sociale sia stata profondamente influenzata dall'opera di J. L. Moreno, il ricercatore che nel 1934 ha proposto i risultati delle sue indagini sull'attrazione/repulsione interindividuale registrati col metodo sociometrico (v. Moreno, 1934). Con la procedura di Moreno è diventato possibile dare una configurazione grafica alla composizione dei gruppi e procedere alla loro differenziazione in psico-gruppi (di natura privata, intima, affettiva) e in socio-gruppi (di natura collettiva, organica, funzionale). R. Tagiuri e altri (v., 1953) hanno poi reso possibile un approfondimento del metodo con l'analisi relazionale di gruppo, che tiene conto dell'aspetto emotivo più di quanto non faccia Moreno, il cui metodo risulta un po' troppo fenomenologico. Anche J. Maisonneuve (v., 1965) ha seguito questa via, interpretando la risposta selettiva del soggetto al test sociometrico (in uno psico-gruppo) come l'esito di un processo di anticipazione dell'atteggiamento di scelta/rifiuto dell'altro nei propri confronti.

Infine, sempre in questa corrente dell'interazione sociale, R. Carli e le collaboratrici A. Mangiarotti e M. Scalfaro hanno proposto un nuovo modello della scelta sociometrica nello psico-gruppo, interpretando questo comportamento come una decisione selettiva in situazione di incertezza. Secondo tale prospettiva il comportamento sociometrico è stato ricondotto ai quattro esiti classici della TDS (teoria della detezione del segnale) elaborata per spiegare fenomeni di natura percettiva da J. A. Swets (v., 1964).

È evidente che attraverso questi successivi sviluppi quello che era uno strumento di indagine sociologica di carattere descrittivo si è gradualmente perfezionato, giungendo a comprendere interessanti aspetti emotivi, trovando riscontro in criteri di obiettivazione psicofisiologica, permettendo infine di analizzare la fenomenologia dell'adattamento sociale, come appare nel lavoro di Carli e collaboratori sopra menzionato. Oltre all'interazione sociale 'incentrata sull'individuo' si deve sottolineare che anche quella 'incentrata sul gruppo' ha avuto nei tempi recenti ampi sviluppi in senso integrativo, al punto da configurarsi come una nuova disciplina scientifica cui è stato dato il nome di 'sociopsicologia'. Originata dagli esperimenti di tipo residenziale condotti presso la scuola di dinamica di gruppo a Bethel (Maine), necessariamente orientati verso fenomeni di natura clinica, psichiatrica e che risentivano fortemente dell'influenza del pensiero inglese, che ispirò la fondazione delle prime comunità terapeutiche (v. Jones, 1952), questa forma di psicologia sociale diventò sociopsicologia grazie all'apporto determinante del pensiero psicanalitico, e precisamente di quella corrente che fa capo alla scuola psicanalitica inglese di M. Klein (v., 1948). Questa elaborazione della dottrina

freudiana è di fatto decisamente più aperta sul sociale di quanto non lo sia la versione originale di Freud, perché, anziché basarsi sulla dialettica edipica di coppia, si fonda sulla dialettica preedipica, pre-personale che si instaura fra le parti del 'sé', che corrisponde alla dialettica interna del gruppo (v. Ancona, *Dinamica...*, 1972).

W. R. Bion ha portato avanti più di ogni altro il discorso sulla dinamica di gruppo, dimostrando che un gruppo il cui terapeuta si limiti all'interpretazione del transfert in termini collettivi non tarda a costituirsi come un singolo paziente, nel senso che comincia a presentare processi interattivi e difese, che ne rivelano l'intima dinamica, equiparabili in tutto e per tutto ai fatti inconsci intraindividuali. Le tecniche difensive messe in evidenza da Bion sono quelle cosiddette della 'dipendenza', dell' 'alleanza in attesa di un messia' (accoppiamento) e dell' 'attacco/fuga' (v. Bion, 1952). A esse F. Fornari (v., 1971) ha aggiunto la tecnica fondata sull'assunto di base della 'conservazione'. Attraverso queste osservazioni e la terapia di gruppo, si è fatto un notevole progresso nella conoscenza di come un gruppo funziona, regredisce, giunge alla propria maturazione, comportandosi in questi processi come una vera e propria persona. P. C. Racamier (v., 1963) ha definito 'personazione' questo processo e D. Napolitani ha delineato la sua curva evolutiva, facendo riferimento alla vita di comunità terapeutiche seguite con metodologia psicanalitica (v. Napolitani, 1973). Su questa base è stato possibile programmare e svolgere specifici interventi di bonifica sociale, sia mediante trattamento psicanalitico di gruppo (v. Napolitani, 1972), sia mediante interventi nel campo del lavoro (v. Jaques, 1955).

Anche per quel che riguarda la psicologia genetica si sono registrati progressi notevoli; ricordiamo le fondamentali ricerche di H. Werner (v., 1948) sulla progressiva differenziazione del sistema psichico a cominciare dalle attività mentali primitive, comuni all'uomo e agli animali, e gli studi di S. Escalona e P. Bergman sulle precocissime differenze sensoriali nell'uomo (v. Escalona e Bergman, 1948). Ugualmente importanti sono gli studi di R. Spitz (v., 1965), il quale ha dimostrato come il bambino, nel corso dell'evoluzione, passi gradualmente da comportamenti generici e grossolani a comportamenti sempre più differenziati; così al terzo mese il bambino riconosce il volto della madre e sorride, per quanto in modo stereotipato, riflesso; contemporaneamente prova angoscia di fronte a un volto sconosciuto. Dall'ottavo al dodicesimo mese il bambino organizza le sue relazioni con gli altri attraverso il balbettio e l'imitazione; il linguaggio viene poi a stabilire una nuova piattaforma per la successiva evoluzione. Spitz è riuscito a ricondurre a disturbi di rapporto, verificatisi nelle varie fasi attraversate, le tipiche malattie infantili: dal marasma, che si manifesta nel bambino all'ottavo mese, in seguito ad abbandono materno, a quelle che ha chiamato 'psicotossicosi' della prima infanzia.

Nel campo della psicoterapia, accanto alla psicanalisi, individuale e di gruppo, è sorta una nuova tecnica che si basa sul concetto di 'condizionamento operante' (v. Dollard e Miller, 1950) e, su analoghi presupposti

concettuali, si è sviluppata la cosiddetta 'terapia del comportamento' che opera attraverso decondizionamenti (desensibilizzazioni) progressivi. I maggiori esponenti di quest'ultimo indirizzo terapeutico sono H. J. Eysenck (v., 1960), in Europa, e J. Wolpe (v., 1958), negli Stati Uniti.

La psicanalisi ufficiale ha dimostrato una certa resistenza a convergere verso altre branche della psicologia, certamente memore dell'ammonimento del suo fondatore di non mescolare, salvo in casi di estrema necessità, l'oro puro della sua dottrina con il piombo degli altri punti di vista. Ogniqualvolta vi è stato un tentativo di integrazione in questo senso, gli psicanalisti ortodossi, pur riconoscendone la relativa validità, se ne sono disinteressati; lo stesso Freud aveva dimostrato di apprezzare la ricerca fatta da O. Poetzl (v., 1915) sulla dinamica delle stimolazioni indirette, e in realtà la psicanalisi offre molteplici possibilità di verifiche sperimentali, come hanno dimostrato parecchi anni fa E. Hilgard, L. Kubie ed E. Pumpian-Mindlin (v., 1952); tuttavia ciò non ha condotto ad alcuna tipica integrazione interdisciplinare. Così la psicanalisi non ha tenuto conto delle prospettive antropologiche sviluppate da A. A. Malinovskij, A. Kardiner, E. Fromm, delle indagini descritte da M. Mead e R. Benedict, della concezione elaborata dalla scuola 'culturale', sorta negli Stati Uniti intorno a H. S. Sullivan e a K. Horney, nonché dei punti di vista proposti dai discepoli dissidenti di Freud, Jung e Adler.

La psicanalisi non ha adottato tutti questi contributi, mentre spesso i loro autori si sono dichiarati psicanalisti. Questo è stato soprattutto il caso di Jung e di Adler che, sulla base dei rispettivi modelli concettuali, hanno fondato delle scuole i cui allievi non esitano a dichiararsi psicanalisti, pur specificando l'indirizzo teorico e terapeutico adottato. Come è noto, Jung ha proposto il principio di uno psichismo inconscio costituito da una sfera individuale e da una sfera collettiva; l'inconscio individuale contiene istanze moralmente positive in conflitto con istanze perverse, quello collettivo contiene i cosiddetti 'archetipi', che sono da considerarsi come l'espressione di una mentalità primordiale, anche preumana, la cui prevalenza nella condotta provoca fenomeni deleteri per l'individuo e per la collettività.

Adler si è dedicato allo studio dell'Io, pensando che Freud avesse trascurato l'argomento, e ha messo l'accento sul processo di 'compenso', reso principio generale del funzionamento psichico. Secondo Adler le nevrosi nascono non dalla dinamica perturbata della libido, ma dal sentimento di inferiorità e dal mancato adattamento alla realtà sociale; in grado maggiore o minore tutti gli individui sono vittime del confronto con tale realtà ed è perciò che tutti sono portatori, specialmente le donne, del sentimento reattivo di 'protesta' (v. Adler, 1933).

Se la psicanalisi non ha adottato i punti di vista degli autori e delle scuole ricordate, in ben altra considerazione ha tuttavia tenuto la cosiddetta psicanalisi dell'Io, sviluppatasi ad opera di A. Freud, H. Hartmann, E. Kris e M. R. Löwenstein; nonché quella 'aperta sul sociale' di E. H. Erikson. In realtà oggi in seno alla psicanalisi freudiana si distinguono due correnti di pensiero: l'una interessata alla dinamica profonda

dell'inconscio, che viene elaborata dai seguaci di M. Klein ed è accettata soprattutto in Inghilterra, in Italia e in larga parte del Sudamerica; l'altra rivolta allo studio delle funzioni dell'Io, rappresentata da A. Freud e seguita dalla maggioranza degli psicanalisti dell' "International journal of psychoanalysis", l'organo ufficiale dell'Associazione Internazionale degli Psicanalisti.

7. Conclusione

Nei capitoli precedenti abbiamo passato in rassegna le diverse articolazioni della psicologia e abbiamo seguito le linee evolutive lungo le quali la disciplina si è sviluppata fino ad acquistare la straordinaria complessità che presenta al giorno d'oggi. Si è anche visto come la ricchezza della psicologia sia sostanzialmente derivata dall'integrazione reciproca delle sue varie componenti. Ora, indipendentemente dal fatto che tale processo interno di integrazione fra le diverse branche della psicologia si sviluppi ulteriormente, un altro tipo di scambio concettuale e metodologico sembra indicare qual è la via della progressiva futura espansione della psicologia: lo scambio interdisciplinare nel senso stretto del termine, cioè quello che implica un sempre maggiore inserimento della psicologia nel sistema delle scienze. Piaget ha magistralmente trattato di questo destino della psicologia nella relazione tenuta al XVIII Congresso internazionale di psicologia, svoltosi a Mosca nel 1966 (v. Piaget, 1966); terremo presente tale relazione nel presentare un panorama dei rapporti intercorrenti fra la psicologia e le altre discipline scientifiche.

La matematica ha sempre offerto alle diverse scienze gli strumenti concettuali per formalizzare i modelli elaborati nell'ambito delle singole discipline e quantificarne i dati. Ciò vale anche per la psicologia, che si è costituita come scienza proprio in seguito al tentativo di quantificare determinati dati psichici. La matematica ha raggiunto una posizione di rilievo, nella ricerca psicologica, sotto forma di 'analisi fattoriale' eseguita sui risultati dell'applicazione di vari test; ciò ha condotto C. Spearman (v., 1927) e chi lo ha seguito su questa strada a distinguere delle 'attitudini' di pura formulazione matematica. È ovviamente di ispirazione matematica la cosiddetta 'topologia' di Lewin (v., 1936) e il ricorso a strumenti matematici è indispensabile nell'applicazione della 'teoria di detezione del segnale' di Swets (v., 1964) alle scelte decisionali e nella soluzione dei problemi del pensiero proposta da J. S. Bruner (v., 1964). Diverso è il rapporto che intercorre fra psicologia e matematica quando i matematici si pongono il problema della natura e della fondazione della loro disciplina; infatti i matematici si trovano in difficoltà quando "si domandano cos'è il numero o qual è la natura delle strutture o della verità matematica in generale" e Piaget ha sostenuto che l'ontogenesi mentale può dare una risposta al quesito; anche negli studi sulla probabilità soggettiva le considerazioni psicologiche e matematiche si intrecciano indissolubilmente. In questa prospettiva, a parte il progetto di rendere più

scientifica la psicanalisi per mezzo di una formalizzazione matematica, si pone lo studio che I. Matte Blanco sta conducendo sul funzionamento dell'inconscio (v. Matte Blanco, 1975).

Le scienze fisico-chimiche già da tempo offrono strumenti concettuali e soluzioni teoriche alla psicologia. I risultati ottenuti nel campo della ricerca biochimica sui drogati hanno contribuito ad ampliare gli orizzonti dell'indagine psicologica; tipici modelli fisici utilizzati in psicologia sono i campi elettromagnetici postulati da Köhler (v., 1920) per spiegare la Gestalt. Due nuove scienze, sorte in seguito ai recenti sviluppi tecnologici, e cioè la teoria dell'informazione e la cibernetica, si sono rivelate particolarmente utili all'elaborazione di teorie e modelli psicologici. I fisici, da parte loro, hanno già potuto trovare nella psicologia spunti sperimentali atti a definire la velocità senza dover ricorrere alla durata e sembrano sul punto di giungere, per merito della psicologia, alla scoperta di nuovi fenomeni fisici, comprendenti quelli vecchi ma implicanti relazioni più complesse. La psicologia stessa porrà dei problemi ai fisici, perché la fisico-chimica non potrà essere 'generale' se non comprendendo preliminarmente ciò che si verifica nel sistema nervoso centrale o in quello periferico, durante un comportamento o un lavoro mentale.

Le scienze biologiche hanno parecchi punti di contatto con la psicologia; particolarmente fecondi sono stati gli scambi fra le due discipline sul terreno della psicofisiologia, della ricerca comparata e della psicopatologia. Nuove prospettive di collaborazione fra scienze biologiche e scienze psicologiche sono state aperte dai lavori rivoluzionari di C. H. Waddington (citato da Piaget), che hanno evidenziato il fatto che l'adattamento non è dovuto alle azioni dirette dell'ambiente né al semplice sorteggio della selezione, bensì a regolazioni multiple su diversa scala, secondo circuiti cibernetici attraverso i quali l'organismo reagisce all'ambiente. Per lo psicologo, embriogenesi e sviluppo diventano allora contemporaneamente il risultato della filogenesi e la fonte di nuove risposte adattative che regolano la filogenesi stessa; il principio di tale regolazione dialettica si applica direttamente alla dinamica dell'intelligenza che si basa sull'esperienza (azione ambientale), da una parte, e, dall'altra, sulle regolazioni endogene genetiche, fonti, a loro volta, di operazioni, per cui la conoscenza, anziché una semplice copia del reale, risulta essere un'organizzazione procedente per equilibri e riequilibri continui. Per lo psicologo del domani si apre, da qui, la strada per affrontare un interessante problema di adattamento biologico: come le strutture logico-matematiche possano adattarsi così bene all'esperienza fisica, secondo quanto risulta empiricamente.

Le scienze sociali hanno spesso percorso binari paralleli a quelli sui quali progrediva la psicologia, ma soltanto ora, che incomincia a essere accettato il principio che la società non è completamente indipendente dall'organizzazione biologica, che non è un tutto omogeneo che 'forma' gli individui dal di fuori, ma che è un sistema di interazioni, di cui ogni individuo costituisce una parte, insieme biologica e sociale, si delinea un più autentico scambio tra la psicologia e queste scienze. Esse riceveranno molto dalla conoscenza del processo di socializzazione dell'individuo, cioè di quel processo che utilizza la società per la propria conservazione, in

opposizione alle trasmissioni ereditarie e biologiche. La prospettiva da adottare è quella 'relazionale', per la quale non vi sono che interazioni; queste, benché possano venire studiate globalmente, come fa il sociologo, oppure ontogeneticamente, come fa lo psicologo, soltanto quando vengono esaminate da entrambi i punti di vista congiuntamente possono assicurare il massimo progresso delle due discipline.

La linguistica, per quanto aperta alla collaborazione interdisciplinare (con la sociologia, con la teoria dell'informazione), non ha ancora stabilito approfonditi rapporti con la psicologia, mentre quelli con la psicanalisi sono tradizionali (da quando Freud trattò del significato antitetico delle parole primitive, nel 1900) e vanno arricchendosi in seguito all'affermazione di J. Lacan che "l'inconscio è strutturato come un linguaggio". Per quel che riguarda la psicologia non psicanalitica, Piaget ha visto innanzitutto possibili fecondi scambi fra linguistica e psicologia a proposito del chiarimento delle relazioni intercorrenti fra linguaggio e logica: la loro stretta interconnessione si verificherebbe a un livello sublogico. Anche in questo caso Piaget propone come metodo di indagine privilegiato l'analisi precisa dell'evoluzione infantile eseguita dal doppio punto di vista linguistico e logico.

Un altro problema alla cui soluzione il linguista e lo psicologo potrebbero collaborare proficuamente è quello della semiotica generale del linguaggio, nella linea di ricerca già intrapresa con lo studio delle comunicazioni fra gli animali; nel caso dell'uomo la ricerca verterebbe sui rapporti fra rappresentazione mentale o pensiero e funzione semiotica.

La logica, infine, deve anch'essa, come la matematica, interrogarsi sulla propria natura e ciò porta necessariamente all'uomo, perché non esiste una 'logica senza soggetto' come non ci sono 'soggetti senza logica'. L'individuo, nel corso dello sviluppo, elabora una costruzione progressiva di strutture operatorie, formalizzabili logicamente, che gli consentono a poco a poco di ragionare su ipotesi e non più, come all'inizio, solo su oggetti. Si tratta di strutture logiche 'naturali', che si prolungano in strutture numeriche e in rappresentazioni di quelle strutture generali o 'matri' che alcuni matematici pongono alla base dell'edificio matematico. L'analisi sperimentale dello sviluppo infantile ha assicurato anche in questo caso a Piaget un metodo atto a convalidare questo punto di vista; l'analisi psicanalitica condotta in profondità ha assicurato a Matte Blanco un metodo clinico altrettanto valido per dimostrare come le assiomatizzazioni della logica non possono fare astrazione dai meccanismi inerenti all'attività psichica inconscia del soggetto umano. È interessante notare come il contributo di Matte Blanco, già citato, si presenti come un'integrazione di alto livello, perché non solo si incontra con le scienze matematiche, ma anche con la logica.

Non si possono pertanto concludere queste considerazioni se non ripetendo e sottoscrivendo l'affermazione centrale del discorso di Piaget a Mosca; e cioè riconoscendo che la psicologia occupa oggi una posizione di centro nel sistema delle scienze e che le ricerche interdisciplinari le assicurano un avvenire indefinitamente fecondo.

Psicologia

Dizionario di filosofia (2009)

Dal lat. mod. *psychologia*, comp. del gr. *ψυχή* «anima» e *λόγος* «ragionamento, discorso», letteral. «dottrina dell'anima». In generale, la scienza che studia i fenomeni psichici in sé stessi e nelle loro reciproche integrazioni, sia che vengano avvertiti dalla coscienza, sia che si svolgano al di sotto di essa, negli strati dell'inconscio. Si distingue una p. razionale o filosofica, che ricerca il principio ontologico dell'attività psichica, e una p. scientifica o sperimentale, la quale, con i metodi propri delle scienze positive (l'osservazione e l'esperimento), indaga sulle funzioni, sui processi e sui comportamenti dell'attività psichica. Il termine sembra sia stato coniato da Melantone (nella forma latina *psychologia*) e specialmente messo in circolazione da Goclenio, che nel 1590 diede a un suo trattato il titolo di *Ψυχολογία, hoc est de hominis perfectione*. Affermatosi poi definitivamente nell'uso con Leibniz e con la scuola wolffiana, divenne termine comune per designare ogni dottrina sulla natura dell'anima che fosse stata professata fin dall'antichità, quando ancora non si parlava di p. ma solo d'indagini *περὶ ψυχῆς* o *de anima*. Più tardi, fra il sec. 18° e il 19°, lo sviluppo sia della filosofia sia della scienza portò a una determinazione più specifica del dominio della psicologia. Essa si conformò infatti come scienza empirica di quel mondo della consapevolezza, che la filosofia studiava dal punto di vista trascendentale, e che la fisiologia e la fisica indagavano solo nei suoi riflessi esterni. A tale significato, che la p. ha mantenuto nell'età moderna, corrisponde la forma tecnicamente più evoluta che essa è venuta assumendo in quanto si è presentata come p. scientifica, basata cioè sugli stessi metodi delle scienze naturalistiche.

Le concezioni dell'anima nel mondo antico. L'idea generale dell'anima (→), che appare presupposta dalle più antiche riflessioni greche circa la sua natura, è quella che si constata propria dei primitivi e costitutiva di ogni animismo: l'anima è cioè considerata non tanto come principio di consapevolezza, quanto come generale principio di vita, identificandosi (conformemente all'originario significato delle sue designazioni) con il soffio vivificante del respiro. Di qui, per es., il tipico parallelismo istituito da Anassimene tra l'aria principio della vita cosmica e l'anima principio della vita corporea. La concezione dell'anima come sede della coscienza, e quindi come principio della responsabilità e del valore morale, si afferma infatti essenzialmente nel sec. 5° a.C. Da un lato essa è implicita nell'insegnamento morale di Socrate; dall'altro risulta dal consolidamento etico-metafisico, operato da Platone, della tradizione orfico-pitagorica, già teoricamente sistemata nel secolo

precedente e asserente l'immortalità dell'anima e la metempsirosi. Nella filosofia di Platone si incontra infatti per la prima volta una vera e propria p. come particolare dottrina speculativa concernente la natura dell'anima. Approfondendo l'idea pitagorica della sua trasmigrazione attraverso varie esistenze corporee, Platone ne asserisce anzitutto l'immortalità, con più di una dimostrazione. Eterna, l'anima ha quindi sperimentato, prima di entrare in un dato corpo, infinite esistenze anteriori; è stata nell'Iperurano, la divina regione 'sopraceleste', dove ha contemplato le idee, che può quindi ricordare in Terra (per 'reminiscenza' o 'anamnesi') quando vi sia indotta dalla somiglianza delle cose sensibili. Da questa sostanziale indipendenza dell'anima rispetto al corpo deriva la forma più tipica della morale platonica, come etica dell'ascesi e della purità. L'imperfezione e l'errore sono infatti attribuiti esclusivamente al corpo, essendo l'anima in sé superiore a ogni passione, che possa distrarla dalla contemplazione ideale e dalla conseguente azione retta. Si tratta semplicemente di mantenerla immune dalla corporeità, nonostante la prigionia in essa, e di prepararla, con la meditatio mortis, alla liberazione. Ma questa p. rigorosamente ascetica non è esclusiva in Platone, poiché in lui si incontra anche una diversa p., secondo la quale il mondo delle passioni, e quindi il fondamento degli errori e dei vizi, non è affatto estraneo all'anima in quanto meramente corporeo, ma anzi a essa intrinseco, sia pure come suo costituente inferiore. È questa la p. che specialmente si presenta nella Repubblica (→) e nel Fedro (→), con la partizione dell'anima nelle due sfere del «razionale» (λογιστικόν) e dell'«irrazionale» (ἄλογιστον), l'ultima delle quali distinta a sua volta nella sfera degli impeti (θυμοειδές) e in quella dei desideri (ἐπιθυμητικόν), e con la corrispondente sua comparazione al cocchio, in cui la parte razionale è rappresentata dall'auriga e l'irrazionale dai due cavalli mordenti il suo freno. Aristotele dedica alla p. uno speciale trattato, in 3 libri, il De anima (trad. it. Sull'anima) (→). Questo peraltro contiene soprattutto la forma più matura della sua p., indipendente, se si esclude la teoria dell'intelletto, dall'influsso platonico. Da questo è invece totalmente determinata la p. giovanile di Aristotele, espressa, per es., nel dialogo Eudemo. Qui egli partecipa ancora pienamente della persuasione platonica dell'immortalità, mentre la sua posteriore critica della trascendenza delle idee platoniche implica anche la rinuncia alla tesi dell'immortalità indipendente dell'anima. Come l'idea esiste solo in questa forma della materia, nella concretezza indissolubile della sostanza individua, così l'anima vive solo come forma della materia corporea, o come attualità (o «entelechia») della sua potenza, secondo il tipico aspetto dinamico della dualità fondamentale della metafisica aristotelica. Di qui la concezione (particolarmente espressa nel De anima) dell'anima come forma vitale e organica del corpo, principio quindi di vita vegetativa e sensitiva. Nell'uomo il potere dell'anima culmina nella funzione «dianoetica» o «pensante», a cui appartengono tutte le attività proprie dell'essere razionale. La suprema forma di questa attività pensante, quella dell'«intelletto», è d'altronde per un lato facoltà dell'anima, e per un altro trascendente rispetto all'anima, perché, se intrinseco a essa è l'«intelletto per cui tutto [l'anima] diviene», cioè la volontà d'intendere nella sua pura potenzialità, a essa superiore, in quanto universale e «divino» e

«sopraggiungente dall'esterno», sembra essere l'«intelletto agente», cioè l'effettivo principio dell'intendere. Le dottrine platoniche e aristoteliche sono fondamentali per tutta la p. classica: il pensiero posteriore, infatti, o si limita a negarle, tendendo a dissolvere il concetto dell'anima e con ciò a eliminare il tema stesso della scienza, o ne compone ed elabora in vario modo i motivi. La prima tendenza è soprattutto rappresentata dall'epicureismo, che, rinnovando la concezione democritea, considera l'anima come anch'essa composta di atomi, per quanto di particolare rotondità e levigatezza, e quindi dissolubile per la morte al pari del corpo. Più decisa e consapevole è l'eredità platonico-aristotelica nella p. stoica (specialmente, com'è naturale, nel periodo eclettico rappresentato dalla 'media stoa') e in quella neoplatonica. Torna anzitutto nello stoicismo la concezione dell'anima cosmica: esso concepisce infatti la forma divina, che immanendo nel cosmo lo costituisce e governa secondo la sua razionale provvidenza, come πνεῦμα (spiritus) vivificante il corpo terrestre, e dà poi lo stesso nome all'anima del singolo individuo, comprendendo cioè l'una e l'altra sotto il medesimo antico concetto del respiro vitale. In sé, poi, l'anima si divide in una parte razionale, o «dirigente» (ἡγεμονικόν: a cui peraltro appartiene non solo la conoscenza teorica, ma anche il regno delle tendenze e della volontà), nelle cinque facoltà sensibili, nella capacità del linguaggio e in quella della generazione. Si vede quindi come la p. stoica classica componga motivi rispondenti alla concezione etico-razionale dell'anima, propria di Platone, con altri riferentisi piuttosto all'idea aristotelica dell'anima quale principio di vita organica. Ma la sintesi ultima e maggiore della p. classica è data dal neoplatonismo. Motivo principale della sua concezione dell'anima è quello della sua funzione mediatrice tra l'ideale e il reale, già teorizzata da Platone. Così nel massimo pensatore neoplatonico, Plotino, l'anima, concepita come universale principio cosmico al pari di quella del Timeo (→) e del πνεῦμα stoico, appare come ultima nella gerarchia, discendente verso il mondo della materia, delle tre ipostasi ideali. Dal supremo grado ontologico dell'Uno discende infatti il grado puramente gnoseologico dell'Intelletto e dell'intelligibile, e da questo quello dell'Anima (terza ipostasi): partecipe del divino e dell'ideale, l'anima ne condivide l'unità, ma, confinante con la materia terrena e principio animatore del cosmo, si riverbera negli esseri molteplici.

Le concezioni medioevali. Questa enciclopedica sintesi della p. classica, operata dal neoplatonismo, si riconnette d'altronde alle concezioni primitive del cristianesimo, la cui evoluzione dogmatica è contemporanea a quella del neoplatonismo e legata a essa da reciproci influssi, soprattutto nell'elaborazione del dogma trinitario. La terza persona della Trinità, lo Πνεῦμα Ἅγιον «Spirito Santo», ripete nel nome una delle più classiche designazioni dell'anima, o almeno della sua superiore facoltà intellettuale. S'intende quindi come l'interpretazione neoplatonizzante del dogma cristiano possa concepire la trinità cristiana in forma pressoché analoga alla trinità neoplatonica. D'altra parte, se questa interpretazione del dogma trinitario fa rientrare nella Trinità il principio dell'anima come momento singolo e inferiore, la p. di Agostino riflette nella

stessa anima umana quella trinità nella sua interezza, considerando la psiche come costituita di un principio triadico, conformato a immagine e somiglianza di quello intrinseco alla natura divina. Ma i problemi maggiori della p. cristiana vengono in luce quando, nella filosofia scolastica, alla tradizione platonico-agostiniana, continuata dal misticismo e dal francescanesimo, si oppone la teologia domenicana, che, per opera principalmente di Tommaso d'Aquino, compie un grande sforzo per interpretare in senso cristiano l'insegnamento peripatetico. La dottrina tomistica accetta alcuni fondamentali principi dell'aristotelismo, anche la dottrina dell'individuazione tramite la «materia signata» – il corpo per l'anima –, ma nello stesso tempo vuole garantirne l'immortalità in base all'autonomia dell'intendere. Tommaso combatte quindi l'interpretazione averroistica della dottrina aristotelica, secondo la quale l'intelletto, sia attivo sia potenziale, sarebbe del tutto separato rispetto all'anima individuale, priva, di conseguenza, anche di quell'elemento di divinità e d'immortalità che avrebbe potuto esserle attribuito in base alla problematica dottrina aristotelica. Così il problema dell'immortalità è risolto dalla p. tomistica in connessione con quello dell'intelletto. Avversaria di questa interpretazione è invece la p. di Sigieri di Brabante, che accetta l'interpretazione averroistica della dottrina aristotelica. Nel Rinascimento, la scuola degli «alessandristi», principalmente rappresentati da Pomponazzi, dà il colpo di grazia alla dottrina aristotelico-tomistica dell'immortalità, seguendo l'interpretazione aristotelica di Alessandro di Afrodisiade.

L'età moderna. La p. moderna s'inizia propriamente con Cartesio e con il suo rinnovato metodo d'indagine filosofica della realtà. La ricerca psicologica non si riferisce più all'anima come a tema dato, spesso limitato a tentativi di conciliazione dei suoi predicati platonici e aristotelici con le esigenze religiose. Quel che anzitutto importa è l'accertamento stesso dell'esistenza dell'anima, al pari di quella di ogni altra realtà che pretenda a tale riconoscimento da parte del pensiero. Tale accertamento discende, e nel modo più diretto, dalla scoperta cartesiana, che valorizza il grande motivo, a cui già aveva accennato Agostino, della certezza di sé. Questa è infatti, anzitutto, certezza di sé come sostanza pensante, prima ancora che come sostanza estesa; quest'ultima, infatti, si conosce con certezza solo dopo la dimostrazione dell'esistenza di Dio e la conseguente garanzia della veridicità dei sensi esterni. Si è certi di essere anima più immediatamente di quanto si sia certi di essere corpo. D'altronde la contrapposizione dell'anima come *res cogitans* al corpo come *res extensa* toglie alla prima ogni carattere di corporeità, presentandola come pura funzione pensante. Di qui la concezione occasionalistica del suo rapporto con il corpo (→ occasionalismo). Il fatale determinismo di questa concezione viene in massima luce nella filosofia di Spinoza, per cui l'anima, modo singolo dell'unica e infinita sostanza secondo l'attributo del pensiero, corrisponde del tutto al suo corpo, modo singolo della stessa sostanza secondo l'attributo dell'estensione, non essendone che la concreta consapevolezza (*idea corporis*). Se da un lato questa p., concependo l'accadere psichico come determinato da una necessità causale del tutto analoga a

quella che si manifesta nel mondo dell'estensione, conduce a privare l'anima della sua libertà d'arbitrio, d'altro lato, considerando il mondo della sua cogitatio come praticamente illimitato perché non entra mai in urto contro l'ostacolo della realtà estesa, contribuisce alla risoluzione dell'intera realtà nell'esperienza pensante dell'anima. S'intende quindi come, per tale via, si possa giungere alla concezione di Leibniz, che riduce l'Universo al contenuto psichico, consapevole o inconsapevole, delle monadi. D'altra parte, questo stesso riconoscimento dell'intrinseca illimitatezza dell'anima in quanto centro di consapevolezza e di conoscenza conduce a poco a poco alla dissoluzione del suo classico carattere di oggettività sostanziale. Tale evoluzione si attua specialmente per opera della gnoseologia empiristica inglese. Locke combatte l'innatismo cartesiano, cioè la dottrina dell'esistenza nell'anima di idee innate, determinate da Dio prima di ogni esperienza sensibile, mostrando invece come ogni contenuto psichico derivi da quella esperienza tramite processi interiori di astrazione e di associazione; e dà così, proseguendo Hobbes e anticipando Hartley, il più vivo impulso alla p. dell'associazione. Ma la considerazione del mondo psichico come semplice processo associativo di conoscenze richiama in dubbio la stessa esistenza, e preesistenza, dell'anima come sostanza, la cui idea viene quindi ridotta da Locke a quella di un oscuro «non so che». Berkeley completa l'opera di Locke riducendo a contenuto di percezione ogni oggettiva realtà; egli, nella sua fede cristiana, sente il proprio mondo composto soltanto della divinità e degli spiriti senzienti come società religiosa di Dio e delle anime, anche se peraltro il termine anima non appare quasi mai nei suoi scritti. Più deciso, Hume allarga la negazione berkeleyana della «sostanza estesa» alla «sostanza pensante», dimostrata anch'essa semplice «fascio di sensazioni» interiori; e mette in luce come la gnoseologia moderna (in quanto teoria dell'attività pensante) concluda nella negazione di quella stessa p. classica (in quanto teoria della sostanzialità dell'anima) con cui essa aveva fatto corpo nel primo periodo del suo sviluppo. Lo scetticismo humiano, d'altronde, è negazione non soltanto della p. ma anche della gnoseologia, almeno in quanto scienza filosofica che possa stabilire leggi assolute oltre a quella della riduzione di ogni realtà a puntuale esperienza soggettiva. Kant, che restaura la gnoseologia su nuova base con il suo principio del trascendentale o dell'a priori, determina nello stesso tempo chiaramente il passaggio per cui dalla stessa crisi della p. classica, come dottrina filosofica dell'anima-sostanza, nasce la p. moderna, come analisi e classificazione empirica dei fenomeni psichici. Il terreno dogmatico, dal quale prende le mosse la critica di Kant, è costituito in questo caso dalla dottrina wolffiana, la cui p. razionale, da un lato, vorrebbe teorizzare le facoltà razionali dello spirito e, dall'altro, continuare a concepire questo nella vecchia forma oggettivistica dell'anima. Kant designa i suoi ideali momenti costitutivi con il nome di paralogismi della p. razionale: essi consistono nella traduzione dialettica di attributi trascendentali dell'esperienza pensante in qualità oggettive della sostanza psichica. Così, per es., dall'assoluta soggettività di tale esperienza si deduce la sua sostanzialità, essendo appunto la sostanza ciò che è sempre soggetto e mai predicato; dalla sua assoluta unità di coscienza, il suo carattere di sostanza semplice; e via

dicendo. In ciascuno di tali paralogismi ciò che il pensiero avverte in sé medesimo come condizione trascendentale della sua attività viene illecitamente considerato come pertinente a una realtà, che di tale attività è invece soltanto l'oggetto. In tale critica e distinzione kantiana si può quindi vedere a buon diritto la fine della storia della p. quale scienza filosofica dello spirito. Vero è che pur dopo Kant si continua talora a parlare di anima e di p. anche in senso propriamente filosofico; e, per es., lo stesso Hegel serba a tali concetti un posto nel suo sistema dialettico della filosofia dello spirito. Considerata nei suoi motivi fondamentali, la filosofia idealistica, che più propriamente continua la tradizione kantiana, insiste sull'eliminazione della p. dall'ambito filosofico, sostituendo il concetto soggettivo dell'io a quello oggettivo dell'anima. Così, la crociana «filosofia dello spirito» ha dato talvolta a sé stessa anche il nome di p. trascendentale, per dare maggior rilievo al principio per cui essa restringe l'intero campo della filosofia alla teorizzazione delle forme spirituali, che lo spirito stesso compie riflettendo su sé stesso: ma questa p. è appunto perciò cosa affatto diversa dalla p. descrittiva ed empirica. Allo stesso modo la gnoseologia gentiliana comporta la negazione del valore filosofico di ogni p., fatta rientrare nell'ambito esclusivo delle scienze positive, appunto in quanto la p. presuppone l'esistenza oggettiva, ossia come un fatto, della realtà psichica, mentre la filosofia, secondo la dottrina gentiliana, importa la considerazione della psiche come atto pensante o soggettività.

L'affermarsi della psicologia scientifica. La distinzione di una p. empirica o scientifica dalla p. filosofica o razionale risale a Wolff, il quale appunto distribuì in due opere distinte, *Psychologia empirica* (1732) e *Psychologia rationalis* (1734), la sua trattazione dei problemi della psicologia. Solo però nella seconda metà del sec. 19° la p. empirica ottenne sistemazione scientifica. La p. dell'inizio dell'Ottocento rimase invece legata a un'impostazione strettamente descrittiva nell'ambito di una filosofia empiristica. Notevoli contributi in questo senso furono apportati dalla scuola scozzese (Reid, Stewart, ecc.), in particolar modo da Brown, cui si deve una raffinata elaborazione delle tesi associazionistiche, da J. Mill e da J.S. Mill. Ma già si avvertono le prime influenze che porteranno la p. a costituirsi come disciplina scientifica. Gli scritti di p. di Bain, largamente diffusi, sembrano infatti ispirati piuttosto ai metodi della storia naturale che alle classiche posizioni associazionistiche; vi compaiono per la prima volta una trattazione sul cervello e il sistema nervoso e un preciso interesse per il comportamento animale. Di determinante importanza risulta inoltre, sempre all'inizio dell'Ottocento, l'apporto della ricerca fisiologica; la scoperta dell'esistenza di diversi tipi di nervi, rispettivamente sensori e motori (Ch. Bell, 1830), conduce a formulare l'ipotesi dell'energia specifica dei nervi, svolta poi da J. Müller, e le ricerche sulle funzioni specifiche di parti del cervello (P. Flourens) danno impulso alla teoria delle localizzazioni (P. Broca, G. Fritsch, E. Hitzig), sistematizzata infine autorevolmente da D. Ferrier (1876). Furono molti, sul finire del secolo, gli autori che sostennero la complementarità di fisiologia e p. (per citare solo i più famosi, Wundt e James). Un ulteriore influsso esercitò poi nel campo della

p. la teoria darwiniana dell'evoluzione; seguendo l'esempio di Darwin (*The expression of the emotions in man and animals*, 1872; trad. it. *L'espressione dei sentimenti nell'uomo e negli animali*), una serie di studiosi applicò la prospettiva evoluzionistica allo studio del comportamento, determinando la nascita di una p. comparata (D. Spalding, G.J. Romanes, C. Lloyd Morgan, Hobhouse). Né è da trascurare l'importanza delle ricerche psicopatologiche, specie in Francia nell'ambito della psichiatria (Ph. Pinel, B.A. Morel) e della neurologia (J.M. Charcot, A.A. Liebeault, H. Bernheim). In Germania l'opera di Herbart, pur negando ancora alla p. lo status di scienza naturale, aveva introdotto l'idea dell'applicabilità di strumenti matematici allo studio dei fenomeni psichici: i concetti di soglia di coscienza e di misurabilità dei contenuti psichici, teorizzati poi da G. Fechner, ne furono il logico sviluppo. Si creò su questa base una nuova disciplina, la psicofisica, influenzata dalle ricerche sulla fisiologia della sensazione di E.H. Weber, sulla scorta delle fondamentali acquisizioni di Müller; s'indagarono sistematicamente i rapporti tra stimolo e sensazione, nel tentativo di formulare leggi quantitative universalmente valide (secondo i metodi fechneriani rimasti classici: metodo dei limiti o delle minime differenze percettibili, metodo della costanza, metodo dell'errore medio). Fondamentale per i problemi suscitati dalla misurazione dei tempi di reazione fu la scoperta della velocità di trasmissione dell'impulso nervoso effettuata da Helmholtz intorno al 1880. L'uso della sperimentazione accoppiato all'utilizzazione di metodi statistici condurrà infine a quella p. delle differenze individuali che aveva trovato nell'opera di F. Galton in Inghilterra la sua prima caratterizzazione scientifica. Nel 1879 Wundt fondò il primo importante laboratorio sperimentale a Lipsia, impiegando sistematicamente l'introspezione onde accertare i processi psichici intercorrenti tra uno stimolo controllabile e misurabile (con i metodi della fisiologia sperimentale) presentato a un soggetto e la sua risposta; l'isolamento delle variabili sperimentali (stimolo e risposta) consentì d'indagare in modo rigorosamente obiettivo la correlazione tra variazione delle condizioni iniziali e variazione degli effetti finali. Nasceva la p. sperimentale (o p. fisiologica) propriamente detta. Si studiarono così il grado di percettibilità di uno stimolo in rapporto al variare intensivo dello stesso (metodo psicotecnico); la durata dell'intervallo tra stimolo e risposta (metodo psicocronometrico); le variazioni organiche connesse al decorso di determinati processi psichici (metodo psicofisiologico). Assiomi di questa nuova p. possono considerarsi i seguenti: oggetto di studio sono i processi e gli stati di coscienza; fra stati di coscienza e stimolazioni esterne sussiste una relazione costante; tutti i dati psichici sono riconducibili mediante analisi a elementi semplici, i contenuti complessi sorgono per associazione di elementi semplici. La storia della p. scientifica nel 20° sec. coincide in buona parte con il processo di dissoluzione di questi presupposti. In contrapposizione all'elementarismo delle posizioni associazionistiche s'imporrà, con W. Köhler, K. Koffka e M. Wertheimer, la p. della forma (*Gestaltpsychologie*), i cui precedenti possono ricondursi ai lavori di Ch. von Ehrenfels e alla p. della totalità di F. Krüger e dei suoi discepoli. Il presupposto che oggetto della p. dovessero essere solo i processi e gli stati della coscienza fu invece sottoposto a critica e

respinto da cultori di p. comparata e in partic. di p. animale. Il risultato più cospicuo di questa revisione fu la fondazione del behaviorismo da parte dell'americano J.B. Watson: abbandonando le sterili, a suo parere, indagini su ciò che accade all'interno della coscienza, la p. doveva volgersi a studiare il «comportamento» dell'individuo, che solo può essere oggetto di osservazione oggettiva. Il behaviorismo ottenne un grande e duraturo successo negli Stati Uniti. Campo di lavoro preferito del behaviorismo, che esclude rigorosamente il ricorso all'introspezione e ai metodi fenomenologici, è la p. comparata. Sempre ai fini della costituzione di una p. obiettiva, furono di notevole rilievo alcune posizioni teoriche sorte in Russia a opera di W. Bechterev e riprese poi dal fisiologo I.P. Pavlov (1903) che, con le esperienze sui riflessi condizionati, dette origine alla riflessologia, una corrente che ha assunto un particolare sviluppo e una definitiva collocazione scientifica nella p. contemporanea. Su un altro piano, un superamento del soggettivismo in p. fu attuato dalla psicoanalisi (→) di Freud, che, introducendo il concetto dell'inconscio, impose una radicale revisione della p. nei suoi concetti fondamentali. Per gli inizi degli studi di p. scientifica in Italia vanno ricordati Ardigò, E. Morselli, A. Tamburini, De Sarlo, G. Buccola, G. Sergi, A. Mosso e S. De Sanctis.

La psicologia scientifica. Nel linguaggio comune, con l'espressione p. di una persona, o di un popolo, o di una categoria di individui, uomini o animali, si indica l'insieme delle loro caratteristiche più intime e stabili, in rapporto solo mediato con le condizioni fisiche, economiche, culturali, ecc. Di conseguenza «essere psicologo» nel linguaggio corrente indica appunto la capacità di sapersi calare nei panni altrui, d'immedesimarsi nelle qualità più significative e intrinseche degli altri, così da poterne cogliere il nucleo essenziale, lo spirito, l'anima. Il ricorso a questi ultimi termini, che ancora riecheggia concezioni filosofiche classiche (tipico è il trattato di R. Göckel, 1590), considerando implicitamente la p. come un dono pressoché magico, ha ostacolato notevolmente l'avvento di un'immagine di essa con caratteri comuni alle altre scienze. Se di norma l'uso degli stessi termini nel linguaggio popolare e in quello scientifico frustra la loro definizione univoca e la corretta comunicazione fra gli uomini, ciò risulta particolarmente frequente nel caso delle scienze dell'uomo e della p. in partic. che, come riconobbe T. Ribot, «ha un lungo passato e una storia breve». Oltre a questo problema di comunicazione, un'altra più sostanziale difficoltà deriva dalle fonti primarie di conoscenze psicologiche; esse appaiono infatti viziate dalla loro duplice, antitetica natura: soggettiva e oggettiva.

Informazioni sulla vita psichica possono infatti derivare o dallo stesso individuo che si osserva mediante un atto d'introspezione, i cui risultati non sono verificabili né obiettabili, ovvero da un'osservazione simile a quella attuata nelle scienze empiriche, che cioè rileva e interpreta determinati aspetti del mondo esterno: generalmente il comportamento altrui, raramente il proprio. Ma questo oggetto di studio della p. può essere conosciuto solo mediante l'esperienza intima e personale del singolo osservatore, il quale ogni volta stabilisce una sorta di proporzione: quando io ho vissuto un certo stato d'animo, in una data situazione, mi stavo

comportando in un dato modo; se nella stessa situazione riscontro gli stessi comportamenti tenuti da un'altra persona, posso ipotizzare che anch'essa stia vivendo quel mio stato d'animo. Questa è un'operazione tutt'altro che esente da rischi, nella misura in cui all'osservatore possono sfuggire aspetti rilevanti della situazione ambientale o del comportamento reattivo della persona. Inoltre l'interpretazione è radicalmente condizionata dall'esperienza dell'osservatore, che non può attribuire ad altri gli stati d'animo che non ha mai avuto occasione di vivere. La precarietà di ciascuna e l'interdipendenza delle due fonti basilari di conoscenze psicologiche hanno offerto un facile compito a molti critici. Per questo o si è adottato il provvedimento radicale di escludere la p. dal novero delle scienze, ovvero singole correnti di psicologi hanno optato per l'uno o per l'altro procedimento conoscitivo, con la conseguenza di definire in modo diverso la stessa psicologia. Chi ha scelto come fonte prevalente l'introspezione (per es., Wundt, O. Külpe e la sua Scuola di Würzburg) considera la p. come la scienza dell'esperienza soggettiva immediata, anche se, radicalizzando la posizione, dovrebbe rinunciare a una scienza generalizzabile e accontentarsi di un'occasionale raccolta di «fatti di coscienza» non comunicabili. Chi preferisce osservare il comportamento (per es., Watson e la scuola del behaviorismo, le scuole psicofisiologiche e riflessologiche) dovrebbe, d'altro canto, rinunciare a interpretarlo alla luce della propria esperienza, e farebbe della p. una scienza solo descrittiva di determinate condizioni del mondo fisico. Tuttavia, riconoscendo la necessità di soddisfare a un fondamentale bisogno conoscitivo dell'uomo, gli psicologi contemporanei si sono sforzati di realizzare la p. come un patrimonio trasmissibile e generalizzabile, almeno per determinati scopi pratici, superando con realismo alcuni sofismi pregiudiziali, affrontando altri ostacoli con ingegnosi espedienti, sanando volta a volta le carenze di un metodo con il ricorso ad altri più attendibili. Per es., la pregiudiziale che l'introspezione, se fosse realmente una conoscenza immediata, farebbe vedere all'uomo soltanto «sé stesso che guarda sé stesso», viene superata ammettendo che l'atto introspettivo può essere condotto sulle tracce di esperienze vissute, delle quali il soggetto riprende coscienza a qualche distanza di tempo. In campo psicologico si ritrova, in sostanza, il procedimento con il quale una persona può conoscere qualcosa della propria fisionomia grazie al proprio ritratto fotografico, che non la mostra quale è, ma quale è stata. È da rilevare al riguardo una curiosa inversione cronologica dei modi tenuti dall'umanità per conoscere, fin dai tempi mitici, la propria fisionomia attraverso lo specchio. Il ricorso a una sorta di «specchio psicologico» è invenzione assai recente (primi decenni del sec. 20°, con Freud e H. Rorschach), che utilizza un processo inconscio di proiezione, inattuabile a fini conoscitivi, da parte del singolo individuo. Come non era stato considerato dalla filosofia e dalle scuole psicologiche introspezioniste, l'atto introspettivo è risultato viceversa molto carente, perché incapace di cogliere l'enorme patrimonio dello psichismo inconscio, alla cui scoperta evidentemente potevano contribuire solo i procedimenti di osservazione dall'esterno. È dunque giustificato ormai considerare la p. come scienza matura per affrancarsi dalla soggezione al pensiero filosofico, perché «ricondere gli attuali problemi della p. alle dottrine dei grandi

filosofi del passato, come se le stesse parole si applicassero agli stessi problemi, confrontare il pensiero degli sperimentatori contemporanei con quello di Cartesio o di Kant, di Condillac o di Maine de Biran, come se questi pensieri fossero attuali, è un falsare la storia, prestando a tali dottrine un orientamento pragmatico che non è generalmente il loro, oppure, ciò che avviene più spesso, è un disconoscere lo spirito delle ricerche attuali, associando loro certe preoccupazioni metafisiche che sono loro estranee» (P. Guillaume). Partendo da un magma di intuizioni personali elevate a sistema, nel quale fin dalla filosofia greca i vari autori avevano concettualmente distinto facoltà e funzioni contrapposte (intelletto-passioni; istinti-volontà; sensazioni-percezione, ecc.), il patrimonio di conoscenze psicologiche si è arricchito e articolato con l'introduzione di nuovi metodi d'indagine, ciascuno dei quali fertile di risultati ottenuti applicandolo a situazioni e per scopi diversi. Il continuo intreccio fra scopi conoscitivi ed eventualmente, in secondo tempo, applicativi e i mezzi per conseguirli scelti dai vari studiosi porta a distinguere molteplici rami, scuole, correnti, e spiega i nomi e gli attributi diversi dati ai vari capitoli di una medesima e unitaria scienza psicologica. Benché sia scontato che le conoscenze scientifiche tendono a riprodurre con la maggiore fedeltà possibile i modelli dei fenomeni che loro competono, questa aspirazione può essere variamente soddisfatta da definizioni qualificate in parole (per es., una diagnosi della p. clinica), o quantificate in valori numerici (per es., il quoziente intellettuale calcolato dalla psicomelia). Come in altre scienze, con l'espressione numerica si vogliono facilitare le manipolazioni e i confronti fra i fenomeni reali e i loro eventuali modelli astratti presenti, passati o futuri, favorendo lo studioso col supporto di operazioni già ben codificate e sicure come sono quelle adottate dal pensiero matematico. Condizione fondamentale delle conoscenze scientifiche è infatti quella di essere verificabili, cioè ripetibili nel tempo nelle stesse condizioni e anche, com'è ambizione di tutte le scienze, prevedibili nel futuro. È proprio grazie a questa prevedibilità che la conoscenza, tendente solo ad appagare un bisogno astratto, può diventare utile per determinati scopi operativi. Le conoscenze possono privilegiare, secondo i bisogni, l'aspetto relativamente più generale e dinamico dei fenomeni, per es., il loro modo di evolversi nel tempo, unica dimensione del mondo fisico in cui esistono i fenomeni psichici. Lo studio psicologico longitudinale o diacronico tende appunto a soddisfare tale programma, per es. rilevando gli effetti di un processo di apprendimento. Viceversa una conoscenza più contingente e particolareggiata di fenomeni considerati all'istante (per es., un'illusione percettiva) viene meglio soddisfatta dall'impiego di metodi trasversali o sincronici. Le conoscenze possono rivolgersi di preferenza o verso le caratteristiche proprie ed esclusive di un determinato fenomeno (del quale tendono a dare un'immagine idiografica), oppure a identificare le caratteristiche di un dato fenomeno comuni e comparabili con quelle di altri relativamente simili (con un approccio nomotetico): a seconda dei casi si viene a costituire il bagaglio di una p. differenziale o di una p. generale. Secondo le specifiche necessità conoscitive o applicative, varie combinazioni vengono adottate per la scelta del metodo più adatto. L'impiego di tali metodi è evidentemente condizionato dal grado di sviluppo

scientifico e tecnologico del luogo e del momento in cui si svolge la ricerca di tale conoscenza. Per la particolare natura dell'oggetto di studio della p. in genere, l'attuazione di qualsiasi ricerca non può prescindere da un operatore umano più o meno direttamente coinvolto nel contenuto dell'indagine, ma protagonista di ogni sua fase. Perciò molte conoscenze acquisite sono fortemente ipotecate dalle caratteristiche non solo tecniche ma anche etiche dello psicologo. Se questa interferenza è enorme nell'applicazione del metodo introspettivo, è pur sempre rilevante nell'ambito di qualsiasi altro metodo, come accade peraltro in tutte le scienze, dove l'obiettività resta sempre una meta da perseguire, anche se irraggiungibile. Rispetto ad altri, lo studioso di scienze umane è solo avvantaggiato dal fatto che egli si rende conto di questa ineluttabile tara. Lo stesso psicologo è dunque da considerare parte dello strumentario, concettuale e operativo, con il quale si applicano i procedimenti d'indagine. La sua formazione culturale, a parità di ogni altra condizione, lo induce a preferire l'uno o l'altro procedimento, così da realizzare patrimoni conoscitivi anche radicalmente diversi che già portarono Wolff a illustrare una p. empirica (1732) e una p. razionale o filosofica (1734). Molteplici implicazioni derivano da questi due modi di fare p., addirittura con una sorta di capovolgimento del valore tradizionale dei termini. La p. razionale o filosofica è considerata ormai una materia prescientifica, perché largamente poggiata su intuizioni non sempre controllabili, forse vicine a manifestazioni artistiche di comprensione empatica. Dilthey (1894), e con maggiore precisione Spranger (1924) con la sua *verstehende Psychologie*, pur essendo sostanzialmente aperti alla p. come scienza empirica (una concezione che lo stesso Kant aveva incoraggiato, mostrando l'insostenibilità di una p. filosofica in senso stretto), furono esponenti di questo orientamento, che gli storici della p. di lingua inglese ironicamente chiamarono *armchair psychology* («p. della poltrona»). La p. empirica, viceversa, è quella di gran lunga più affermata, tanto che il suo aggettivo è, di norma, sottinteso e perfino sostituito da scientifica. Il suo strumentario concettuale s'identifica sostanzialmente con quello delle scienze fisiche e biologiche, ma per l'ostentazione deteriorata delle attrezzature di laboratorio fu soprannominata *brass psychology* («p. degli ottoni»). Il suo procedere, soprattutto induttivo, tende a una precisa descrizione e a una spiegazione logica delle conoscenze raccolte, secondo una strategia adottata dallo stesso fondatore della p. moderna, Wundt. L'aggettivo più usato per indicare il carattere della p. moderna è quello di sperimentale, volendosi in tal modo connotare la materia attraverso il metodo delle sue acquisizioni. Il metodo sperimentale galileiano, che C. Bernard aveva applicato da pioniere (1865) in fisiologia e in medicina, fu introdotto nello studio dei processi psico-fisiologici da Wundt quando, nel primo laboratorio di p. aperto presso l'univ. di Lipsia (1879), sviluppò un tipo d'indagine che, nella stessa città, era stato delineato da Weber e definito nel 1860 da Fechner con il nome di psicofisica. Quest'ultimo autore si riprometteva l'ambizioso obiettivo di una *psychophysische Massformel*, cioè una «formula di misura psicofisica» atta a esprimere matematicamente i rapporti fra mondo psichico e mondo fisico attraverso il confronto sistematico dell'intensità degli stimoli e delle sensazioni da essi indotti. Lo schema del metodo

sperimentale prevede una variabile indipendente (cioè un oggetto-stimolo) controllata dallo sperimentatore, che agisce sul soggetto e determina in lui reazioni che vengono attentamente e fedelmente osservate, registrate, misurate in quelle dimensioni che lo sperimentatore ritenga rilevanti. Questi deve aver curato che sul soggetto nel frattempo non intervengano variabili accidentali atte a falsare il rapporto di causa-effetto fra le altre due categorie di variabili. Lo studio dei rapporti fra le caratteristiche quantitative e qualitative dello stimolo (per es., rumori improvvisi di varia intensità e tonalità) e quello delle reazioni umane, soggettive, cioè ricavate per introspezione (per es., sentimenti di maggiore o minore disagio), o oggettive, cioè ricavate dal comportamento controllabile (per es., mimico) o incontrollabile (per es., conducibilità elettrica della cute), avrebbe consentito allo sperimentatore di precisare alcune leggi sul modo con il quale il soggetto come intermediario 'trasforma' lo stimolo in reazione, ossia di scoprire alcune costanti sul modo di essere dell'uomo. Questo nuovo procedimento per attuare la ricerca psicologica, la sua complessità e i margini d'incertezza che esso comportava destarono resistenze notevoli al confronto con l'illusoria linearità del semplice studio introspettivo. Ma viceversa la possibilità di riprodurre in laboratorio l'essenziale di situazioni difficilmente osservabili per accadimento spontaneo e quindi l'occasione di affrontare lo studio sistematico o ripetuto di determinati processi psichici (eventualmente riproducendoli con sufficiente approssimazione su animali quando l'opportunità pratica o etica non consentiva lo studio sull'uomo) hanno favorito il successo del metodo. La precarietà dei risultati di un singolo esperimento, la massa di variabili che fatalmente sfuggiva al controllo dello sperimentatore, hanno stimolato l'ampio ricorso ad accorgimenti strumentali e concettuali. Accanto cioè all'affinamento tecnologico di attrezzature stimolatrici, registratrici e metriche, ha preso notevole sviluppo l'impiego di elaborate tecniche statistiche. Queste sono risultate atte non soltanto a rilevare l'andamento caratteristico dei fenomeni, mascherato da aberrazioni contingenti, e le loro correlazioni con altri, ma, più di recente, anche a guidare la progettazione degli esperimenti e stabilire il grado di attendibilità dei loro risultati. Questi sviluppi metodologici, applicabili sia ai dati di laboratorio sia a quelli di estensive rilevazioni «sul campo», sono talvolta indicati con l'espressione impropria di p. statistica o, peggio, di psicostatistica. L'indagine sperimentale tende soprattutto ad accertare l'andamento tipico e costante dei fenomeni, cioè un'astrazione di come essi avvengono, in genere, in un utopistico individuo «normale» (adulto, asessuato, «civile» ma estraneo a qualsiasi determinata cultura). In questo modo si costituisce una p. generale, che tuttavia lascia insoddisfatte molte esigenze pratiche, che riguardano individui concreti, con peculiari qualità, più o meno oscillanti intorno ai tipici valori medi o, al limite, francamente anormali o patologici. Con la p. differenziale si vuole appunto soddisfare a queste esigenze. A complemento dello studio nomotetico svolto dalla p. generale e differenziale, può essere invocato quello della p. clinica, tipicamente diretto allo studio idiopatico dei singoli casi, come risultanti da un irripetibile insieme di condizioni. Anche se, in pratica, il maggiore impiego della p. clinica riguarda individui di rilievo patologico, uno studio del genere può essere

diretto a casi (persone, gruppi) del tutto normali, essendo ciascuno di essi esclusivo per l'insieme delle condizioni che lo hanno determinato. L'esempio più tipico di una p. clinica può essere offerto dalla psicoanalisi freudiana, o dai suoi derivati dissidenti, fra i quali primeggiano la p. analitica di Jung e la p. individuale di A. Adler. Per il valore preminente che queste tre correnti del pensiero psicologico riconoscono ai processi inconsci, sottostanti cioè al livello di consapevolezza e di controllo volontario del comportamento del soggetto, esse vengono anche classificate nell'ambito della p. del profondo. Le stesse correnti, in partic. quella freudiana, con l'aggiunta di qualche scuola non propriamente psicanalitica (come la p. topologica di K. Lewin, la personologia di H. Murray e, in minor grado, la teoria fattoriale di R.B. Cattell e la teoria bio-sociale di G. Murphy, ecc.) vengono a far parte di una p. dinamica, interessata soprattutto ai processi inconsci d'interazione e di conflitto che si realizzano fra i singoli aspetti più elementari identificabili, secondo i vari autori, nella persona. Con queste ultime due si sono citati esempi di teorie denominabili sulla base della categoria dei fenomeni psichici ritenuti, dai loro cultori, preminenti nel caratterizzare tutta la vita psichica. Come tende a fare anche l'uomo della strada, al limite si possono denominare tante p. quanti sono gli aspetti e le funzioni della vita psichica, eventualmente considerati in una certa prospettiva o secondo una data metodologia. Esistono esempi classici e illustri, come la p. della memoria di H. Ebbinghaus, la p. dell'intelligenza di J. Piaget, la p. dell'apprendimento di B.F. Skinner, la p. della forma (o Gestaltpsychologie) inizialmente interessata, con M. Wertheimer, all'attività percettiva e poi ad altri settori quali, con Lewin, le dinamiche intra- e interpersonali. Si potrebbero al riguardo ricordare anche le varie p. della personalità (per es., di G.W. Allport, Murray), ma in tale ultimo caso si tratta soprattutto di un modo particolare di teorizzare sulla interazione fra tutte le strutture e funzioni della personalità. Una visuale diversa adottano invece alcune correnti del pensiero psicologico propense a descrivere i fatti psichici nel quadro di una p. genetica, cioè non tanto quali essi appaiono, ma secondo criteri onto- o filogenetici. Vanno ricordati al riguardo, da un lato, i contributi di Freud e di vari psicanalisti, di Piaget e di altri cultori della p. dell'età evolutiva; dall'altro, le concezioni biologistiche interessate all'eredità e all'evoluzione di caratteristiche psicologiche, nonché, in certo senso opposte ma complementari alle precedenti, le concezioni socio-psicologiche delle influenze culturali ambientali. Un'altra vasta fonte di terminologia deriva dalle occasioni d'impiego delle conoscenze psicologiche generali o settoriali, attinenti a singole persone o a categorie omogenee di individui. In aggiunta alle basilari conoscenze acquisite dalla p. generale, differenziale, clinica, sociale, ecc., quasi ogni campo di applicazione può offrire arricchimenti e specificazioni dei metodi e delle conoscenze in materia.

Sviluppi della psicologia contemporanea. Le prospettive che si aprono alla p. del 21° sec. sono radicalmente mutate rispetto alla fine dell'Ottocento, quando nei laboratori di fisiologia e scienze naturali fu dato l'avvio al progetto di una p. come scienza. L'autonomia della p. dalle altre scienze, sia sul versante biologico sia su

quello sociologico, non è più perseguita o comunque rispettata. La varietà e la coesistenza delle impostazioni teoriche e metodologiche non sono più ritenute un aspetto problematico della p. (come era accaduto negli anni Trenta del Novecento, quando si parlò di crisi della p. dovuta allo sviluppo di teorie psicologiche tra loro contrapposte). Si vanno anzi affermando, soprattutto in ambito applicativo, e in partic. nel settore della psicoterapia, correnti ibride o eclettiche che cercano di conciliare impostazioni un tempo ritenute contrapposte: per es., la prospettiva psicoanalitica combinata con quella fenomenologica, la prospettiva comportamentista con quella cognitivista. Gran parte della ricerca sperimentale relativa ai processi psichici di base (dalla percezione alla memoria alle pulsioni e alle emozioni) è condotta nell'ambito delle neuroscienze con tecnologie che indagano direttamente le operazioni cerebrali in corso. Le risposte manifeste del soggetto, che un tempo costituivano la modalità di accesso ai processi interni alla mente (considerata una black box), sono ritenute un correlato o una conferma di quanto viene determinato dalle neuroscienze. A queste ultime sembra che sia ormai destinato lo studio dell'architettura funzionale della mente umana: non solo nelle condizioni normali, ma anche in quelle patologiche, considerato il crescente sviluppo delle ricerche sulle basi genetiche e biologiche di vari disturbi del comportamento. Il ruolo della p., come hanno indicato gli orientamenti più recenti talvolta ricompresi complessivamente sotto l'espressione p. postmoderna, sarebbe invece quello di studiare come la mente umana si sviluppa in specifici contesti storici, culturali e sociali. La mente umana non adotta schemi fissi di comportamento o regole prefissate, ma modula sé stessa in relazione alle mutevoli condizioni contestuali. Più che una mente concepita come un computer i cui programmi sono rigidi, prefissati geneticamente, molte correnti della p. contemporanea insistono sulla compresenza di modalità diverse attraverso le quali la mente umana opera. Non può essere quindi più applicato il modello naturalistico della situazione di laboratorio in cui si studiano i processi psichici astraendoli dalla varietà dei contesti in cui, in modo altrettanto vario, essi si manifestano. Lo psicologo considera la mente umana come una sorta di 'testo' che si offre a letture diverse perché è la stessa mente che è capace di svolgere di volta in volta, da situazione a situazione, 'narrazioni' e 'discorsi' diversi (p. discorsiva). L'intercettazione di questo intreccio di narrazioni che un individuo umano sviluppa nel corso della propria vita rappresenta per molti psicologi contemporanei il fine della propria ricerca. Ritornano, in questa prospettiva, alcuni concetti che la p. ottocentesca o del primo Novecento aveva rifiutato perché richiamavano impostazioni filosofiche di tipo soggettivista, come il concetto di persona o di Sé. Psicologi come R. Harré, M. Billig e altri hanno sviluppato nei quindici anni a cavallo tra il 20° e il 21° sec. una corrente, spesso denominata p. discorsiva, nella quale si sottolinea il ruolo del discorso e della narrazione nella costruzione della propria personalità. In questo orientamento vengono abbandonati i principi di certa p. tradizionale, che sono fondati sull'idea di un soggetto universale, con caratteristiche normative di derivazione filosofica (la res cogitans cartesiana e l'Io trascendentale kantiano), e vengono valorizzati i percorsi individuali, impiantati in precisi contesti storico-

culturali, finalizzati alla realizzazione della propria personalità. Le metodologie impiegate per studiare questa dinamica personale non sono quelle quantitative, proprie dei laboratori di p. sperimentali, ma si fondano su procedure qualitative, sull'etnometodologia, sull'analisi della conversazione, ecc. Inoltre si ritiene che, per comprendere la complessità dei processi psichici umani, non sia adeguata un'impostazione 'universalistica' secondo la quale le caratteristiche di questi stessi processi sarebbero uniformi e omogenee nella specie umana sia nel corso della sua storia sia nelle varie culture presenti in un dato momento storico. La p. culturale (cultural psychology), che tra la fine del Novecento e i primi anni del 21° sec. ha avuto una crescente diffusione, rifiuta l'idea dell'universalità dei processi psichici: i processi cognitivi, dalla percezione al pensiero, e i processi dinamici, dalle emozioni alle relazioni interpersonali e sociali, assumono modalità strutturali e funzionali che sarebbero proprie di ciascuna cultura e, quindi, difficilmente traducibili e comparabili da cultura a cultura. Da un punto di vista teorico viene messo in risalto come il rapporto tra processi cognitivi e dinamici assuma forme e dimensioni diverse nelle varie culture. Un altro settore sviluppato dalla seconda metà degli anni Ottanta del 20° sec. nell'ambito della p. di orientamento cognitivista è l'ergonomia cognitiva, che affronta i problemi relativi ai processi cognitivi implicati nell'elaborazione di informazione veicolata o mediata da strumenti. La relazione operatore-computer è stata quindi la condizione più studiata.

Psicologia analitica

Enciclopedia del Novecento (1980)

di Vincenzo Cappelletti

sommario: 1. Le divergenze fra Jung e Freud. □ 2. I fondamenti della psicologia analitica.

1. Le divergenze fra Jung e Freud

'Psicologia analitica' è un'espressione che Jung usa la prima volta il 5 agosto 1913, in General aspects of psychoanalysis, conferenza letta alla Società psicomédica di Londra. Il 1913 è un anno cruciale nella storia del movimento psicanalitico. Il 3 gennaio Freud scrive a Jung da Vienna: "Le propongo di interrompere ogni nostro rapporto privato", e Jung risponde il 6 da Zurigo: "Mi atterrò al Suo desiderio di por termine ai rapporti

personali, poiché non impongo mai la mia amicizia. Del resto, quel che un tal momento significhi per Lei, Lei stesso saprà meglio di chiunque altro". Cruda allusione a un'amicizia ch'era stata intensa e ricca di speranze, come poche altre che gli epistolari scientifici abbiano tramandate. "Non so se avrò avuto o avrò fortuna o sfortuna - aveva scritto Freud a Jung il 2 settembre 1907, riferendosi a una conferenza sulla psicanalisi che Jung doveva tenere ad Amsterdam -, ma proprio in questo momento vorrei essere con Lei, gioire di non essere più solo, e raccontarLe, se Lei avesse bisogno d'incoraggiamento, dei lunghi anni di dignitosa ma dolorosa solitudine, che per me ebbero inizio appena ebbi gettato il primo sguardo sul nuovo mondo; della mancanza di partecipazione e comprensione degli amici più vicini; degli episodi angosciosi, quando io stesso credevo d'aver sbagliato, e meditavo come poter rendere ancora utile alla famiglia un'esistenza fallita; della convinzione che si consolidò poco a poco, e che poté poi sempre aggrapparsi all'interpretazione dei sogni come a una roccia nei flutti; e della pacata sicurezza che finalmente s'impadronì di me e m'impose di attendere finché una voce dall'ignota moltitudine rispondesse alla mia. Fu la Sua voce [...]". Poi, il consolidarsi di opposte convinzioni sulla natura dell' "accadere psichico" (quest'espressione pregnante deriva dal titolo d'un noto lavoro di Freud, apparso nel 1911 sullo "Jahrbuch für psychoanalytische und psychopathologische Forschung": Formulierung über die zwei Prinzipien des psychischen Geschehens).

Da una parte, l'affermazione del dato pulsionale, visto attraverso l' "apparato" psichico, cioè attraverso una dialettica di inconscio e coscienza mediata prima dalla censura, poi dal Super-Io (dopo *Das Ich und das Es*, del 1923). Nel carteggio tra Freud e Jung, fonte di giudizi rivelatori, troviamo un passo illuminante di una lettera di Freud dell'aprile 1908: "Sono alquanto seccato con Bleuler, perché vuole accettare la psicologia senza la sessualità, sicché tutto resta campato in aria. Invece i processi sessuali forniscono il fondamento organico che mancava, senza del quale il medico si trova sperduto nella vita psichica". E ancora: "Provo una repulsione di principio verso l'ipotesi che le mie idee sarebbero giuste, ma solo per una parte dei casi [...]. Non è possibile. O tutto o nulla". Dall'altra parte, lo stesso realismo, lo stesso bisogno di capire e definire la psiche, espresso con le medesime parole: nell'autobiografia di Jung leggiamo che gli anni di pratica al Burghölzli, la clinica psichiatrica dell'Università di Zurigo, erano stati ispirati da un "bruciante" interrogativo su quel che accade nel malato mentale. Ma accanto, anzi, dietro a ciò l'intuizione di una "realtà dell'anima" rispecchiata dalla struttura della psiche, presupposta dal bisogno interpretativo dell'Io verso i contenuti del proprio pensiero, implicita nella dialettica ubiquitaria tra segno e simbolo. Sullo sfondo della ricerca freudiana, cogliamo la possente unificazione fisicistica della natura, ottenuta da H. Helmholtz con la memoria del 1847 sulla conservazione dell'energia, e riproposta da E. W. Brücke, fisiologo dell'Università di Vienna e allievo, come lo Helmholtz, di J. Müller. Attorno a Jung, mediato da riferimenti culturali compositi e dalla personalità di E. Bleuler, il nosografo delle schizofrenie, troviamo un mondo diverso: una psicobiologia di remote ascendenze lamarckiane e le discipline convergenti nella tematica del simbolo.

Al IV congresso dell'Associazione Psicanalitica Internazionale, nel settembre 1913 a Monaco di Baviera, Jung si presenta con un'originalità di vedute irriducibile alle posizioni di Freud: il distacco anche dal consesso associativo è maturo. Nell'aprile 1914 Jung si dimetterà dalla presidenza dell'Associazione, sostituito interinalmente da K. Abraham; a luglio, il gruppo di Zurigo deciderà di abbandonare l'Associazione Psicanalitica. "Al congresso di Monaco - riferisce Freud in un noto articolo sulla storia del movimento psicanalitico, pubblicato nel 1914 sullo "Jahrbuch" - mi parve necessario chiarire la confusione, e dichiarare a tal fine che non riconoscevo nelle innovazioni degli Svizzeri una legittima continuità e ulteriori sviluppi della psicanalisi, quale aveva tratto origine da me".

Nello stesso scritto Freud riconosce lealmente che i germi del dissenso con Jung erano remoti, e che Jung forse più di Bleuler aveva contribuito alla teoria dei 'complessi', formulata nelle Diagnostische Assoziationsstudien sulla base degli esperimenti associativi. Ma aggiunge: "io non attribuisco a queste ricerche l'alto valore che è loro attribuito da altri autori, interessati meno da vicino". Jung, il laureando in medicina con una tesi sulla psicologia dei fenomeni occulti, il sagace lettore dei primi lavori di Freud sull'isteria e le neuropsicosi di difesa, aveva trovato nel concetto di 'complesso' la chiave interpretativa della struttura del campo psichico. Una struttura potenzialmente circolare, caratterizzata da molteplici percorsi associativi verso un centro, dove il nesso tra parola - e rappresentazione - ed esperienza vissuta dal soggetto prevale su ogni altro, estrinseco. Com'è noto, l'esperimento associativo di Jung registrava l'aumento dei tempi di reazione alla parola-stimolo con il diminuire della distanza dal termine legato alla rappresentazione significativa. Struttura circolare del campo psichico, abbiamo detto: diversa, dunque, dalla struttura lineare dell' 'apparato', che Freud postulava nel capitolo settimo della Traumdeutung. Una prima causa di remoto dissenso, alla quale se ne sarebbe presto aggiunta un'altra, derivante dall'interpretazione del nesso significativo tra evento e segno, vissuto e rappresentazione. E qui avverrà la rottura del 1913, che sarà significativa per questo e non per i piccoli episodi personali su cui ha avuto il torto d'insistere E. Jones nella sua biografia freudiana: la mancata visita a Jung di Freud recatosi da Binswanger convalescente da una grave operazione, quel che Jung chiama "il gesto di Kreuzlingen" nella lettera a Freud dell'11 novembre 1912, e lo svenimento di Freud alla conferenza dei presidenti dell'Associazione, svoltasi nel novembre 1912 a Monaco di Baviera. Interpretare il messaggio della psiche malata, spiegare il meccanismo della malattia: tale la divergenza originaria, ed essenziale, che lo stesso Freud pone tra sé e la scuola di Zurigo. Nell'articolo citato sulla storia del movimento psicanalitico scrive, riferendosi al lavoro del 1896 sulle neuropsicosi di difesa: "Già allora miravo a una teoria libidica delle nevrosi che doveva spiegare tutti i fenomeni nevrotici e psicotici come derivanti da vicende abnormi della libido, cioè come deviazioni dal suo impiego normale. Gli studiosi svizzeri non aderirono a questo mio punto di vista". La 'libido': termine, più che primitivo, primario nella teoria freudiana. "È difficile darne una definizione soddisfacente", notano gli autori del Vocabulaire de la

psychanalyse. La libido, in Freud, è appetizione, desiderio - il Wunsch della Traumdeutung - capace di orientarsi verso mete diverse, dall'altro individuo a oggetti ideali e all'Io, ma derivante dalla sessualità, il "fondamento organico" di cui Freud parla nella lettera a Jung, citata, dell'aprile 1908. Jung aveva accettato il termine, aveva accettato l'esigenza concreta, si direbbe realistica, d'intenderla come causa di effetti osservabili, e dunque di farne un'energia, ma 'energia psichica'. Prima di passare nel titolo di una delle maggiori costruzioni teoriche di Jung, Wandlungen und Symbole der Libido, il termine, e la teoria correlativa, erano stati oggetto di analisi rigorosa nelle lezioni tenute da Jung all'Università Fordham di New York, nel settembre 1912, uscite l'anno successivo sullo "Jahrbuch", e pubblicate nel volume Versuch einer Darstellung der psychoanalytischen Theone. Vi troviamo un passo d'importanza decisiva: "Credo di non errare affermando che l'autentico valore del concetto di libido consiste non nella definizione sessuale, ma nell'accezione energetica, che ci mette a disposizione un principio euristico di estremo valore. [...]. C'inganneremmo, se credessimo di poter fare della libido sexualis il veicolo di una concezione energetica della vita psichica, e se molti scolari di Freud credono di possedere una concezione ben definita e, per così dire, concreta della libido, non s'avvedono che tale concetto è stato adoperato per usi che superano largamente i limiti d'ogni definizione sessuale". Non si esce dall'esigenza realistica: ma per Freud tutto resta "campato in aria" se non si muove dalla sessualità, per Jung il fondamento, il punto di partenza del processo psichico, nel 1913, l'anno della rottura, è tutto da scoprire. E la scoperta poteva diventare il fine di una vita. Nell'aprile 1913 Jung si dimette dalla facoltà di medicina dell'Università di Zurigo. "Allora - scrive nell'autobiografia - mi dedicai totalmente al servizio dell'anima".

2. I fondamenti della psicologia analitica

Quando Jung comincia a parlare, e a prendere coscienza della radicale diversità tra due orientamenti della psicanalisi, la psicologia analitica si delinea come un vigoroso tentativo d'impostare una psicologia generale simmetrica alla psicopatologia. Quasi mai viene messo nel debito rilievo che la teoria freudiana e la junghiana, all'inizio del secondo decennio del secolo, hanno riferimenti oggettivi diversi: la malattia mentale da una parte, la psiche dall'altra. Freud tende a scoprire cause efficienti, Jung ha bisogno di definire principi formali, una vera e propria natura mentis, si potrebbe dire con parole di Kant, un filosofo che Jung ha letto per capire Schopenhauer. Tende, insomma, a cancellarsi, in Jung, quell'asimmetria fra psicopatologia e psicologia generale, che era e sarebbe stata un dato costante nel secolo. Fuori dello stimolante contatto con la psicopatologia, la psicologia assumerà spesso un aspetto 'accademico', descrittivo, che sarà efficacemente individuato da Anna Freud, ma si trova in varie annotazioni junghiane, qualificato con lo stesso termine. E viceversa, fuori del contatto con la psicologia, la psicopatologia rischierà di entificare le categorie

nosografiche di malattia e guarigione in misure immediate dell'accadere psichico, e di perder di vista il problema della dimensione certamente preterumana, e forse cosmica, della psichicità. Il concetto di simbolo è la prima, duratura conquista della psicologia generale junghiana. La grande opera del 1912 - essa, all'origine, "non è che il commento diffuso di un'analisi 'pratica' degli stadi prodromici di una schizofrenia", un caso descritto nel 1906 da Th. Flournoy sulle "Archives de psychologie" - vedrà mutato il titolo nella quarta edizione, del 1952, in *Symbole der Wandlungen*, 'simboli della trasformazione', con l'accento posto sul termine di significato essenziale. Simbolo, chiarisce Jung, non è né allegoria né segno, ma immagine di un contenuto che per la massima parte trascende la coscienza. È un'espressione indeterminata, che indica qualcosa di difficilmente definibile, di non appieno conosciuto. Possiede numerose varianti, analoghe. E ne possiede altre, derivate da comparazione non analogica, ma causativa: in quest'ultima si ritrovano nel simbolo elementi riferibili agli effetti della realtà simbolizzata. "Queste comparazioni - non esita ad aggiungere - rappresentano altrettante possibilità simboliche, e per tal motivo tutti i simboli nella loro infinita varietà [...] possono essere ridotti essenzialmente a una radice semplicissima, cioè alla libido e ai suoi attributi".

Affermazione che desterebbe sorpresa, o apparirebbe almeno poco chiara, se l'analisi dell'elemento propulsivo della vita psichica, chiamato ancora libido con il termine delle freudiane *Drei Abhandlungen zur Sexualtheorie*, non si facesse strada verso significati ben più profondi, radicali: appetizione, interpretazione, intenzionalità. Il presupposto psicobiologico affiora nitidamente, in più punti: e si coglie nel titolo stesso, dove il termine *Wandlungen*, 'trasformazioni', denota un processo energetico che va dalla genesi della forma all'emergenza pulsionale e all'attività rappresentativa. Se ne conoscessimo la causa, osserva Jung, sapremmo che cos'è la psiche. Intanto si precisa la posizione junghiana verso il concetto di libido: essa è "un valore energetico capace di comunicarsi a qualsiasi tipo di attività", è, come la volontà in Schopenhauer, un'entità noumenica che trascende le sue manifestazioni apparenti. È momento di una "forza creatrice che l'uomo conosce solo come esperienza soggettiva". E tuttavia Jung tenterà di comprendere il nucleo oggettivo della trasformazione reale, di far affiorare alla coscienza l'inconscio che la trascende. "La mia coscienza - scriverà nell'autobiografia - [...] è la mia sola luce", con parole che, forse per criptomnesia, ricordano quelle di Freud sulla coscienza come "unico faro" - *Licht in Jung, Leuchte in Freud* - nella tenebra della psicologia del profondo. Il simbolo riprodurrà, nella vicenda della ricerca junghiana, l'antica tessera *hospitalitatis*, la moneta spezzata che gli amici si scambiavano all'atto del congedo, nell'attesa di ricomporla.

Nel panorama delle discipline antropologiche, la psicologia analitica diventa d'ora in poi uno dei più significativi punti d'incontro fra tradizione e sapere positivo, gnoseologia e scienze, ricerca teoretica e ricerche sulla cultura (la burckhardtiana *Kulturgeschichte*, che ha tanto peso nel costituirsi delle scienze umane, e della quale anche Jung riconoscerà l'influenza sul proprio lavoro). *L'Einführung in das Wesen der Mythologie* - l'opera che uscirà nel 1940, in collaborazione con K. Kerényi, sul mito inteso come avvento o salto originario,

Ur-sprung, del reale nella psiche - e implicita, trent'anni prima, nel ciclo simbologico delle Wandlungen. Dall'uno all'altro estremo avverranno periodiche retroazioni dalla periferia al centro della ricerca: le indagini sulle forme rappresentative mostreranno d'implicare un'essenza del processo psichico o, meglio, un'idea di tale essenza. Intanto la vicenda biografica, dopo la rottura con Freud e la rinuncia all'insegnamento universitario, è caratterizzata da perplessità, dal senso di "aver ricevuto un messaggio di forza irresistibile", e dall'intuizione, positiva, che "scopo dello sviluppo psichico è il Sé", ovvero la costruzione di un vivente nesso tra l'Io e l'universale. Si stabiliscono nuovi rapporti tra psichiatria e scienze umane, storia della cultura, storia della scienza. Jung si avvicina all'alchimia con la lettura di un testo taoista, Il segreto del fiore d'oro, tradotto dal sinologo R. Wilhelm, e ne scrive un "commento europeo" per le edizioni tedesca del 1929 e inglese del 1931. Dal 1913, riferisce nella premessa alla seconda edizione tedesca, del 1938, l'inconscio collettivo era al centro dei suoi interessi: e nella "perla d'intelligenza intuitiva" rappresentata dal testo sapienziale del Tao egli trova un'insperata "possibilità di confronto", un'"estesa fenomenologia" delle idee sul processo d'individuazione, maturate sul terreno psichiatrico. Il fiore d'oro è un simbolo della luce del Tao, unità di vita e coscienza, che promana da un centro verso una periferia circolare. È un simbolo che promette una mediazione fra la totalità e il soggetto individuale, non nell'Io, che è l'individuo dato, circoscritto dal corpo e dalla serie degli eventi vissuti, ma nel Sé, soggetto ricongiunto con l'universale, che Jung definisce in Die Beziehungen zwischen dem Ich und dem Unbewussten, del 1928. Esigenza di confronti, di una fenomenologia delle idee: sono accenni che devono essere raccolti, perché mostrano Jung intento all'ardua ricerca d'un campo di riferimenti oggettivi, oltre la nosografia, ma al di qua di una ragione pura, di una metafisica, kantianamente poste in dubbio e non troppo amate. L'uscita dalla psichiatria verso la storia della cultura e l'antropologia culturale nasce dalla raggiunta consapevolezza che l'analisi trascende l'esperienza psicoterapeutica. Quando la cura finisce perché le circostanze contribuiscono a ripristinare un'apparente normalità, il cammino verso l'inconscio continua "per alcuni soggetti", e provoca "metamorfosi ulteriori": Jung afferma questo fatto, e ne rivendica il significato, nella conferenza Symboles oniriques du processus d'individuation, tenuta nel 1935 ad Ascona, per l'annuale incontro della Fondazione Eranos. Il vissuto analitico ha un semantema, l'immagine, a plasmare la quale provvede non ciò ch'è esterno ma ciò ch'è interno alla soggettività, con forza decrescente dall'archetipo al simbolo, e dal simbolo alla metafora. Una classe d'immagini, i mandata - parola sanscrita che significa 'circolo', ed è il termine induista per le raffigurazioni circolari dei rituali ascetici - occupano un posto precipuo nell'analisi junghiana dell'inconscio collettivo, anche perché, secondo l'autobiografia, ebbero per Jung una decisiva efficacia autoanalitica. Lo studio dell'"immaginazione attiva", della facoltà creatrice d'immagini che esprimono i nessi tra l'inconscio e l'Io, crea le premesse ai futuri sviluppi della psicologia archetipica, ed è una delle correnti che affluiscono alla ricerca contemporanea sull'immaginario.

Il problema che Jung deve affrontare, per giungere alla piena originalità di se stesso, è sostanzialmente uno: la struttura dell'inconscio. E la conferenza che, su questo tema, egli tiene alla Scuola di psicologia analitica di Zurigo nel 1916, e nel 1928 rielabora nelle citate Beziehungen, resterà forse a rappresentare il breviario di un'opera che nella sua interezza appare ricca di ripetizioni, di ridondanze, e talvolta estenuata dalla ricchezza del simbolismo. Jung nega l'identità di inconscio e rimosso, e distingue l'inconscio in personale e collettivo. Se il meccanismo generatore dell'inconscio fosse la rimozione, i contenuti avrebbero sempre un carattere personale. Ma i contenuti dell'inconscio sono analoghi tra individui, nonché tra culture ed età diverse, e costituiscono il profondo strato comune alla psiche umana, costellato di "immagini dinamiche", gli archetipi, e di virtualità simboliche. "Da questo punto di vista la personalità conscia ci appare come un segmento più o meno arbitrario della psiche collettiva; Essa deve la propria esistenza al fatto d'essere, fin dall'inizio, inconsapevole di queste caratteristiche fondamentali e universali dell'umanità": così scrive nel lavoro del 1916, introducendo il concetto dell'individuo come 'persona', nel senso originario di maschera, sovrapposta a un volto autentico e sconosciuto. Ma la malattia mentale, e l'incontro psicoterapeutico, si lasciano alle spalle l'insufficienza dello sbocco 'personale' del processo d'individuazione. Dove tendere? Per capire Jung, bisogna passare attraverso questo quesito, psichiatrico e teoretico. "La mia vita è stata permeata e sostenuta da un'unica idea e da un fine unico: penetrare nel segreto della personalità. Tutto può essere spiegato da questo punto centrale, e tutte le mie opere hanno quest'unico tema", scriverà nell'autobiografia. Nel testo del 1916-1928 raffigura tre strade: la regressiva, dall'apertura del soggetto sul problema dell'individuazione al ripristino della persona come maschera dell'autentico e "segmento della psiche collettiva"; l'identificazione di individuo e psiche collettiva, con la rischiosa conseguenza dell'atteggiarsi del singolo a voce dell'umanità; infine, l'individuazione. "Individuarsi - chiarisce nelle Beziehungen - significa diventare un essere singolo e, poiché intendiamo per individualità la nostra più intima, ultima, incomparabile e singola peculiarità, diventare noi stessi, attuare il proprio Sé". I fattori universali della personalità, aggiunge poco dopo, sono presenti in forma individuale, e il tenerne conto produce anche "un effetto individuale". Il Sé, si dovrebbe concludere, trasforma il collettivo in universalità espressa, sviluppata, vissuta dall'individuo. Ma questa trasformazione, che è un'interpretazione, non ha più carattere analitico. La "funzione trascendente" - così Jung chiama il lavoro psichico che cerca di integrare l'inconscio collettivo nella coscienza - segue un metodo sintetico o costruttivo, volto sostanzialmente al recupero di significati attraverso l'"amplificazione" e l'"interpretazione al livello soggettivo". Di questi concetti, che conferiscono alla sua psicoterapia un'impronta attiva, ermeneutica, Jung parla in *Über die Psychologie des Unbewussten*, uscito nel 1917 e ripubblicato nel 1942. L'amplificazione consiste nell'arricchimento dei contenuti psichici inconsci attraverso associazioni e analogie; invece l'interpretazione soggettiva libera i complessi mnestici dalle circostanze esterne, facendone i segni e i simboli

della personalità che si realizza. Il sogno non ha intensità tale da "sbalzare di sella la coscienza": deve intervenire il terapeuta, amplificando e interpretando soggettivamente.

Questo saldo ancoraggio alla psichiatria d'una psicologia analitica che diventa sintetica è provvido, tra l'una e l'altra uscita nel mare aperto della gnosi, dell'alchimia, dell'Oriente con la sua ridondante simbologia, delle culture primitive, del mito. Confronti e fenomenologia delle idee sono, senza dubbio, una via necessaria per chi voglia rimanere sul terreno positivo e tuttavia aprirsi a ogni remota suggestione: ma i concetti rischiano di perdere la loro connotazione rigorosa, e di simulare un'inesistente continuità dello spazio logico, reso invece discreto, tra punto e punto, dalla differentia specifica della definizione. Altra via è quella di K. Jaspers nell'*Allgemeine Psychopathologie* (1913): la ricostruzione del vissuto psichico da premesse teoretiche. Ma Jung preferisce l'atteggiamento fenomenologico perché dubita delle 'visioni del mondo', o almeno della possibilità che in esse l'elemento soggettivo del vedere si risolva in quello oggettivo di una mondanità reale. Ai rapporti fra visioni del mondo e psicologia analitica egli dedica uno dei testi più vivaci e chiari, la conferenza tenuta a Karlsruhe nel 1927 su *Analytische Psychologie und Weltanschauung*. "L'errore fondamentale di ogni visione del mondo è la sua singolare tendenza a essere considerata essa stessa come la verità delle cose, mentre in realtà non è che il nome che noi diamo alle cose". Nei contemporanei costruttori di ideologie torna l'illusione dei primitivi sui nomi che conterrebbero il segreto degli oggetti: la pronuncia del termine equivarrebbe al possesso della verità. Invece la verità dev'essere attinta, con la scienza, dall'esperienza diretta del reale. L'inconscio è un grande serbatoio di possibili rivelazioni: nelle "profondità dell'Io" possiamo ascoltare "l'Essere e il Divenire creatori", ma senza decifrarli. La psicologia analitica ha il merito di aver rivendicato l'influsso dell'inconscio sulla coscienza che voglia comprendere. Ma per formulare una visione del mondo occorre una "decisione creatrice, per affidare la nostra vita a questa o a quella ipotesi". Senza etica, come per Kant, non c'è metafisica. Jung dubita, in sostanza, della possibilità di confrontare l'esperienza positiva dell'inconscio con la determinazione razionale dell'intelligibile, cioè con la filosofia e la sua storia. Per i propri confronti, la psicologia analitica usa più volentieri un sapere che si sia espresso in forma indiretta. E Jung avvicina metafora a metafora, per integrare intuizione con intuizione. Il simbolo resta per lui quel ch'era divenuto nelle *Wandlungen*: semantema essenziale, espressione vivente della penetrazione soggettiva nel significato. Tra le definizioni contenute nell'undicesimo capitolo dell'ampia opera sui tipi psicologici - *Psychologische Typen*, del 1921 - la più ampia e ricca di contenuti è proprio quella di simbolo. Vi troviamo, anzitutto, conferma di una radice culturale, quasi mai citata, della riflessione simbolica junghiana: l'opera di G. Ferrero su *I simboli in rapporto alla storia e filosofia del diritto*, del 1893. Che cosa sia, per Jung, il simbolismo, lo cogliamo nel passo dove distingue la concezione semiotica del simbolo da quella propriamente simbolica. Per l'una il simbolo è un'analogia, per l'altra è "la migliore formulazione possibile d'una cosa relativamente 'sconosciuta', la quale proprio per questo non può essere rappresentata in modo più chiaro o

caratteristico". C'è il simbolo vivo perché pieno di significato, e il simbolo morto perché decaduto a valore storico. Freud ha parlato, a proposito delle psiconevrosi, di atti sintomatici e non simbolici, perché ne presumeva noti il fondamento, la causa. L'opposto del simbolo si configura, dunque, non come segno, che l'espressione simbolica usa e trasvaluta, ma come sintomo, quel compromesso tra pulsione e coscienza che Freud aveva genialmente individuato nella manifestazione delle nevrosi non attuali. Il simbolo è ciò che non è mero sintomo, alla luce della definizione di *Psychologische Typen*, e la psicologia analitica si presenta come l'ermeneutica dell'inconscio capace di proseguire il compito della psicanalisi, di penetrare la dinamica del soggetto, prima della malattia e dopo il ripristino d'una normalità apparente.

Il simbolismo di Jung, dalle *Wandlungen* del 1912 all'*Einführung* del 1940 attraverso l'opera sui tipi psicologici, ravviva nelle scienze umane una dialettica sopita, ma fondamentale: quella tra i concetti di primitivo e originario. *Primitive culture* di E. Burnett Tylor, iniziatore della nuova antropologia, era uscito nel 1871: ma è del 1911 *The mind of primitive man* di Fr. Boas, lo studioso delle culture indiane nel Nordamerica, e del 1922 *La mentalité primitive* di L. Lévy-Bruhl, fondatore dell'*Institut d'Éthnologie*. Citazioni quasi fortuite, ma sufficienti a mostrare la centralità del problema della protostoria nell'antropologia culturale e sociale. S'indaga la primitività alla luce di un duplice presupposto, metodologico e teoretico. In termini di metodo, la nuova antropologia vuol essere verifica e più precisa determinazione dell'idea a confronto del fatto, di nozioni filosofiche della soggettività - pensiero, ragione, coscienza - a confronto della 'cultura' intesa come l'insieme delle manifestazioni umane osservabili. Ma la cultura primitiva - o, più recentemente, il 'pensiero selvaggio' di Cl. Lévi-Strauss - non è soltanto osservabile, è opposta rispetto all'osservatore: corrisponde all'inizio di quel processo, evolutivo o metamorfico, di cui l'osservatore presume d'essere la forma compiuta. Primitività e civiltà: tra esse l'antropologia culturale inserisce l'altro suo presupposto conoscitivo, la storia. Ma è un presupposto ambiguo, che chiede d'essere a sua volta definito. Per lo più, la storia è intesa come progresso, sulla via, dice Boas, di "un'applicazione della teoria dell'evoluzione biologica ai fenomeni intellettuali", sebbene qualcuno partecipi intensamente al mondo perduto che rievoca: così J. Frazer, quando nel classico *The golden bough* raffigura costumi e riti che si svolgevano attorno al tempio di Diana ad Ariccia; o, in anni successivi, M. Griaule, quando cercherà di decifrare il sistema cosmico della parola formulato dalle popolazioni Dogon della Guinea. Ma con l'interpretazione evoluzionistica del passaggio dalla primitività alla civiltà contrasta la ricerca mitografica e mitologica. L'una scopre uniformità, ricorrenze che mal si conciliano con un'impostazione spaziotemporale della mitogenesi, o con quella che sarà l'ipotesi levistraussiana di un 'bricolage intellettuale'; più radicalmente, l'altra recupera la trascendenza del simbolo sull'allegoria, di una forma e una situazione conoscitiva sulle formule retoriche. È del 1925, dunque degli anni della maturità junghiana, il secondo volume, *Das mytische Denken*, della *Philosophie der symbolischen Formen* di E. Cassirer: una pagina, riferirà Fr. Saxl in *The philosophy of Ernst Cassirer*, del capitolo della cultura europea

che ruota attorno all'Istituto e alla Biblioteca Warburg di Amburgo. Cassirer è saldamente legato alla Philosophie der Mythologie dell'ultimo Schelling e alla convinzione schellinghiana che nella mitopoiesi "l'uomo è mosso da potenze che sorgono all'interno della coscienza", e che sono lo stesso processo conoscitivo nel suo tendere verso la vera e piena assolutezza. Mito e simbolo, affermano concordemente Jung e Cassirer, con una reciproca mancanza di nessi che non può non sorprendere, appartengono a una struttura e non a una successione, a un'ontogenesi del conoscere, si potrebbe dire, non a una filogenesi. Il problema delle origini umane è duplice: è problema delle origini dell'umanità, e problema della genesi della coscienza. Chiuso nella smagliante armatura delle Geisteswissenschaften che racchiudono la sua costruzione concettuale; consapevole, con Scheler, della drammatica insicurezza dell'uomo contemporaneo sulla propria origine e il proprio destino, Cassirer sembra diffidare della psicologia a eccezione della Gestaltpsychologie - e non accorgersi appieno delle indagini in corso su una primitività creatrice di miti e di metafisiche, fervida testimone dell'originario. Accanto a lui, negli stessi anni e con interessi sostanzialmente affini, Jung annota invece stretti legami fra psicopatologia, mitografia e antropologia culturale: e il suo orientamento è tanto più realistico, quanto più l'esperienza psicopatologica diviene la variabile indipendente della ricerca, la guida a una sintesi concettuale. Scrive in *Die Entschleierung der Seele*, del 1931, pubblicato due anni dopo in inglese con il titolo *The basic postulates of analytical psychology*: "Come i primitivi, noi siamo affatto inconsapevoli, all'inizio, delle nostre azioni, e scopriamo solo molto dopo perché ci siamo comportati in una certa maniera. Frattanto, ci accontentiamo d'ogni sorta di razionalizzazioni del nostro comportamento, tutte parimenti inadeguate". Abbiamo scoperto la psiche, ma crediamo di doverne fare un effetto di un'entità indefinita, la materia. O, viceversa, creiamo psicologie senza psiche, "con pretese meramente accademiche, [...] spiegazioni che non hanno peso nella vita". La psicoterapia lotta per rendere le persone idonee alla vita, e non può indulgere a teorie che non abbiano alcun rapporto con la vicenda della malattia mentale. Un fatto: il suicidio di pazienti ai quali lo psicoterapeuta cerca d'imporre una spiegazione 'spirituale' della loro sofferenza. Ma allora la psicologia che tenda a impostare il paradosso della vita psichica, il conflitto tra natura e spirito, diventa conoscenza o almeno intuizione essenziale della realtà. E tuttavia il confine della psiche, dello psichico, è insuperabile: "Tutto ciò di cui ho esperienza è psichico". Se è contraddittoria la realtà sulla quale la psiche si affaccia, può non esserlo la psiche in se stessa? Non può: la psiche è la totalità dell'esperienza possibile, e la contraddizione insita nella realtà è la sua contraddizione, l'impossibilità di riconoscersi come natura o come spirito, come materia o come mente, e finanche come unità rappresentativa di entrambi. La psiche "è in ultima analisi 'alcunché' incomprensibile". Se l'energia è Dio, o Dio è l'energia, Jung non sa dirlo. Un'affermazione che si riflette sulla vecchia polemica con Freud, se la libido fosse energia pulsionale o semplicemente psichica, mostrando che i termini del problema sono cambiati. Cambiati nella torre di Bollingen - "vecchia terra consacrata, appartenuta al monastero di San Gallo", nello "scenario incantevole della parte superiore del lago

di Zurigo": il ritiro spirituale che Jung comincia a costruirsi nel 1922 -; cambiati alla Berggasse di Vienna, dove, dinnanzi allo sguardo classicamente lucido e freddo di Freud, sorgono forme e nomi nuovi a ravvivare lo scenario ermeneutico della psicologia del profondo: pulsione di morte, potenze del destino, e l'Io, un Io che non recita più la parte "dello stupido clown Angus nel circo", come aveva scritto a Jung l'1 marzo 1911, con una sferzante allusione alla dissidenza di Adler. E un mattino del settembre 1927, a Binswanger andato a restituirgli la visita di alcuni anni prima, Freud dichiara: "Sì. lo spirito è tutto. L'umanità ha sempre saputo di possedere lo spirito: io dovevo mostrarle che esistono anche gli istinti". Forse negli anni trenta il dissidio s'era ricomposto, sebbene i protagonisti non volessero confessarlo; forse li aveva riuniti un Wunsch nach Realität, un desiderio di realtà - l'espressione è in una lettera di Jung a Freud del 13 maggio 1907 - che entrambi dubitavano di poter soddisfare.

Perché legato all'operare psicoterapeutico, l'orientamento di Jung resta realistico nelle opere della tarda maturità, malgrado l'ampliarsi della prospettiva con le avventurose sortite nell'alchimia, nella gnosi, nelle religioni orientali. In Grundfragen der Psychotherapie, del 1951 - l'ultimo suo lavoro su questa materia - ripeterà l'immanenza della teoria psicologica e psicopatologica all'esperienza concreta della cura della malattia mentale, ma anche la necessità della teoria per cogliere la ricchezza e impostare in maniera 'individuale' il rapporto terapeutico. L'individuazione: fino a questo punto, non oltre, si riesce a leggere la realtà dell'anima. Per andar oltre, Jung avrebbe dovuto precisare i termini della ricerca, e affinarne il metodo. E avrebbe dovuto scegliere tra il riferirsi a una filosofia che aveva dato tanta parte alla temporalità nella costruzione del vissuto razionale, la critica di Kant, e il richiamarsi al disvelamento schopenhaueriano del noumeno: Kant e Schopenhauer sono i filosofi che Jung più spesso cita. Nella cultura a lui contemporanea, Jung è privo di rapporti, non solo con Cassirer, ma con Husserl. Se con Cassirer perde la possibilità d'una scelta più larga e oculata di autori e testi, con i quali procedere all'amplificazione del dato simbolico raccolto nella psicoterapia, con Husserl si preclude quell'esperienza costitutiva e intuitiva, soltanto razionale, rispetto all'osservazione e alla sperimentazione, che è propria al momento fenomenologico del Vordenken. La Phänomenologische Psychologie, con le lezioni tenute da Husserl a Friburgo nel semestre estivo del 1925, uscirà postuma, nel 1962, a cura di W. Biemel, apportando alla psicologia e alla psichiatria il rigore e la ricchezza d'un pensiero che si richiama al Dilthey delle Ideen über eine beschreibende und zergliedernde Psychologie, per aggiungere il momento, positivo, della definizione rigorosa a quello, negativo, della critica al naturalismo. È soprattutto Aion: Untersuchungen zur Symbolgeschichte, del 1951, con il suo intreccio di ricerche sull'orizzonte della vicenda psichica - documento di una psicologia, afferma Jung, che ha per oggetto "la fenomenologia della psiche" - e sugli archetipi, a richiamare il tentativo husserliano di costituire un mondo dall'Io, ad amplificarne la drammatica oscillazione tra assolutezza antropologica e possibile assolutezza oggettiva, ad avvalorarne l'esigenza di rigore di fronte alla pura e semplice descrizione di frammentarie esperienze. La considerazione

della psicologia come campo prioritario della ricerca fenomenologica non è, d'altra parte, propria soltanto all'opera postuma su citata: si ritrova, ad esempio, nell'articolo di Husserl del 1929 sull'Encyclopaedia Britannica. L'Io husserliano comprende l'Io e il Sé, definiti da Jung, in Aion, l'uno come centro del campo di coscienza, l'altro come centro d'una totalità da costruire e momento che reinserisce l'inconscio accanto al conscio, quel che il soggetto eredita accanto a ciò ch'egli esperisce. Ma se il Sé junghiano non è tanto diverso dall'Io husserliano che costituisce, attorno alla propria innegabile datità, il mondo, esso può, poteva, da Jung, esser messo a confronto con i presupposti di quell'universo reale della natura e della storia, che è rispettivamente postulato dalla scienza e fatto essere dalla prassi creativa. Perché non cercare nella ragione, e nella vita, l' 'amplificazione' ermeneutica dell'inconscio da incorporare nella coscienza? Il Sé non è l'opposto dell'Io, ma il suo spazio; e l'Io è il fine del Sé, l'entelechia di Faust. Simbolo e idea, ignoto e noto sono intrinseci l'uno all'altro: amplificare il simbolo significa arricchire le certezze della ragione. Anche la scienza è simbolica, afferma Jung in Psychologische Typen. Si può concepire "anche l'espressione matematica come un simbolo che sta per un dato di fatto psichico sconosciuto, tenuto celato nell'intenzione che lo ha generato, purché sia dimostrabile che questo dato di fatto non è noto a colui che ha creato l'espressione semeiotica, e che perciò non poteva essere oggetto di un'utilizzazione cosciente", leggiamo alla definizione di 'simbolo' nell'opera citata. La simbolicità della scienza è intesa diversamente da Jung rispetto, ad esempio, a Hertz dei Prinzipien der Mechanik, dove il simbolo è solo il modello concettuale dell'ente fisico. Lungo questa strada, del confronto con la scienza e la storia, l'ermeneutica junghiana dell'inconscio non avrebbe, forse, mostrato l'estenuante ridondanza che le deriva invece dalla scelta del filone gnostico-alchemico. "La mia vita - scriverà nell'autobiografia - è la storia di un inconscio che ha potuto realizzarsi". Nella prospettiva della psicologia analitica, inconscio e realtà potevano, dunque, e possono vicendevolmente chiarirsi.

Nell'autobiografia, che esce nell'anno della morte, il 1961 - ma ch'egli comincia a dettare ad Aniela Jaffé quattro anni prima - troviamo un passo che illumina tutto lo sfondo della ricerca junghiana e il suo epilogo: "Nella struttura psichica vivente nulla ha luogo in modo meccanico, ma secondo l'economia dell'intero, e si adatta a esso; vale a dire che tutto ha un fine e un significato, significato che la coscienza, non avendo una visione dell'insieme, spesso non riesce a comprendere. Perciò dobbiamo per prima cosa contentarci di constatare il fatto, e poi sperare che il futuro e ulteriori indagini trovino la risposta, e ci dicano che cosa significhi questo scontro con l'ombra del Sé". 'Struttura', Aufbau, della psiche è fin dalla Traumdeutung un concetto primitivo di Freud, che rimprovera agli psichiatri di averla troppe volte dimenticata. Totalità, dunque, e totalità: dov'è la differenza? In uno scritto del 1945, Medizin und Psychotherapie, Jung riafferma la diversità delle concezioni dell'inconscio nella psicanalisi e nella psicologia analitica. Nell'una l'inconscio è spiegato con la rimozione, nell'altra come "la psiche reale e autentica, mentre la coscienza dell'Io può essere considerata solo un temporaneo epifenomeno". Quando la psiche era ancora possesso della filosofia, dice Jung, l'inconscio

fu rivendicato da C. G. Carus, seguace del panteismo di Schelling e precursore di Goethe nell'indagine delle forme originarie della natura. L'inconscio è illimitato, e può essere chiamato un microcosmo se si può dimostrare che in esso esistono parti del mondo trascendenti l'esperienza individuale, costanti nella forma di presenze a priori. L'inconscio è unitario, perciò è unitaria la psiche: e in uno scritto del 1948, *Tiefenpsychologie*, volgendo ai suoi primi rapporti con Freud, pone negli esperimenti associativi della scuola di Bleuler, e nella nozione di 'complesso', un fondato motivo di originalità, sua e della scuola svizzera. La rievocazione si fa più sottile quando Jung accenna alla divergenza tra la teoria freudiana dell'appagamento del desiderio inconscio nel sogno e le sue vedute sulla compensazione della coscienza ad opera dell'inconscio. Appagamento, compensazione: è un bivio d'importanza essenziale. Inconscio e coscienza nella prima topica di Freud, Es e Io nella seconda, sono momenti antagonisti della psiche, nuclei d'una rivalità originaria tra natura e cultura, oggettività e soggettività: si direbbe tra l'universo e l'uomo che ne è casualmente derivato. Anche quando la coscienza è conoscenza - quell'"unico faro" che rivela all'Io l'esistenza del mondo - essa è "la più completa rinuncia al principio di piacere", rappresentato dall'inconscio, come Freud afferma nel primo dei *Beiträge zur Psychologie des Liebeslebens*, del 1910. Invece la funzione compensatoria dell'inconscio secondo Jung deriva da una teleologia inerente alla psiche, al suo sviluppo come alla sua cura. Nello scritto, citato, del 1948, la compensazione è invocata come fattore dinamico della tipologia psicopatologica. Il tipo introverso manifesta un'impostazione oggettiva dell'inconscio; il tipo estroverso, un'impostazione soggettiva. E analogamente si compensano le funzioni orientatrici della coscienza: pensiero, sentimento, sensazione, intuizione.

Una teoria dell'accadere psichico, che mostra tanto spesso l'impronta avventurosa della conoscenza totalizzante, negli ultimi volumi degli opera omnia junghiani della Bollingen series accenna a voler darsi l'ordine interno e l'univocità verificabile di un'assiomatica. I due articoli citati del 1945 e del 1948 sono rispettivamente nel volume sedicesimo e nel diciottesimo dei *Collected works* della serie anzidetta. Ma il volume sedicesimo contiene *The practical use of dream-analysis*, testo inglese di una conferenza del 1931, *Die praktische Verwendbarkeit der Traumanalyse*, con il concetto di "assimilazione dei contenuti inconsci". Jung parla del sogno, la freudiana "via regia all'inconscio", ch'egli si sforza di serbare tal quale forse perché ha già deciso di costruire intorno a ricorrenze oniriche la trama d'una futura, rivelatrice autobiografia, o perché persisteva, allora come poi, nell'amplificare simboli con immagini anziché con idee. E precisa che assimilare l'inconscio implica una compenetrazione reciproca di inconscio e coscienza. È un nuovo bivio: tra la coscienza che 'percepisce' - Freud la definisce "organo di senso per la percezione di qualità psichiche" nel capitolo quarto della *Traumdeutung* - e la coscienza che si arricchisce dell'universale, umano e forse cosmico. Il testo più bello di Jung sul divenire della coscienza resta, però, *Die Stimme des Innern*, del 1932, incluso con il titolo inglese di *The development of personality*, nel volume diciassettesimo dei *Collected works*. Un vibrante

richiamo alle lettere di Schiller sull'educazione estetica dell'umanità conferma l'ascendenza romantica e germanica della psicologia junghiana. Ma è la sostanza che conta, ossia la vigorosa affermazione che l'ideale educativo ha nell'uomo adulto, non nell'adolescente, il soggetto che lo deve appieno realizzare. Lo specialista, il professionista seguono l'ideale della competenza. L'educatore è mosso invece dall'archetipo dell'eterno fanciullo: "quella parte della personalità umana che vuole svilupparsi e diventare intera", il semantema mitico che Kerényi e Jung analizzeranno pochi anni dopo nell'*Einführung in das Wesen der Mythologie*, è intanto, nello scritto citato del 1932, visto come il seme della personalità. La personalità è il modo supremo di realizzarsi d'un essere vivente, ma non esiste se il soggetto non è definito, intero, maturo. E nessuno "che non l'abbia in se stesso" può educarla, esercitarla.

La psicologia, leggiamo in una pagina dell'*Einführung* di Jung, traduce il linguaggio arcaico del mito in un mitologema non riconosciuto tale, che contribuisce a formare il mito della scienza. È un mito vivo e vissuto, un'attività disperata, che può soddisfare persone staccate dalle proprie premesse psichiche. Jung è pienamente consapevole della psicologia analitica come programma di ricerca derivato da un'intuizione che lo trascende, e che consiste nella ricongiunzione di individuo e universo: la coniunctio alchemica degli opposti, di cui egli segue le ridondanti e talora incongruenti allegorie in *Psychologie und Alchemie*, del 1944, e in *Mysterium coniunctionis: Untersuchungen über die Trennung und Zusammensetzung der seelischen Gegensätze in der Alchemie*, del 1955-1956. Qui, dove il mito scientifico e le sue premesse si toccano, dove l'attività fabulatrice sente l'imperio dell'intuizione, i fatti psicologici segnano "la frontiera del conoscibile". Ma proprio qui la ragione scientifica, costretta a riproporre i propri asserti nella dialettica delle idee, intersoggettiva e storica, apprezza lo sforzo della chiarezza e, in Jung, l'abbozzo assiomatico, che compensa e amplifica, e nascostamente orienta, l'irrompere della fantasia. L'ultimo elemento che vorremmo fissare, dopo la compensazione della coscienza ad opera dell'inconscio e l'assimilazione reciproca dei due momenti dell'accadere psichico, è l'individuazione; ma non tanto il processo che porta al formarsi d'una personalità integrale e integrata, il Sé, quanto il suo riflesso nella cura della malattia mentale. *Grundsätzliches zur praktischen Psychotherapie*, del 1935 - compreso, per il sagace criterio ordinatore dei *Collected works*, nel sedicesimo volume, corrispondente al primo dei *Gesammelte Werke*, con il titolo *Principles of practical psychotherapy* - afferma la conclusione dialettica del rapporto terapeutico, deducendola dal concetto dell'individualità psichica. Le regole aiutano finché il malato non è soggetto peculiare, ma collettivo, non è un uomo, ma umanità.

E lo stesso vale per il medico analista. Da Liébeault e Bernheim, gli ipnotisti di Nancy, allo Schultz del training autogeno, attraverso Babiński e Dubois, Freud e Adler, l'analisi, secondo Jung, avrebbe cercato di sviluppare e applicare coerentemente definizioni diverse dell'accadere psichico. Ma di fronte al dato dell'individualità "assolutamente unica, imprevedibile, ininterpretabile", non resta che mettere da parte

preconcetti e tecniche, e vivere insieme, analista e analizzato, un processo di sviluppo creativo. Il procedimento dialettico deve scegliere, ogni volta, tra l'interpretazione analitico-riduttiva e quella sintetico-ermeneutica del materiale simbolico. Jung consegna, in tal modo, un alto messaggio di consapevolezza alle scienze umane. Esse sperimentano e chiariscono i profondi legami tra significato e fatto, ragione e natura. Vedono l'individuo che cerca di costituirsi e muoversi nella trama del mondo. Dopo le scienze umane, e la parte che vi ha avuta e ha la psicologia analitica, un mondo fenomenologicamente pre-pensato, per corrispondere a quello esperito da noi, deve contenere la possibilità della dimensione simbolica.

Psicologia archetipica

Enciclopedia del Novecento (1980)

di James Hillman

Sommario: 1. Origini della psicologia archetipica. 2. Immagine e anima: la base poetica della mente. 3. Immagine archetipica. 4. Anima: a) anima e retorica; b) anima e mito; c) anima, metafora e fantasia; d) anima e spirito. 5. Il 'fare anima'. 6. Il profondo e la direzione verticale. 7. 'Nord' e 'Sud'. 8. Psicologia politeistica e religione. 9. Psicopatologia. 10. La pratica della terapia. 11. Eros. 12. Teoria della personalità.

1. Origini della psicologia archetipica

La psicologia archetipica - la denominazione risale a Hillman (v., *Why 'archetypal' psychology?*, 1970) - si è proposta fin dall'inizio di travalicare l'ambito degli studi psicoterapeutici e delle indagini cliniche per collocarsi nella cultura dell'immaginazione occidentale. È una psicologia che volutamente si collega con le arti, la cultura e la storia della società, le quali traggono anch'esse origine dall'immaginazione. Il termine 'archetipico' contrapposto al termine 'analitico', che è la qualifica abituale della psicologia junghiana - è stato scelto non soltanto perché rifletteva "gli approfondimenti teorici dell'ultimo Jung, che tenta di risolvere i problemi psicologici andando oltre i modelli scientifici" (ibid.), ma, e soprattutto, perché ciò che è 'archetipico' appartiene a tutta la cultura, a tutte le forme dell'attività umana, e non esclusivamente ai professionisti della moderna terapeutica. Secondo la definizione tradizionale, gli archetipi sono le forme primarie che governano la psiche. Essi non possono però essere contenuti unicamente dalla psiche dato che si manifestano anche nelle modalità fisica, sociale, linguistica, estetica e spirituale. Di conseguenza, la psicologia

archetipica trova i suoi primi collegamenti con la cultura e con l'immaginazione, e non con la psicologia medica e la psicologia empirica, che sono soltanto manifestazioni limitate e positivistiche della condizione dell'anima nell'Ottocento.

Possiamo quindi considerare la psicologia archetipica come un movimento culturale che ha, tra gli altri, il compito di giungere a una 'revisione' della psicologia, della psicopatologia e della psicoterapia.

Nel passare in rassegna la psicologia archetipica e nell'esaminarne i temi principali, Goldenberg (v., 1975) la considera come un prodotto della terza generazione junghiana, che riconosce nell'opera di Jung la propria fonte, ma non le proprie basi dottrinali. Dei due temi 'archetipici' isolati da Goldenberg - l'importanza data alla psicopatologia e la radicale relativizzazione e desostanzializzazione dell'io - parleremo più avanti.

Non c'è dubbio che il primo e diretto padre della psicologia archetipica sia lo psicologo svizzero Carl Gustav Jung. Hillman, Lopez-Pedraza, Berry, Kugler, M. Stein, Garufi, Grinnell, tra gli altri, hanno avuto una formazione specificamente junghiana, mentre parecchi altri (Miller, Casey, Durand, Sardello, per esempio) sono invece giunti alla psicologia archetipica direttamente dalla fenomenologia, dalla letteratura, dalla poesia, dalla filosofia, dagli studi religiosi ecc. Da Jung deriva l'idea che le strutture fondamentali e universali della psiche, i modelli formali dei suoi sistemi relazionali sono modelli archetipici. Come gli organi fisici, essi ci vengono dati sin dalla nascita con la psiche stessa (ma non necessariamente ereditati per via genetica), e sono solo in parte modificati dai fattori storici e geografici.

Questi modelli o archai compaiono nelle arti, nelle religioni, nei sogni, nelle usanze sociali di tutti i popoli, e si manifestano spontaneamente nelle malattie mentali. Per Jung, sono tanto antropologici quanto spirituali, trascendendo il mondo empirico del tempo e dello spazio, e non avendo di per sé natura fenomenica.

Distaccandosi da Jung, la psicologia archetipica ritiene che l'archetipico sia sempre fenomenico, evitando così l'idealismo kantiano implicito nel maestro (v. de Voogd, 1977).

Il linguaggio primario e irriducibile di questi modelli archetipici è il discorso metaforico dei miti, che possiamo quindi considerare i modelli fondamentali dell'esistenza umana. Per studiare la natura umana al suo livello basilare, bisogna rivolgersi a quelle sfere della cultura (mitologia, religione, arte, architettura, epica, dramma, riti) dove questi modelli sono rappresentati. Questo distacco dalla base biochimica, storico-sociale e personale-comportamentale della natura umana in direzione dell'immaginario presuppone ciò che Hillman ha chiamato "la base poetica della mente" (v. cap. 2). Il significato archetipico e psicologico del mito trova conferma, oltre che in Jung, anche in E. Cassirer, K. Kerényi, E. Neumann, H. Zimmer, O. Durand, J. Campbell e D. L. Miller.

Il secondo padre della psicologia archetipica è H. Corbin, lo studioso, filosofo e mistico francese, noto soprattutto per le sue interpretazioni del pensiero islamico. Deriva da Corbin (v., 1971) l'idea che il mundus archetypalis ('alam al-mithāl) coincide con il mundus imaginalis. È un campo specifico di realtà immaginali, il

quale richiede metodi e facoltà percettive diversi da quelli richiesti dal mondo spirituale o dal mondo empirico e ingenuo della normale percezione sensoriale. Il mundus imaginalis offre una modalità ontologica di collocazione degli archetipi della psiche, che risultano essere strutture fondamentali dell'immaginazione, o fenomeni fondamentalmente immaginativi, che trascendono il mondo dei sensi, se non nella loro apparenza, almeno nel loro 'valore'. (In quanto fenomeni essi devono 'apparire', anche se solo all'immaginazione o nell'immaginazione). Il mundus imaginalis fornisce agli archetipi quella fondazione cosmica e assiologica che non potrebbero loro fornire, per esempio, gli istinti biologici, le forme esterne, i numeri, la trasmissione sociale e linguistica, le reazioni biochimiche o la codificazione genetica.

Ma in Corbin più importante ancora che la collocazione ontologica delle realtà archetipiche è il duplice assunto in base al quale: a) la natura fondamentale dell'archetipo è accessibile anzitutto all'immaginazione e si presenta anzitutto come immagine, sicché b) l'intera procedura della psicologia archetipica come metodo è immaginativa. La sua esposizione deve avere indole retorica e poetica, il suo ragionamento natura non logica, e il suo fine terapeutico non dev'essere l'adattamento sociale né l'individuazione personalisticamente intesa; la terapia deve piuttosto adoperarsi per ricondurre il paziente alla propria realtà immaginale. Scopo della terapia è lo sviluppo di un senso dell'anima, e il suo metodo consiste nel coltivare l'immaginazione.

Per estendere la tradizione di Jung e di Corbin, la psicologia archetipica è dovuta risalire sino alle sue scaturigini, e specialmente alla tradizione neoplatonica che, tramite Vico e il Rinascimento (Ficino), si riallaccia attraverso Prodo e Plotino a Platone (Fedone, Fedro, Menone, Convito, Timeo) e, ancora più indietro, a Eraclito. (Gli scritti di Corbin su Avicenna, Ibn 'Arabī e Sohrawardi rientrano anch'essi in questa tradizione, così come gli scritti di K. Rame su William Blake e sul retroterra neoplatonico dei romantici, mediato da Th. Taylor).

L'elaborazione di questa tradizione, operata da Hillman nelle sue conferenze Eranos e nei suoi articoli (v. Hillman, Plotinus. Ficino, ..., 1973), da Miller nei seminari all'Università di Syracuse, da Lopez-Pedraza all'Università di Caracas, da Moore (1980) e da Boer (1980) negli scritti su Ficino, conferisce alla psicologia archetipica un'impronta diversa rispetto alla psicologia analitica. Nella psicologia junghiana, lo sfondo è più spiccatamente tedesco (Nietzsche, Schopenhauer, O. C. Carus, E. von Hartmann, Kant, Goethe, Eckhart e Böhme), con una colorazione più cristiana, psichiatrica e orientale; la psicologia archetipica si sente invece più a suo agio a sud delle Alpi (v. cap. 7).

In particolare, la tradizione cui si accennava è radicalmente occidentale, sebbene non sia né empirica nel metodo, né razionalistica nella concezione, né faccia appello a una realtà spirituale oltremondana. Ciò che caratterizza questa tradizione è la nozione di anima come primo principio e il fatto di porre l'anima come un tertium tra le prospettive del corpo (materia, natura, mondo empirico) e quelle della mente (spirito, logica, idea). L'anima come tertium, quale prospettiva 'tra' le altre due, e dalla quale le altre possono essere osservate,

è stata descritta come coscienza ermetica da Lopez-Pedraza (v., 1977), come esse in anima da Jung (Collected Works - che da ora in poi citeremo con la sigla C. W. -, VI, §§ 66 e 77), come posizione del mundus imaginalis da Corbin e da quei neoplatonici che hanno scritto sugli intermediari e sulle figure del metaxy. Corpo, anima, spirito: quest'antropologia tripartita è un ulteriore elemento di separazione della psicologia archetipica dalla consueta divisione dualistica dell'Occidente, la cui storia risale, oltre Cartesio, almeno fino al IX secolo (869: ottavo Concilio Generale di Costantinopoli), e, in epoca medievale, trova espressione anche nel prevalere dell'aristotelismo di Averroè sul platonismo di Avicenna, le cui conseguenze si fanno ancora sentire nel fatto che la psiche è diventata indistinguibile per un verso dalla vita corporea e per un altro dalla vita dello spirito. Nella tradizione dualistica la psiche non ha mai avuto il suo proprio logos, nè quindi poteva esserci una vera psicologia. Il primo tentativo metodologicamente coerente di articolarne una è una conquista della psicologia archetipica (v. Christou, 1963).

2. Immagine e anima: la base poetica della mente

Il dato da cui la psicologia archetipica prende le mosse è l'immagine. È stato Jung a identificare l'immagine con la psiche: "l'immagine è psiche" (C. W., XIII, È 75), una massima che la psicologia archetipica ha sviluppato sino all'affermazione che l'anima è costituita da immagini, che è in primo luogo un'attività immaginativa, manifestantesi nel modo più spontaneo e paradigmatico nel sogno. È proprio nel sogno, infatti, che il sognatore stesso agisce come un'immagine tra le altre, e anzi, come si può convincentemente dimostrare, nel sogno è il sognatore che è nell'immagine e non l'immagine nel sognatore.

La fonte delle immagini - immagini del sogno, immagini della fantasia, immagini poetiche - è l'attività autogenerativa dell'anima stessa. Nella psicologia archetipica, quindi, il termine 'immagine' non si riferisce a un'immagine consecutiva', cioè al prodotto di sensazioni e percezioni; e non significa nemmeno un costrutto mentale che rappresenti in forma simbolica idee e sentimenti. L'immagine non ha infatti alcun referente oltre se stessa, nè propriocettivo, nè esterno, nè semantico: "le immagini non significano niente" (v. Hillman, Further notes..., 1978); esse sono la psiche stessa nella sua visibilità immaginativa; in quanto dato primario, l'immagine è irriducibile. (Per il rapporto tra immagine e 'struttura' v. Berry, 1974; v. Kugler, The alchemy..., 1979).

La 'visibilità', tuttavia, non implica necessariamente che un 'immagine debba essere vista visivamente, nè che debba avere proprietà allucinatorie, il che confonderebbe l'atto di percepire le immagini con l'atto di immaginarle; neppure, infine, le immagini necessitano di essere udite, come nell'ascolto di un brano poetico. Le nozioni di 'visibilità' e 'udibilità' tendono a letteralizzare le immagini, concependole come eventi distinti che si presentano ai sensi. Casey, per esempio, nel suo saggio innovatore Towards an archetypal imagination,

scrive che un'immagine non è ciò che si vede ma il modo in cui si vede. L'immagine è quindi data dalla prospettiva dell'immaginazione e può essere percepita soltanto da un atto dell'immaginazione.

L'autoctonia delle immagini, e quindi la loro indipendenza dall'immaginazione soggettiva responsabile della percezione, conduce ad approfondire ulteriormente l'idea di Casey. A tutta prima, si crede che le immagini siano allucinazioni (cose viste); poi, vengono riconosciute come atti dell'immaginazione soggettiva; successivamente ancora, si arriva alla consapevolezza che le immagini sono indipendenti dalla soggettività e dalla stessa immaginazione: come nei sogni, vanno e vengono a loro piacimento, entro il loro campo di relazioni. Questo riconoscimento Corbin (v., 1958) lo attribuisce al cuore ridestato come locus dell'immaginazione, un luogo familiare anche alla tradizione occidentale già dall' "immagine del cuore" di Michelangelo. Questa interdipendenza tra cuore e immagine congiunge strettamente la base stessa della psicologia archetipica con i fenomeni dell'amore (v. cap. 11). Per la psicologia, la teoria di Corbin dell'immaginazione creativa del cuore implica inoltre che, se la base è l'immagine, si deve al tempo stesso riconoscere che l'immaginazione non è soltanto una facoltà umana, ma è un'attività dell'anima di cui l'immaginazione umana costituisce una testimonianza. Non siamo noi che immaginiamo, bensì siamo immaginati.

Se 'l'immagine' viene così trasferita da una sfera umana a quella di un'attività sui generis dell'anima, che si estrinseca in una manifestazione affatto autonoma della sua nuda natura, tutti gli studi empirici sull'immaginazione, sui sogni, sulla fantasia e sul processo creativo degli artisti, nonché sui metodi del *révé dirigé*, non contribuiscono che assai scarsamente a una psicologia dell'immagine, in quanto partono dal terreno empirico dell'immaginare anziché dal fenomeno dell'immagine, che non è un prodotto dell'immaginare. I metodi empirici di analisi e di guida delle immagini si sforzano di ottenerne il controllo. La psicologia archetipica si distingue radicalmente da questi metodi di controllo dell'immagine, come Watkins (v., 1976) ha validamente dimostrato.

L'innovazione di Casey, che considera l'immagine non più come qualcosa che si vede ma come un modo di vedere (un vedere del cuore, come dice Corbin), è la soluzione che la psicologia archetipica propone per l'antico dilemma tra immaginazione 'vera' (Paracelso) e immaginazione falsa (*fancy* di Coleridge). Per la psicologia archetipica, la distinzione dipende dalla risposta che si dà all'immagine e dal lavoro che si fa con essa. I suoi criteri si riferiscono pertanto alla 'risposta': la risposta metaforica e immaginativa è migliore di quella fantasiosa o letterale, e ciò perché, mentre la prima è 'feconda' (Langer) in quanto favorisce l'approfondimento e l'elaborazione dell'immagine, le altre disperdono o inscrivono l'immagine in un significato più semplicistico, superficiale o rigidamente dogmatico.

Per la psicologia archetipica le immagini non sono "né buone né cattive, né vere né false, né demoniache né angeliche" (v. Rillman, *The pandaemonium ...*, 1977), sebbene un'immagine implichi sempre "un contesto, un

umore e una scena precisamente qualificati" (v. Hillman, *An inquiry...*, 1977). Le immagini sollecitano un giudizio quale ulteriore precisazione dell'immagine, e il giudizio nasce dall'immagine stessa. Sospendere il giudizio significa quindi ricadere nella fantasia oggettivistica. I giudizi sono inerenti all'immagine (come un'opera d'arte reca in sé i criteri secondo i quali può essere giudicata, o un testo l'ermeneutica secondo la quale può essere interpretato). La psicologia archetipica esamina i giudizi come specificazioni ulteriori dell'immagine, come asserzioni psicologiche che non vanno prese letteralmente, da un punto di vista solo spirituale e quindi distaccato dal contesto dell'immagine giudicata.

L'importanza data alla risposta ha condotto la psicologia archetipica a usare, nella discussione sui giudizi morali, l'analogia con il lavoro artigianale. L'immagine ha lavorato bene, ha liberato e raffinato un ulteriore immaginare? La risposta "aderisce all'immagine" (Lopez-Pedraza) come il lavoro in corso aderisce alla mano, o sbocca invece in associazioni e amplificazioni simboliche non immagistiche, in opinioni e interpretazioni personali? Queste sono le domande che pone la psicologia archetipica.

'Aderire all'immagine' è diventata la regola d'oro del metodo archetipico, e questo perché l'immagine è il dato psicologico primario. Sebbene l'immagine implichi sempre più di quanto presenti, "la profondità dell'immagine, le sue illimitate ambiguità [...] possono essere afferrate soltanto, in parte, come implicazioni; di conseguenza, amplificare l'immagine del sogno significa anche restringerla: una ragione di più per cui non vogliamo mai allontanarci troppo dalla fonte" (v. Berry, 1974).

Va notato che la 'fonte' è 'complessa': la psicologia archetipica è complessa fin dall'inizio, perché l'immagine è un rapporto multiplo - che trova il suo limite in se stesso - di significati, umori, eventi storici, particolari qualitativi e possibilità espressive. Questa complessità polisemica è indizio di una psicologia politeistica (v. cap. 8), e richiama la teoria junghiana dei complessi come base della vita psichica. Partendo da un dato già di per sé 'complesso', l'immagine, la psicologia archetipica non ha bisogno di spiegare la vita psichica in termini semplicistici di meccanismi elementari, dati primordiali e strutture basilari in numero definito. Il riduzionismo è sconfitto in partenza perché la mente è originariamente poetica, e la coscienza non è un'elaborazione successiva, secondaria, a partire da una base primitiva, ma è data - insieme a quella base - in ogni immagine. La nozione di 'base poetica della mente' si ritrova per la prima volta in Hillman (v., *Re-visioning ...*, 1975, p. XI); con essa si intende che la psicologia archetipica "non ha il suo inizio nella fisiologia del cervello o nella struttura del linguaggio o nell'organizzazione della società e nemmeno nell'analisi del comportamento, ma nei processi dell'immaginazione. Il rapporto intrinseco che esiste tra la psicologia e l'immaginazione culturale è richiesto imperativamente dalla natura della mente. L'approccio più fecondo allo studio della mente è quindi quello che si rivolge alle sue più alte risposte immaginali (v. Hough, 1973), quelle in cui più piena è la liberazione e l'elaborazione delle immagini.

3. Immagine archetipica

Come già il suo stesso nome rivela, la psicologia 'archetipica' dà per scontata l'esistenza di universali immagistici - paragonabili agli "universali fantastici" di Vico (Scienza nuova seconda, vol. I, Bari 1953, p. 91) - ossia di figure mitiche che forniscono le caratteristiche poetiche del pensiero, del sentimento e delle azioni umane, nonché l'intelligibilità fisiognomica dei mondi qualitativi dei fenomeni naturali. Grazie alle immagini archetipiche, i fenomeni naturali presentano un volto che parla all'anima immaginativa anziché limitarsi a dissimulare leggi e probabilità celate o a manifestare la loro oggettivazione.

Un universale psicologico va considerato 'psicologicamente'. Un'immagine archetipica è psicologicamente 'universale' perché il suo effetto amplifica e depersonalizza. Sebbene ogni immagine vada considerata come un evento individualizzato e unico, come 'quell'immagine e nessun'altra', un'immagine archetipica è universale perché ha una risonanza collettiva, transempirica. La psicologia archetipica usa quindi 'universale' come aggettivo designante un 'valore' sostanziale e durevole (in termini ontologici, un'ipostasi). Per la psiche il problema degli universali non è se esistano e in qual modo ineriscano agli enti particolari, ma piuttosto se a un evento personale e individuale possa essere riconosciuta un'importanza collettiva ed essenziale.

Psicologicamente, il problema degli universali è presentato dall'anima stessa, la cui prospettiva è - problematicamente - sia quella della ristretta particolarità dell'esperienza vissuta, sia quella dell'universalità dell'archetipicamente umano. Nel pensiero neoplatonico si parlava dell'anima sia come anima personale sia come anima del mondo, e quel che era vero per l'una era vero anche per l'altra. L'universalità di un'immagine archetipica, dunque, significa anche che la risposta all'immagine ha implicazioni non soltanto meramente personali, in quanto innalza l'anima stessa oltre i suoi confini egocentrici e dilata gli eventi della natura, trasformandoli da eventi 'atomici' discreti in cifre estetiche portatrici di informazione per l'anima.

Poiché la psicologia archetipica dà la priorità alla configurazione sulla particella - e considera sempre anche gli eventi particolari come immagistici, e quindi infusi d'anima - anche il campo immaginativo è, si ritiene, primordialmente ordinato in temi, motivi, regioni, generi e sindromi tipici. Queste specie di modelli informano tutta la vita psichica. O. Durand (v., 1960) - procedendo sulla strada aperta da Bachelard - e il suo Centre de Recherches sur l'Imaginaire di Chambéry hanno cominciato a tracciare la mappa dell'organizzazione dell'immaginario visto come la base dell'antropologia culturale e della sociologia, e addirittura come la base del significato psicologico nell'intera sfera della coscienza.

La psicologia archetipica non si è limitata alla raccolta di dati oggettivi e alla correlazione di immagini come simboli verbali o visivi. Essendo gli elementi fondamentali della fantasia, le immagini archetipiche sono i mezzi mediante i quali il mondo è immaginato, e quindi le modalità grazie alle quali tutta la conoscenza, tutta l'esperienza diventa possibile. "Ogni processo psichico è un'immagine e un 'immaginare', altrimenti non

potrebbe esistere nessuna coscienza" (v. Jung, C. W., XI, § 899). Un'immagine archetipica funziona come il significato originario dell'idea (l'eidos e l'eidolon greci), si presenta quindi non come ciò che vediamo, ma come ciò per mezzo del quale vediamo. Le immagini archetipiche si manifestano perciò tanto nell'atto del vedere quanto nell'oggetto visto: esse appaiono nella coscienza come la fantasia dominante in virtù della quale diventa possibile il sorgere stesso della coscienza. La raccolta di dati serve meno a dimostrare oggettivamente l'esistenza degli archetipi che a dimostrare come quella dei 'dati oggettivi' non sia se non una fantasia tra le altre.

Inoltre, a differenza di Jung, che distingue radicalmente tra archetipo noumenico 'per sé' e immagine archetipica fenomenica, la psicologia archetipica rifiuta nettamente persino di prendere in considerazione un archetipo che non si manifesti fenomenicamente. Il suo interesse va ai fenomeni, cioè all'immagine archetipica, donde il passo successivo: "ogni immagine può essere considerata archetipica. Piuttosto che 'indicare' qualcosa, 'archetipico' 'punta verso' qualcosa, e questo è il valore [...] con psicologia archetipica noi intendiamo una psicologia di valore. E questa nostra mossa è diretta a ricondurre la psicologia al suo volume più ampio, ricco e profondo in modo che possa entrare in risonanza con l'anima nelle sue caratteristiche di insondabile, multipla, anteriore, generatrice e necessaria. Come tutte le immagini possono guadagnare questo senso archetipico, così tutta la psicologia [...] può essere archetipica [...]. 'Archetipico' si riferisce qui più a una direzione che si prende che a una cosa che è" (v. Hillman, *An inquiry...*, 1977, pp. 82-83; tr. it., pp. 57-58). Qui la psicologia archetipica - rigorosamente - 'vede in trasparenza' se stessa come una psicologia degli archetipi, una pura analisi delle strutture dell'essere (gli Dei nei loro miti) e, sottolineando la funzione valutativa dell'aggettivo 'archetipico', restituisce alle immagini la loro natura primordiale di ciò che dà valore psichico al mondo. Qualunque immagine definita 'archetipica' è con ciò stesso valutata come universale, trans-storica, fondamentalmente profonda, generativa, altamente intenzionale e necessaria.

Poiché 'archetipico' connota sia la forza intenzionale (l'istinto' di Jung), sia il campo mitico delle personificazioni (gli 'Dei' di Hillman), un'immagine archetipica è animata al pari di un animale (una delle frequenti metafore di Hillman) o di una persona che si ama, si teme, dà gioia, ci inibisce e così via. In quanto forza intenzionale e persona, l'immagine avanza una rivendicazione morale ed esige una risposta. È una 'presenza emotiva' (v. Armstrong, 1971) che offre un rapporto emotivo. Essa sembra portatrice di una prenoscenza anteriore (informazione codificata) e di una guida istintiva per il nostro destino, quasi fosse profetica, prognostica. Le immagini nei sogni "sono ben disposte verso di noi, ci spalleggiano e ci sospingono, ci comprendono più a fondo di quanto noi comprendiamo noi stessi, dilatano la nostra sensualità e il nostro spirito, preparano continuamente cose nuove da offrirci - e questo sentimento di essere amati dalle immagini [...] possiamo chiamarlo 'amore immaginale' (v. Hillman, *The dream...*, 1979, p. 196). Questa esperienza dell'immagine in quanto portatrice di messaggi e il sentimento di benedizione che può suscitare ricordano il

senso neoplatonico delle immagini come daimones e 'angeli' (messaggeri). "Forse - chissà? - queste immagini eterne sono quel che gli uomini intendono per fato" (v. Jung, C.W., VII, § 183).

Sebbene un'immagine archetipica si presenti come piena di significato, il significato non viene dato semplicemente come rivelazione; esso va costruito mediante il 'lavoro con l'immagine' e il lavoro col sogno (v. Hillman, *Psychotherapy's...*, 1977 e *The dream...*, 1979). Le modalità di tale lavoro possono essere di natura concreta e fisica, come nell'arte, nel movimento, nel gioco e nelle terapie occupazionali; ma, ed è più importante (perché in chiave meno staticamente simbolica), questo lavoro vien fatto 'aderendo all'immagine', come una penetrazione psicologica di ciò che viene realmente presentato, inclusa la posizione della coscienza impegnata nello sforzo ermeneutico. Il lavoro con l'immagine non è legittimamente tale se non viene ammesso sin dal principio l'implicito coinvolgimento della prospettiva soggettiva, in quanto anch'essa partecipa dell'immagine e interna alla sua fantasia.

Il lavoro con l'immagine richiede familiarità con i miti e con i simboli, come anche una cultura estetica in generale per valutare l'universalità delle immagini; e richiede inoltre una serie di 'mosse tattiche' (v. Hillman e Berry, 1977), spesso di natura linguistica (v. Sardello e altri, *Ensoulng language*, 1978; v. Severson, 1979; v. Kugler, *The alchemy...*, 1979) ed etimologica (v. Lockart, 1978; v. Kugelman, 1980), come anche sperimentazioni grammaticali e sintattiche (v. Ritsema, 1976; v. Hillman, *Further notes...*, 1978). Berry (v., 1974) ha descritto altre mosse tattiche che riguardano l'emozione, il contesto, le ripetizioni, i rovesciamenti e le 'rienunziamenti' (restatements).

L'intenzione primaria di questo lavoro verbale con le immagini è il "recupero dell'anima nel discorso" (v. Sardello e altri, *Ensouhng language*, 1978), che rivela l'aspetto insieme estetico ed erotico delle immagini: esse cioè ammaliano, seducono, persuadono, hanno sull'anima un effetto retorico al di là del loro contenuto simbolico. Il lavoro con l'immagine restituisce alle immagini il senso poetico originario, liberandole dalla servitù nei confronti di un contesto narrativo, dall'obbligo di raccontare una storia con le sue caratteristiche di linearità, sequenzialità e causalità, le quali incoraggiano il resoconto in prima persona delle intenzioni e delle azioni egocentriche di un soggetto 'personalistico'. La distinzione tra l'immagine e il racconto (v. Berry, 1974; v. Miller, *Fairy tale ...*, 1976) è fondamentale per la distinzione, quanto a stile immaginativo, tra psicologia archetipica politeistica (v. cap. 8) e psicologie tradizionali, che danno luogo a narrazioni epiche, accentrate sull'io (v. cap. 10).

Meritano attenzione tre ulteriori sviluppi della teoria delle immagini. P. K. Kugler (v., 1978 e 1979) ha elaborato una teoria acustica delle immagini come strutture significative stabili, indipendenti dal significato linguistico, etimologico, semantico e sintattico. Boer e Peter Kugler (v., 1977) hanno messo in correlazione le immagini archetipiche con la teoria della percezione di J. J. Gibson, asserendo che le immagini archetipiche vengono offerte direttamente dall'ambiente (non sono soggettive), sicché "la psicologia archetipica è realismo

mistico". Casey (v., 1979) avanza l'idea che l'immaginazione sia così strettamente in relazione col tempo, psicologicamente e ontologicamente, che l'effettivo lavoro con l'immagine non soltanto porta il tempo dentro l'anima, trasformando gli eventi temporali in eventi dell'anima, ma 'fa tempo' nell'anima.

4. Anima

La metafora principale della psicologia dev'essere l'anima. Psicologia (logos della psyche) etimologicamente significa: ragione o discorso o racconto intellegibile dell'anima. È compito della psicologia trovare il logos per la psiche, dare all'anima un resoconto adeguato di se stessa. La psiche come anima mundi, la neoplatonica anima del mondo, esiste da quando esiste il mondo stesso, e quindi l'altro compito della psicologia è di ascoltare la psiche che parla attraverso tutte le cose del mondo, recuperando così il mondo come un luogo per l'anima e dell'anima (v. cap. 5).

Nel suo discorso sull'anima, la psicologia archetipica conserva un'obliquità elusiva (v. Romanyshyn, 1978-1979). La continua preoccupazione di non sostantificare l'anima segue il principio: "Per anima io intendo, prima di tutto, una prospettiva piuttosto che una sostanza, un punto di osservazione sulle cose piuttosto che una cosa in sé" (v. Hillman, *Re-visioning...*, 1975, p. X). Nel corso di un lungo esame dell'anima Hillman (v., 1964; tr. it. p. 35) conclude: "L'anima è un concetto deliberatamente ambiguo che resiste a tutte le definizioni, nello stesso modo dei simboli supremi che forniscono le metafore basilari ai sistemi del pensiero umano"; quindi afferma, nel tentativo di circoscrivere il termine: "Non siamo in grado di usare il termine in modo non ambiguo, anche se lo prendiamo per riferirci a quel fattore umano sconosciuto che rende possibile il significato, che volge gli eventi nelle esperienze e che si comunica nell'amore". Nel 1967 venne aggiunto un quarto aspetto: l'anima ha una preoccupazione religiosa; e si aggiunsero infine tre ulteriori qualificazioni: "In primo luogo, l'anima si riferisce all'approfondimento degli eventi in esperienze; in secondo luogo, il significato che l'anima dischiude, nell'amore o nei suoi rapporti con la religione, deriva dalla sua speciale 'relazione con la morte'; e in terzo luogo, per 'anima' si intende la possibilità immaginativa insita nella nostra natura, il fare esperienza attraverso la speculazione riflessiva, il sogno, l'immagine e la 'fantasia': quella modalità insomma che riconosce ogni realtà come primariamente simbolica o metaforica" (v. Hillman, *Re-visioning...*, 1975, p. X).

I pericoli della letteralizzazione e dell'ontologizzazione, che accompagnano l'innalzamento dell'anima a primo principio, vengono affrontati nella psicologia archetipica con un certo qual tono scanzonato, parlando degli eventi dell'anima in maniera immagistica, ironica e umoristica (v. Hillman e Berry, 1977). È incessante il tentativo di spezzare i vasi nel momento stesso in cui si stanno formando. Il termine 'anima', inoltre, è usato liberamente, evitando di definire usi e sensi specifici, e ciò per mantenere il suo pieno potere di risonanza;

identico è l'uso del greco *psyche* (si pensi alla figura mitica greca di Psiche nella favola apuleiana di Amore e Psiche), del tedesco *Seele* e del latino *anima*. Qui l'anima', nell'accezione specificamente junghiana di figura personificata e di funzione dell'immaginazione (v. Jung, 1957; v. Hillman, *Anima*, 1973 e *Anima II*, 1974), conferisce una ricca messe di immagini, elementi patologici e qualità emotive a ciò che altrimenti potrebbe diventare un mero concetto filosofico.

L'essere umano è situato nella sfera dell'anima; l'anima è una metafora più inclusiva che l'umano. Anche se la vita umana non è soltanto una manifestazione della psiche, una vita umana è sempre una vita psicologica; tale è l'interpretazione che la psicologia archetipica dà dell'idea aristotelica dell'anima come vita e della dottrina cristiana dell'anima immortale, ossia travalicante i confini della limitazione individuale. Una psicologia umanistica o personalistica non raggiungerà mai una visione totale dell'anima, che si estende oltre il comportamento umano, personale. Questo movimento che situa l'uomo nella psiche (anziché situare la psiche nell'uomo) sottopone a 're-visione' tutta l'attività umana, di qualsivoglia natura, interpretandola come psicologica. Ogni manifestazione del comportamento umano, oltre al suo contenuto palese e letterale, ne ha sempre anche uno psicologico.

a) Anima e retorica

Ogni proposizione, presentando necessariamente un contenuto psicologico, può essere investigata alla ricerca del suo significato psicologico, di ciò che veramente significa per l'anima. Il discorso sull'anima stessa - sulla sua natura, sui suoi rapporti col corpo, sulle sue origini e il suo sviluppo, sul suo funzionamento - appartiene alla psicologia soltanto perché è il modo permanente in cui l'anima dà conto di se stessa in forma concettuale; appartiene al suo 'fare anima' (v. cap. 5), alla sua attività fantastica in atto. Ora, questi resoconti cosiddetti 'psicologici' andrebbero presi in chiave di finzioni anziché come mere risposte positivistiche al problema della natura dell'anima. L'anima può essere un oggetto di studio solo quando si riconosca come anima anche il soggetto che studia se stesso per mezzo delle finzioni e delle metafore dell'oggettività. Questa investigazione delle proposizioni, da qualsiasi campo provengano, alla ricerca delle loro implicazioni psichiche è un principio strategico e una mossa tattica della psicologia archetipica, e si chiama "psicologizzazione o visione in trasparenza" (v. Hillman, *Re-visioning...*, 1975, pp. 113-164). Tale strategia implica che la psicologia non può limitarsi a essere un campo tra gli altri, giacché l'anima stessa permea tutti i campi e le cose del mondo. Se parliamo di anima come di una 'metafora' primaria, anziché definirla in termini di sostanza e tentare di derivare il suo statuto ontologico dalla dimostrazione empirica o dall'argomentazione teologica (metafisica), la realtà psichica si troverà inestricabilmente intrecciata con la 'retorica'. La prospettiva dell'anima è inseparabile dal modo con cui si parla dell'anima: un modo che evoca l'anima, la porta alla vita, spingendoci nel contempo in una prospettiva psicologica. Dati i suoi rapporti con la retorica, la psicologia archetipica ha fatto ricorso a

strumenti letterari e poetici per esporre la sua visione, adoperandosi nel frattempo a 'vedere in trasparenza' le metafore meccaniche e personalistiche usate dalle altre psicologie, come anche a salvare l'anima da quelle letteralizzazioni; le scorrerie polemiche nelle riserve altrui sono necessarie al modo retorico.

b) Anima e mito

La retorica per eccellenza della psicologia archetipica è il mito. Questa strada era già stata aperta da Freud, da Jung e da Cassirer (v. Avenis, 1980) e, naturalmente, da una tradizione di pensiero mitico che, attraverso i romantici e Vico, risale a Platone. Questo accostamento ai racconti mitici visti come un linguaggio psicologico situa la psicologia nell'immaginazione culturale. Inoltre, i miti sono essi stessi metafore (o, come diceva Vico: "la metafora [...] viene ad essere una picciola favoletta"; op. cit., p. 164), di modo che la psicologia archetipica, trovando nei miti la sua retorica di elezione, poggia su una fantasia che non può essere considerata storicamente, fisicamente, letteralmente. Anche se l'appello alla mitologia è forse il procedimento più caratteristico condiviso da tutti gli psicologi 'archetipici', i miti stessi sono interpretati come metafore, mai come costituenti una metafisica trascendentale le cui categorie sono figure divine. Come afferma Hillman: "I miti, non fondano, aprono". Il ruolo del mito nella psicologia archetipica non consiste nel fornire un catalogo esauriente di comportamenti possibili o nel definire le forme delle energie transpersonali (nel senso neoplatonico), ma piuttosto nel dischiudere i problemi della vita alla riflessione transpersonale e basata sull'immaginazione culturale. Le nostre vite ordinarie ci appaiono inserite - e nobilitate - nella vita 'cosmopoietica' delle figure mitiche. Lo studio della mitologia ci consente di riconoscere gli eventi sul loro sfondo mitico. È però più importante il fatto che lo studio della mitologia ci metta in grado di percepire ed esperire la vita dell'anima in chiave mitica.

c) Anima, metafora e fantasia

Il problema filosofico del "come definire l'anima" o come enunciare un "logos dell'anima" (v. Christou, 1963) va visto in primo luogo come un fenomeno psicologico, nascente dal desiderio che l'anima ha di auto-conoscersi, desiderio che può soddisfare nel modo migliore grazie al proprio elemento costitutivo: le immagini. Così il logos dell'anima, ossia un autentico discorso su di essa, si esplicherà in uno stile immagistico, sarà un racconto o récit (v. Corbin, 1979, p. 43f) di natura metaforica.

L'affermazione precedente che "la metafora primaria della psicologia deve essere l'anima" si propone dunque due cose: a) enunciare la natura dell'anima nel suo linguaggio proprio (la metafora); b) riconoscere che in psicologia tutte le proposizioni sull'anima sono metafore. In questo modo l'anima-come-metafora ci porta oltre il problema di 'come definire l'anima', e incoraggia un parlare dell'anima più incline a immaginarsi che a definirsi. Qui la metafora assolve una funzione psicologica: diventa uno strumento del 'fare anima' (v. cap. 5)

anziché un semplice 'tropo', perché traspone l'interrogarsi dell'anima sulla propria natura in una mitopoiesi dell'immaginare effettivo, in una creazione psicologica in atto.

L'anima-come-metafora descrive anche in qual modo l'anima agisce. Essa opera al modo di una metafora, trasponendo il significato e liberando il senso interiore, sepolto. Tutto ciò che viene sentito con l'orecchio dell'anima riecheggia di sottotoni e sovratoni (v. Moore, 1978). Ma la prospettiva si oscura anche di una luce più cupa; la prospettiva metaforica infatti uccide: provoca la morte del realismo ingenuo, del naturalismo e della comprensione letterale. Il rapporto tra l'anima e la morte - un tema che percorre tutta la psicologia archetipica - è dunque una funzione dell'attività metaforica della psiche. La modalità metaforica non parla per proposizioni dichiarative, né spiega per mezzo di contrasti netti. Consegna ogni cosa alla sua ombra. La sua prospettiva sconfigge dunque ogni sia pur eroico tentativo di raggiungere una solida presa sui fenomeni: la modalità metaforica dell'anima è "elusiva, allusiva, illusiva" (v. Romanyshyn, 1977) e mina la definizione stessa di coscienza come intenzionalità, e la sua storia come sviluppo.

La consapevolezza umana è inadeguata alla comprensione dell'anima non a causa del peccato originale o delle nevrosi personali, o a causa dell'ostinazione del mondo oggettivo al quale si suppone sia contrapposta. Per una psicologia fondata sull'anima, la consapevolezza umana fallisce perché la natura metaforica dell'anima ha una necessità suicida (v. Hillman, 1964), un'affiliazione con il mondo infero (v. Hillman, *The dream...*, 1979), un destino, diverso dalle rivendicazioni del mondo diurno, che rende la psiche sostanzialmente incapace di sottomettersi alla *hybris* di un concetto egocentrico della soggettività, definita come cognizione, volizione, intenzione, percezione e così via.

Così, questo senso di debolezza (v. Lopez-Pedraza, 1977), di inferiorità (v. Hillman, *Psychotherapy's...*, 1977), di mortificazione (v. Berry, 1973), di masochismo (v. Cowan, 1979) e di fallimento (v. Hillman, *Failure and...*, 1972) è intrinseco alla modalità stessa della metafora, che sconfigge la comprensione cosciente come controllo sui fenomeni. La metafora, in quanto modalità animica del logos, finisce con il risolversi in quell'abbandonarsi a ciò che ci viene dato, ai fenomeni, così vicino al misticismo (v. Avens, 1980).

La trasposizione metaforica - questo procedimento intrecciato con la morte e al tempo stesso ridestante la coscienza a un senso dell'anima - è al centro della missione della psicologia archetipica, è l'intenzione con cui si rivolge al mondo. Già Freud e Jung avevano tentato entrambi di scoprire l'errore' fondamentale della cultura occidentale così da alleviare l'infelicità dell'uomo, intrappolato nel declino dell'Occidente; dal canto suo, la psicologia archetipica ravvisa l'errore nella perdita di anima, perdita ulteriormente identificata con la perdita delle immagini e del senso immaginale. Ne risulta un'intensificazione della soggettività (v. Durand, 1975), che si manifesta sia nell'egocentricità chiusa in se stessa, sia nell'iperattivismo o fanatismo di vita della coscienza occidentale (o meglio 'nordica', v. cap. 7), che ha perso il suo rapporto con la morte e il mondo infero.

Questa re-immaginazione e ri-animazione della psiche culturale, cui aspira la psicologia archetipica, ha bisogno della patologizzazione (v. cap. 9), perché soltanto l'indebolimento o la frammentazione (v. Hillman, *Re-visioning...*, 1975) infrange la soggettività chiusa in se stessa e la restituisce alle sue profondità, consentendo all'anima di riapparire nel mondo delle cose.

La ri-animazione delle cose mediante la metafora fu già indicata da Vico (op. cit., p. 164), il quale scrisse che "la metafora [...] alle cose insensate [...] dà senso e passione". La prospettiva metaforica, come dà nuova animazione all'anima, così rivitalizza aree che si presumevano non infuse d'anima e non psicologiche: gli eventi del corpo e la medicina, il mondo ecologico, opere dell'uomo come l'architettura e i trasporti, l'istruzione, l'alimentazione, il linguaggio e i sistemi burocratici. Sardello e i suoi studenti, all'Università di Dallas, hanno investigato tutte queste aree in chiave di immagini metaforiche, sottoponendole a un'approfondita revisione psicologica. La prospettiva metaforica che 're-visiona' i fenomeni del mondo come immagini, può trovare 'senso e passione' dove la mente cartesiana vede la pura estensione di oggetti insensibili e privi di anima.

In questo modo la 'base poetica della mente' (v. cap. 2) trae la psicologia oltre i confini del laboratorio e dello studio analitico, e persino oltre la soggettività personale dell'individuo trasformandola in una psicologia delle cose viste come 'oggettivazioni' - dotate di interiorità - delle immagini, come il frutto del dispiegarsi della fantasia.

Per la psicologia archetipica, i termini fantasia e realtà mutano di posto e di valore. In primo luogo, non si contrappongono più l'uno all'altro; in secondo luogo, la fantasia non è mai soltanto mentalmente soggettiva, ma è sempre incarnata e 'messa in scena' (v. Hillman, *Essay on...*, 1972, pp. 90-91); in terzo luogo, tutto ciò che è fisicamente o letteralmente 'reale' è sempre anche un'immagine della fantasia. Così il mondo della cosiddetta pura realtà fattuale è sempre anche il dispiegarsi di una fantasia in forme specifiche, ossia, per dirla con W. Stevens (il poeta-filosofo americano dell'immaginazione, al quale spesso attinge la filosofia archetipica), c'è sempre "una poesia al centro delle cose". Jung affermò la stessa idea (C. W., VI, § 78): "Ogni giorno la psiche crea la realtà. L'unica espressione che posso usare per questa sua attività è fantasia". E trae la parola 'fantasia' "dalla tradizione poetica" (ibid., § 743).

Le ultime indagini della psicologia archetipica (conferenze inedite di Berry, McConeghey, Hillman) hanno per argomento la poetica, l'estetica, e la critica letteraria. Ciò è dovuto non tanto all'interesse che la psicanalisi contemporanea nutre per la lingua, quanto alla rivalutazione della psicologia stessa come attività di 'poiesi' e alla realtà della fantasia come attività archetipica della psiche.

d) Anima e spirito

Se l'immaginare è l'attività innata dell'anima mundi, ne deriva che la fantasia è sempre in atto e non è quindi soggetta a un'epoché fenomenologica (Husserl). Inoltre, se la fantasia è sempre in atto, anche l'epoché è una fantasia: fantasia di isolamento, di oggettivazione e di una coscienza alla quale i fenomeni possono rivolgersi così come sono. La psicologia archetipica sostiene però che non possiamo mai essere veramente fenomenici o veramente oggettivi. Non si è mai oltre il soggettivismo, che ci viene dato insieme con le dominanti animiche innate delle strutture della fantasia. Queste dominano le prospettive soggettive e le organizzano in 'posizioni', sicché l'unica oggettività a cui ci si può avvicinare è quella dell'occhio soggettivo rivolto all'interno, verso se stesso, che guarda il proprio sguardo, che esamina la propria prospettiva alla ricerca dei soggetti archetipici che in quel momento governano il nostro modo di essere nel mondo tra i fenomeni. La psicologia come scienza oggettiva diventa per sempre impossibile non appena si riconosce che anche l'oggettività è un genere poetico (simile allo 'scrittore-specchio' del naturalismo francese), un modo di costruire il mondo in maniera tale che le cose appaiano come mere cose (senza volto, senza animazione, senza interiorità), soggette alla volontà, separate l'una dall'altra, mute, prive di senso e di passione.

C'è una 'posizione' particolarmente restia ad accedere alla fantasia che la fantasia è sempre in atto: è la posizione dello spirito. Essa si presenta come oggettività scientifica, come metafisica e come teologia.

Per quanto riguarda la psicologia archetipica, gli attacchi che ha mosso contro queste impostazioni rientrano in una strategia più ampia, mirante a distinguere i metodi e la retorica dell'anima da quelli dello spirito, in modo che l'anima non sia costretta a rinunciare al proprio stile per adempiere obblighi richiesti da una prospettiva spirituale, non importa se filosofica, scientifica o religiosa. La possibilità della psicologia, infatti, implica il mantenimento della distinzione tra anima e spirito (v. Hillman, *Re-visioning...*, 1975, pp. 67-70, 1976 e *The pandaemonium...*, 1977).

A volte la 'posizione' dello spirito con la sua retorica (ordine, numero, conoscenza, stabilità e logica autodifensiva) è stata vista in termini di senex e come saturnina (v. Hillman, *The negative...*, 1975); altre volte, a causa della sua retorica di chiarezza e di distacco nell'osservazione, è stata considerata apollinea (v. Hillman, *Myth of ...*, 1972); in altre occasioni, a causa della retorica di unità, realtà ultima, identità, è stata considerata in termini di 'monoteismo', e anche di puer (v. Hillman, *Senex et ...*, 1967).

Pur riconoscendo che la prospettiva dello spirito deve porsi al di sopra (così come l'anima si pone quale inferiore) e parlare in termini trascendenti, 'ultimi' e puri, la psicologia archetipica ritiene che il suo compito sia quello di immaginare il linguaggio dello spirito - linguaggio fatto di 'verità', di fede, di 'legge' e simili - come una retorica dello spirito, anche se lo spirito è obbligato dalla sua stessa retorica a prendere la propria posizione sinceramente e lealmente, ossia letteralmente.

La distinzione tra anima e spirito premunisce inoltre contro il pericolo di una confusione tra terapia psicologica e discipline spirituali - siano esse orientali od occidentali - e dà alla psicologia archetipica una

ragione di più per rifiutare prestiti dalle tecniche meditative e/o dal condizionamento operante, che concettualizzano gli eventi psichici in termini spirituali.

5. Il 'fare anima'

La psicologia archetipica ha chiamato 'fare anima' (soulmaking) l'aspirazione che guida il suo lavoro, prendendo l'espressione da William Blake e, soprattutto, da John Keats: "Chiamate, vi prego, il mondo 'la valle del fare anima'. Allora scoprirete a che serve il mondo".

Data l'importanza che le attribuisce, la psicologia archetipica colloca l'anima individualizzata, e il suo farsi, proprio al centro del mondo. Essa non cerca una via per uscire dal mondo o per oltrepassarlo verso una redenzione o una trascendenza mistica, perché "è più difficile trovare la via attraverso il mondo che la via al di là del mondo" (W. Stevens, Reply to Papini). La visione curativa o salvifica della psicologia archetipica è centrata sull'anima nel mondo che è anche l'anima del mondo (anima mundi). L'idea di 'fare anima assumendo ogni evento del mondo anche come un 'luogo di anima mette in luce come questa psicologia, nonostante il suo carattere neoplatonico e 'arcano', sia radicata - e impegnata - nella 'valle' e nel compito che deve svolgervi.

Così la tensione artificiale tra anima e mondo, privato e pubblico, interiore ed esteriore, sparisce allorché l'anima come anima mundi, e il suo farsi, siano situati nel mondo.

Più specificatamente, l'atto del 'fare anima' consiste nell'immaginare: le immagini sono infatti la psiche, la sua materia e la sua prospettiva. Foggiare immagini - come diremo più avanti parlando della terapia - è quindi un equivalente del 'fare anima'. Ciò può aver luogo nelle forme concrete, e con la particolare moralità, del lavoro artigianale, come può anche aver luogo nelle elaborazioni sofisticate della riflessione, della religione, dell'azione sociale, purché queste attività siano immaginate dal punto di vista dell'anima e abbiano l'anima come interesse primario.

In altre parole, soltanto riconoscendo l'immaginazione come un impegno alla frontiera dell'umano e come un lavoro collegato con le dominanti mitiche è possibile considerare l'articolazione delle immagini una 'psicopoiesi' (v. Miller, Mythopoesis..., 1976), ossia un 'fare anima'. L'intento del 'fare anima' è la realizzazione delle immagini - poiché esse sono la psiche - e non semplicemente la realizzazione del soggetto umano; come ha detto Corbin: "si tratta della loro individuazione, non della nostra", suggerendo che il 'fare anima' può essere definito, nel modo più succinto, come l'individuazione della realtà immaginale.

Il 'fare anima viene anche descritto come un vedere in termini figurati (imaging), ossia un vedere o un udire mediante un'immaginare (imagining), che vede in trasparenza un evento sino alla sua immagine. Vedere in termini figurati significa liberare gli eventi da una comprensione letterale trasferendoli in una dimensione mitica. Il 'fare anima' è quindi equiparato alla 'deletteralizzazione': quell'atteggiamento psicologico che

respinge con diffidenza il livello ingenuo e 'dato' degli eventi per andare in cerca degli umbratili, metaforici significati ch'essi hanno per l'anima.

La domanda del 'fare anima' è dunque: "Che cosa sommuovono nella mia anima questo evento, questa cosa, questo attimo? Che cosa significano per la mia morte?" Il problema della morte sopravviene perché proprio riguardo alla morte la prospettiva dell'anima si distingue nel modo più netto dalla prospettiva della vita naturale.

Il 'fare anima' comporta una fantasia metafisica, e la metafisica implicita nella psicologia archetipica è illustrata nel modo migliore in *The dream and the underworld* di Hillman (1979), che elabora il rapporto tra psiche e morte. In questo lavoro il sogno viene assunto come paradigma della psiche, dove la psiche si presenta come inclusiva dell'io e impegnata nel lavoro che le è proprio (il lavoro del sogno). Il sogno induce a ritenere che la psiche si interessi fundamentalmente delle proprie immaginazioni e solo secondariamente delle esperienze soggettive vissute dal sognatore nel mondo diurno, dal sogno trasformate in immagine, ossia in anima. Il sogno, quindi, è un 'fare anima' ogni notte. Le immagini diventano il mezzo per trasmutare in anima gli eventi della vita, e questo lavoro, con l'aiuto dell'elaborazione conscia dell'immaginazione, costruisce un vascello immaginale, una "nave di morte" (espressione che Hillman prende da D. H. Lawrence), simile al corpo sottile o all'ochema dei neoplatonici. La questione dell'immortalità dell'anima non trova una risposta diretta in una dichiarazione metafisica. Invero, la stessa natura dell'anima nel sogno - o almeno la prospettiva dell'anima verso il sogno - mostra il suo disinteresse e la sua noncuranza per l'esperienza mortale, perfino per la morte fisica, accogliendo nella propria sfera soltanto quelle sembianze e quegli eventi del mondo mortale che hanno attinenza con l'opus del suo destino.

6. Il profondo e la direzione verticale

Sin dal suo primo apparire nelle ricerche freudiane sugli strati profondi - pre-consci, sub-consci e in-consci - della mente, la 'psicologia del profondo' (così chiamata sul finire del secolo scorso dallo psichiatra zurighese E. Bleuler) si è sempre diretta verso il basso, si trattasse dei ricordi sepolti dell'infanzia o di mitologemi arcaici. La psicologia archetipica ha preso altrettanto seriamente, anche se meno alla lettera, la metafora del profondo. Ha anzi fatto risalire la metafora della profondità dell'anima a Eraclito (DielsKranz, B 45: ψυχῆς πείρατα ἰὼν οὐκ ἂν ἐξεύροιο [...] οὕτω βαθὺν λόγον ἔχει) e al thesaurus o memoria di sant'Agostino (Confessioni, X); e ha inoltre collegato l'esplorazione freudiana del profondo, la discesa nel sogno, quale viene descritta nella Traumdeutung, ai miti del mondo infero, di Ade, di Persefone, di Dioniso, e al fondamentale rapporto della psiche con il regno dei morti, che è anche il regno delle immagini o eidola (v. Hillman, *The dream...*, 1979).

Per via della sua direzione verticale, la psicologia del profondo è costretta a occuparsi della depressione (v. cap. 9) e della riduzione dei fenomeni alla loro essenza 'mortale', al loro eccesso patologizzato (v. Berry, 1973), nel quale vengono sperimentati come materialmente distruttivi e negativi, e tuttavia come base di sostegno (v. Berry, *What's the matter...*, 1978).

La letteralizzazione del movimento verso il basso della psicologia del profondo ha sortito l'effetto di restringerne il significato, limitandolo all'interiorità introversa dell'individuo nell' "abisso" e nella "camera segreta" dell'io personale (sant'Agostino). Qual è allora il rapporto con gli altri, con il mondo orizzontale? Per la psicologia archetipica, la direzione verticale si riferisce alla capacità di cogliere l'interiorità di tutte le cose. Tutto ha un significato archetipico e tutto è aperto alla penetrazione psicologica, e l'interiorità si manifesta nel carattere fisiognomico delle cose del mondo orizzontale. Il profondo quindi non è, in senso letterale, nascosto, giù in fondo, all'interno; piuttosto, la fantasia del profondo incoraggia a guardare il mondo con altri occhi, a leggere ogni evento in cerca di "qualcosa di più profondo", a "cercare dentro" (v. Hillman, *Insearch:...*, 1967) anziché a ricercare, per estrarre un significato che vada oltre quanto appare evidente. Questa fantasia che interiorizza verso il basso è quindi realmente alla base di tutta la psicanalisi. La fantasia delle profondità nascoste infonde anima al mondo e favorisce un immaginare che penetri sempre più profondamente nelle cose. Il profondo - anziché un luogo nel senso letterale o fisico - è una metafora primaria necessaria al pensare psicologico (ossia per la 'psicologizzazione'; v. Hillman, *Revisioning...*, 1975).

7. 'Nord' e 'Sud'

La direzione verso il basso può anche essere vista come un andare verso il Sud. A differenza delle più importanti psicologie del XX secolo, che hanno le loro fonti - la lingua tedesca e la Weltanschauung monoteistica ebraico-protestante - nell'Europa del Nord, la psicologia archetipica ha le sue origini nel Sud. Nè la civiltà greca nè quella rinascimentale hanno elaborato 'psicologie' in quanto tali. Il termine 'psicologia' e la maggior parte del lessico psicologico moderno (v. Hillman, *Myth of...*, 1972) appaiono operanti soltanto nell'Ottocento. Riconoscendo questi fatti storici, la psicologia archetipica situa il proprio lavoro in una geografia pre-psicologica, dove la cultura dell'immaginazione e il modo di vivere recavano in sé ciò che al Nord doveva essere formulato come 'psicologia'. La 'psicologia' è una necessità della cultura postriformistica, ormai spogliata della propria base poetica immaginale.

Il 'Sud' - oltre a essere un luogo geografico, culturale, etnico - è anche un luogo simbolico. È la cultura mediterranea, le sue immagini e le fonti testuali, la sua umanità sensuale e concreta, i suoi Dei e Dee e i loro miti, il suo genere tragico e il suo genere picaresco (anziché l'eroismo epico del Nord), ed è anche un atteggiamento simbolico 'al di sotto del confine', che non vede quella regione dell'anima soltanto da una

prospettiva moralistica nordica, nella quale l'inconscio subisce una radicale re-visione (diventa cioè ariano, apollineo, germanico, positivistico, volontaristico, razionalistico cartesiano, protestante, scientifico, personalistico, monoteistico, ecc.). Persino la famiglia, anziché fonte di nevrosi 'nordica', può essere rivalutata come base di un legame ancestrale e sociale.

Tenendo bene a mente questa divisione fondamentale nella storia della cultura occidentale, la psicologia archetipica evita il dilemma convenzionale tra 'Oriente e Occidente'. Posizioni di solito attribuite all'Oriente rientrano nell'indirizzo proprio della psicologia archetipica. Avendo riorientato la coscienza verso elementi non egoici - le personificazioni multiple dell'anima, l'elaborazione della base immaginale dei miti, la diretta immediatezza dell'esperienza sensoriale unita all'ambiguità della sua interpretazione e la fenomenicità radicalmente relativa dell'io', visto come null'altro che una tra le altre fantasie della psiche - la psicologia archetipica rende superfluo l'accostamento alle discipline orientali, divenuto necessario in seguito all'identificazione della psicologia con le prospettive della geografia psichica nordica.

La monografia di R. Avens (v., 1980) mostra il parallelismo esistente tra la psicologia archetipica e certe filosofie orientali. A somiglianza di queste, anch'essa dissolve l'io, l'ontologia, la sostanzialità, le interpretazioni letterali dell'io e le divisioni tra l'io e le cose - tutto l'apparato concettuale costruito dalla psicologia nordica a partire dall'io eroico, e in sua difesa - nella realtà psichica dell'immaginazione sperimentata immediatamente. Lo 'svuotamento' dei positivismi occidentali, paragonabile a un esercizio zen o a una via del nirvana, è esattamente ciò che la psicologia archetipica ha effettuato, e con mezzi totalmente 'occidentali', dove 'occidentale' si riferisce a una psicologia dell'anima qual è immaginata nella tradizione del Sud.

8. Psicologia politeistica e religione

Nessun compito è di portata così vasta - per ricchezza di implicazioni culturali - quanto quello di recuperare le prospettive del politeismo (per l'insieme dei vari problemi del nuovo politeismo v. Miller, 1974). Emergono a questo proposito i quattro punti seguenti.

1. Un modello adeguato dell'esistenza umana dev'essere in grado di spiegarne l'innata diversità: diversità sia tra un individuo e l'altro, sia entro ciascun individuo. Questo stesso modello, però, deve fornire anche le strutture e i valori fondamentali di questa diversità. Per Freud come per Jung, la molteplicità è essenziale alla natura umana, e i loro modelli di uomo si basano su una fantasia policentrica. Secondo l'idea freudiana del bambino sessualmente polimorfo, la libido trae origine da un campo policentrico, polivalente e polimorfo di zone erogene. Il modello junghiano di personalità (v. cap. 12) è essenzialmente multiplo, e Jung collega la pluralità della sua struttura archetipica con lo studio politeistico della cultura (C. W, IX, 2, § 427); ne deriva

che "la molteplicità dell'anima richiede una fantasia teologica ugualmente differenziata" (v. Hillman, *Revisioning...*, 1975, p. 167).

2. La tradizione di pensiero (greca, rinascimentale, romantica) di cui la psicologia archetipica si dichiara l'erede, deriva da una coscienza politeistica. I prodotti immaginativi di questi periodi storici non possono arricchire ulteriormente la psicologia se la coscienza che dovrebbe recepirli non è in grado di trasferirsi in un'analoga struttura politeistica. Le grandi conquiste della cultura occidentale, da cui la cultura contemporanea può trarre alimento per la propria sopravvivenza, rimangono precluse alla coscienza moderna, se essa non acquista una prospettiva 'mimetica' nei confronti di ciò che prende in esame. Per questa ragione la psicologia politeistica è necessaria per la salvezza della cultura.

3. La critica psichiatrica, politica e sociale implicita in tutta la psicologia archetipica riguarda soprattutto il mito monoteistico dell'eroe (oggi definito come psicologia dell'io), proprio dell'umanesimo laico, cioè il concetto monocentrico di coscienza soggettiva caratteristico dell'umanesimo (da Protagora a Sartre).

È proprio questo il mito che ha dominato l'anima e che conduce sia all'azione irriflessiva, sia all'autoaccecamento (Edipo). Esso è anche responsabile della repressione della diversità psicologica, che si presenta poi come psicopatologia. Ne discende che una psicologia politeistica è necessaria per ridestare la coscienza riflessiva e suscitare una nuova prospettiva per la psicopatologia.

4. Il 'prospettivismo' della psicologia archetipica esige un approfondimento della soggettività oltre le mere prospettive nietzschiane o le posizioni esistenziali. Le prospettive sono 'forme' della visione, della retorica, dei valori, dell'epistemologia, nonché stili vissuti che perdurano indipendentemente dall'individualità empirica. Per la psicologia archetipica, il pluralismo e la molteplicità e il relativismo non bastano: sono nient'altro che generalità filosofiche. La psicologia ha bisogno di specificare e differenziare ogni evento, e questo può farlo sullo sfondo multiforme di configurazioni archetipiche, cioè di quelli che il politeismo - onde sottolinearne con il massimo di vigore e precisione la molteplicità - definiva 'Dei'. La domanda che bisogna quindi rivolgere a un evento non è 'perché' o 'come', ma piuttosto 'che cosa' esattamente venga presentato e in definitiva 'chi', quale figura divina, parli in questo stile di coscienza o appaia in questo modo di presentarsi. Ne consegue che, se si vuol legittimare "un universo pluralistico" (v. James, 1909), è necessaria, per la coerenza della sua articolazione e la precisione della sua differenziazione, una psicologia politeistica.

L'analogia politeistica è al tempo stesso religiosa e non religiosa (v. Miller, 1972 e 1974; v. Bregman, 1980; v. Scott, 1980; v. Avens, 1980). Gli Dei vengono considerati come principi fondamentali: la psicologia guarda oltre l'anima e non può mai essere puramente agnostica. La dimensione sacra e sacrificale - l'istinto religioso, come lo chiama Jung - riceve un posto di enorme valore; e, in realtà, proprio grazie all'appello agli Dei il valore entra nel campo della psicologia, avanzando pretese su ogni vita umana e dando agli atti personali un

significato transpersonale. Gli Dei sono quindi gli Dei della religione e non semplici nomi, categorie, espedienti di comodo. Sono rispettati come potenze, come persone e come creatori di valore.

Viene nondimeno mantenuta la distinzione tra politeismo 'psicologico' e politeismo 'religioso'. 'una distinzione difficile, in quanto "l'analisi del profondo porta all'anima, il che inevitabilmente coinvolge l'analisi nella religione e persino nella teologia, mentre d'altra parte la religione viva, la religione vissuta, nasce nella psiche umana ed è in quanto tale un fenomeno psicologico" (v. Hillman, *Insearrech:...*, 1967, p. 42). Quando l'anima è la metafora primaria (v. cap. 4, § c), allora la psicologia e la religione sono necessariamente intrecciate insieme e il distinguerle l'una dall'altra è arbitrario o ambiguo. L'anima stessa si pone il problema del politeismo non appena la sua prospettiva sperimenta il mondo come animato e la propria natura come ricolma di mutevole diversità; il problema del politeismo, cioè, nasce non appena l'anima si libera dalla supremazia dell'io.

Ciononostante, la psicologia archetipica "non vuole adorare gli Dei greci o quelli di qualsiasi altra grande cultura politeistica [...]. Non stiamo risuscitando una fede morta. Perché a noi non interessa la fede" (v. Hillman, *Re-visioning...*, 1975, p. 170). Quelli della psicologia non sono Dei 'in cui si crede', non sono presi in senso letterale, né immaginati teologicamente. "La religione si accosta agli Dei col rito, la preghiera, il sacrificio, il culto, il credo [...]. Nella psicologia archetipica, gli Dei vengono 'immaginati'. Ci si accosta a loro mediante metodi psicologici di personificazione, patologizzazione e psicologizzazione. Gli Dei sono formulati in modo ambiguo, come metafore per modalità di esperienza, come personaggi numinosi e in un certo senso 'al limite'. Sono prospettive cosmiche a cui l'anima partecipa" (ibid., p. 169). Questa partecipazione si estrinseca soprattutto nella riflessione: scopriamo gli Dei riconoscendo l'angolazione della nostra prospettiva, della nostra sensibilità psicologica alle configurazioni che dominano i nostri stili di pensiero e di vita. Per la psicologia gli Dei - siano visti come figure concrete o come definizioni teologiche - non devono essere sperimentati in un incontro mistico, diretto o indiretto.

La critica della religione teologica procede sulle orme di Freud e Jung, ma con un'impronta ancora più radicale. La psicologia archetipica non tenta di correggere la religione ebraico-cristiana in quanto illusione (Freud) o di trasformarla in quanto è unilaterale (Jung). Essa sposta l'intera questione su una posizione politeistica. In un sol colpo porta la critica freudiana e junghiana alle sue estreme conseguenze (la morte di Dio come fantasia monoteistica), mentre nel contempo reintegra la pienezza degli Dei in tutte le cose, e in verità persuade la psicologia a riconoscere anche se stessa come attività religiosa.

Una visione politeistica differisce dal panteismo indifferenziato, dal vitalismo sacro e dall'animismo naturalistico - che la coscienza monoteistica tende a liquidare sommariamente come 'pagani' e 'primitivi'. Nella psicologia archetipica, gli Dei non sono una qualche energia originaria diffusa nell'universo, e nemmeno sono immaginati come poteri magici indipendenti, che agiscono su di noi per mezzo delle cose. Gli Dei sono

immaginati come l'intelligibilità formale del mondo fenomenico, che consente a ogni cosa di essere distinta per la propria intrinseca intelligibilità e per il proprio specifico luogo di appartenenza a questo o a quel kosmos (configurazione o sistemazione ordinata). Gli dei sono 'luoghi', e i miti creano un luogo per gli eventi psichici, i quali, in un mondo puramente umano, diventano patologici. Offrendo asilo e altare, si può ordinare e rendere intelligibile tutto il mondo fenomenico della natura e della coscienza umana. Tutti i fenomeni vengono 'salvati' dando loro una 'collocazione' e quindi nel contempo attribuendo loro un valore. Agli oracoli greci veniva sottoposto proprio il problema della 'collocazione': "A quale dio o eroe devo rivolgermi con preghiere o con sacrifici per raggiungere questo o quel fine?" Se si sa il luogo di appartenenza di un evento e a chi lo si può riferire, allora si è in grado di procedere. Noi scopriamo i legami di appartenenza mediante la somiglianza, l'analogia tra eventi e configurazioni mitiche. Questo procedimento - nella nostra cultura - è stato usuale per millenni nell'alchimia, nell'astrologia planetaria, nella filosofia naturale e nella medicina: ciascuna di queste scienze studiava infatti gli eventi del microcosmo in rapporto con gli Dei del macrocosmo. Oggi, tuttavia, il fine della psicologia archetipica non è tanto la scoperta dei rapporti di appartenenza, cioè l'epistrafe o conversione attraverso la somiglianza di un evento con la sua figura mitica, quanto il dispiegarsi di una sensibilità archetipica che colga l'appartenenza di ogni cosa al mito. Lo studio delle 'collocazioni' archetipiche, che derivano dalle ricerche di Fr. Yates (v., 1966) sul 'teatro della memoria di Giulio Camillo, è stato continuato in modo particolareggiato, in vari seminari, da Lopez-Pedraza e da Sardello.

9. Psicopatologia

Il punto di partenza per la 're-visione' della psicopatologia è una dichiarazione di Jung (1929: C.W., XIII, § 54): "Gli dei sono diventati malattie; Zeus non governa più l'Olimpo ma piuttosto il plesso solare, e produce strani esemplari per lo studio medico".

Il legame tra Dei e malattie ha un'importanza duplice: da una parte, conferisce a qualunque sintomo dignità di significato archetipico e di rispecchiamento divino, e dall'altra suggerisce di indagare il mito e le sue figure alla ricerca di configurazioni patologiche. Nella patologia che si esprime in figure mitiche Hillman (v., *On the necessity...*, 1974) ravvisa l'*infirmas* dell'archetipo, intendendo con ciò sia l'*infermità* essenziale di tutte le forme archetipiche - in quanto non perfette, non trascendenti, non idealizzate - sia il fatto che forniscono perciò 'le cure' necessarie alla condizione umana; esse sono gli sfondi comprensivi entro i quali le nostre sofferenze personali possono trovare aiuto e assistenza.

Il duplice legame - la patologia è mitologizzata e la mitologia patologizzata - era già adombrato nella presentazione freudiana del mito di Edipo come chiave della patologia della nevrosi, e perfino della civiltà nel suo insieme. Prima di Freud, questo legame tra *mythos* e *pathos* è rintracciabile nella *Geburt der Tragödie* di

Nietzsche e nel lavoro del grande mitologo classicista tedesco W. H. Roscher, il cui *Ephialtes* (1900), una monografia su Pan e l'Incubo, aveva come sottotitolo *Uno studio mitopatologico* (v. Hillman, 1964).

I rapporti tra miti e psicopatologia sono stati esaminati in una serie di studi: Lopez-Pedraza si è occupato di Ermete (v. Lopez-Pedraza, 1977); Berry di Demetra/Persefone e di Eco (v. Berry, 1975 e 1979); Micklem di Medusa (v. Micklem, 1979); Hillman di Saturno (v. Hillman, *On senex...*, 1970 e *The 'negative'...*, 1975), di Atena e Ananke (v. Hillman, *On the necessity...*, 1974), di Eros e di Dioniso (v. Hillman, *Myth of...*, 1972), di Pan (v. Hillman, *Essay on...*, 1972) e del *puer aeternus* (v. Hillman, *Senex et puer*, 1967), cioè della figura divinamente giovanile delle varie mitologie; M. Stein di Efesto e di Era (v. Stein, 1973 e 1977) In ognuna di queste ricerche il mito viene esaminato nelle sue implicazioni patologiche. L'ermeneutica comincia con i miti e le figure mitiche (non con un caso clinico) leggendoli 'verso il basso' per raggiungere una comprensione psicologica delle fantasie attive nel comportamento.

La psicologia archetipica, pertanto, segue il metodo epistrotico di Corbin; si rivolge cioè al principio superiore per trovare il luogo del principio inferiore (e quindi comprenderlo), ossia alle immagini prima che ai loro esempi. 'L'immaginazione diventa un metodo' per indagare e comprendere la psicopatologia. Questo metodo ermeneutico, inoltre, è essenzialmente neoplatonico; è il modo preferito per decifrare le configurazioni grottesche e patologizzate della psicologia rinascimentale. Come dice Wind (v., 1967, p. 238; tr. it., p. 292): "mentre il luogo comune può essere compreso come una riduzione dell'eccezionale, l'eccezionale non può, invece, essere compreso dilatando il luogo comune. Sia logicamente sia causalmente, l'elemento decisivo è l'eccezionale, perché esso introduce [...] la categoria più ampia".

Proprio perché presenta l'eccezionale, la dimensione inconsueta e 'più-che-umana', il mito offre uno sfondo alle sofferenze delle anime in *extremis*, ossia a ciò che la medicina ottocentesca ha chiamato 'psicopatologia'. La reciproca implicazione di patologia e mitologia comporta inoltre che nella vita umana il patologico è sempre operante, dato che la vita mette in scena fantasie mitiche. Inoltre, la psicologia archetipica sostiene che gli Dei penetrano attraverso le ferite nella vita umana (piuttosto che attraverso particolari eventi sacrali o mistici); la patologia è la testimonianza più palpabile dei poteri al di là del controllo dell'io nonché dell'insufficienza della prospettiva egoica.

L'incessantemente ricorrente "patologizzazione", come Hillman l'ha chiamata, consiste nella "capacità autonoma che ha la psiche di creare malattie, stati morbosi, disordini, anomalie e sofferenze in ogni aspetto del suo comportamento, e di sperimentare e immaginare la vita attraverso questa prospettiva deformata e tormentata" (v. Hillman, *Re-visioning...*, 1975, p. 57). Non c'è una cura; c'è invece una 'ri-valutazione'.

Che la patologizzazione sia anche una "prospettiva deformata" spiega il suo ruolo nell'immaginazione, che, secondo O. Bachelard - un'altra fonte della tradizione archetipica - deve procedere 'deformando' le immagini offerte dalla percezione ("Or, elle est plutôt la faculté de 'deformer' les images fournies par la perception, elle

est surtout la faculté de nous libérer des images premières, de 'changer' les images" (v. Bachelard, 1943, p. 7). È l'occhio patologizzato - simile all'occhio dell'artista e dello psicanalista - a impedire che i fenomeni dell'anima vengano compresi ingenuamente come puramente naturali. Sulle orme di Jung (e delle sue ricerche sull'alchimia), il lavoro psicologico è visto come opus contra naturam. Hillman fa progredire quest'idea attaccando la 'fallacia naturalistica' che domina la maggior parte delle psicologie normative (v. Hillman, *Revisioning...*, 1975, pp. 84-86).

Dal collegamento mythos/pathos può prendere le mosse anche l'esplorazione di forme specifiche di patologia, investigate nelle loro potenzialità mitiche, quasi per scoprire il Dio della malattia. Alcuni esempi: Lockart (v., 1977: il cancro); Moore (v., 1979: l'asma); Leveranz (v., 1979: l'epilessia); Hawkins (v., 1979: l'emicrania); Severson (v., 1979: le malattie della pelle); Kugelman (v., 1980: il glaucoma).

Sulla patologia revisionata nell'ottica di un'ermeneutica archetipica esistono anche studi di carattere più generale: di R. Stein (v., 1974, p. 46) sui disordini psicosessuali, di Guggenbühl-Craig (v., 1971) sul problema del potere archetipico negli atteggiamenti medici; di Ziegler (v., 1980) sulla fisiologia archetipica; di Sardello e altri (v., *The mythos...*, 1980) sulla medicina, la malattia e il corpo. Questi studiosi guardano al corpo, alla patologia e alla cura con occhio completamente sgombro dal positivismo delle tradizioni cliniche ed empiriche, ereditate dalla medicina materialistica e scientifica dell'Ottocento, con la sua concezione della salute, della malattia, nonché del ruolo 'eroico' e del potere del medico.

Sotto un certo aspetto, la posizione della psicologia archetipica si avvicina all'antipsichiatria di Th. Szasz e R. D. Laing. Entrambi considerano esistenzialmente umane, e quindi fundamentalmente normali, le condizioni 'anormali', che acquisiscono un significato psichiatrico quando le si guardi con occhio psichiatrico.

La psicologia archetipica, però, va oltre l'antipsichiatria sotto tre aspetti fondamentali. In primo luogo, prende in esame la stessa prospettiva 'normalizzante' per dimostrarne le 'anormalità' e propensioni patologizzanti. In secondo luogo, diversamente da Szasz e Laing, la psicologia archetipica sostiene la reale esistenza della psicopatologia come tale, in quanto inerente alla realtà psichica; non nega la psicopatologia, né tenta di rintracciarne la causa determinante al di fuori dell'anima: nella politica, nel potere professionale o nelle convenzioni sociali. In terzo luogo, la patologia, essendo inerente alla psiche, è necessaria. La necessità della patologizzazione deriva da un lato dagli Dei, che sono modelli di psicopatologia, e dall'altro dall'anima, che diventa consapevole del proprio destino - la morte - soprattutto mediante l'infaticabile e straordinariamente inventiva capacità di patologizzazione propria della psiche.

Se per Freud il paradigma della psicopatologia era dato dall'isteria (e dalla paranoia) e per Jung dalla schizofrenia, finora la psicologia archetipica si è soffermata soprattutto sulla depressione (v. Hillman, *Myth of...*, 1972, *The fiction...*, 1975, *The 'negative' senex...*, 1975, *Revisioning...*, 1975; v. Ouggenbühl-Craig, 1979) e sui disturbi dell'umore (v. Sardello e altri, 1980). La depressione ha anche offerto il destro per una

Kulturkritik, per un attacco alle convenzioni mediche e sociali in quanto non consentono la profondità verticale della depressione.

Una società che non consenta ai suoi membri di 'scendere verso il basso' non può infatti trovare la profondità ed è costretta a rimanere perennemente inflazionata in un disturbo maniacale dell'umore mascherato da 'crescita'. Hillman collega l'orrore occidentale per la depressione con la tradizione dell'io eroico e della salvezza cristiana nell'ascensione verso l'alto. "La depressione è ancora il Grande Nemico [...]. Eppure, attraverso la depressione noi entriamo nel profondo e nel profondo troviamo l'anima. La depressione è essenziale al senso tragico della vita. Essa inumidisce l'anima arida e asciuga quella troppo umida. Dà rifugio, confini, centro, gravità, peso, e un senso di umile impotenza. Fa ricordare la morte. La vera rivoluzione (a favore dell'anima) comincia nell'individuo che sa essere fedele alla propria depressione" (v. Hillman, *Re-visioning...*, 1975, p. 98).

10. La pratica della terapia

La psicologia archetipica mantiene i metodi fondamentali dell'analisi classica derivanti da Freud e da Jung: sedute regolari e individuali e 'faccia a faccia' nello studio del terapeuta, con pagamento di un onorario. (Di solito si evitano i gruppi, le coppie e i bambini, e si dà scarsa importanza alle categorie diagnostiche e ai test psicologici). Questi metodi però non sono rigidi, e i punti summenzionati possono essere modificati o tralasciati, in parte o anche tutti. Hillman ha definito l'analisi classica "un trattamento fatto da una persona a un'altra, dietro pagamento di un compenso e in un'atmosfera di simpatia e di confidenza, trattamento che può essere concepito come educativo (in vari sensi) o terapeutico (in vari sensi); che procede soprattutto attraverso l'esplorazione e l'interpretazione congiunte del comportamento abituale e delle classi di eventi mentali che sono stati tradizionalmente chiamati fantasie, sentimenti, ricordi, sogni e idee; in cui l'esplorazione segue un coerente apparato di metodi, concetti e convinzioni derivanti essenzialmente da Freud e da Jung; in cui l'attenzione è abitualmente concentrata sugli aspetti insoliti e carichi emotivamente, e il cui scopo è il miglioramento (soggettivamente e/o oggettivamente determinato) dell'analizzando e la fine della cura" (v. Hillman, *Failure and...*, 1972; tr. it., pp. 215-216).

Circa le differenze rispetto all'analisi classica bisogna ricorrere a varie pubblicazioni, non essendovene alcuna che esponga esaurientemente la teoria e la pratica della terapia archetipica (v. soprattutto: Guggenbühl-Craig, 1971; Hillman e Berry, 1977; Hillman, 1964, *Re-visioning...*, 1975, *Failure and...*, 1972, *An inquiry...*, 1977, *On the necessity...*, 1974). La differenza principale consiste non tanto nella forma di terapia quanto nel suo punto focale. La psicologia archetipica concepisce la terapia, e la psicopatologia, come la 'messa in scena' della fantasia. Anziché prescrivere e impiegare la terapia per la patologia, sottopone ad autoesame la fantasia

della terapia; in tal modo la terapia evita di perpetuare il circolo vizioso per il quale la patologia 'letterale' da un lato richiede una terapia 'letterale' e dall'altro è da questa richiesta. La psicologia archetipica cerca di rinviare la terapia alla nozione ch'essa ha di se stessa (v. Giegerich, 1977).

In *The fiction of case history* (1975), Hillman esamina il modello di caso clinico impiegato da Freud, e da tutti gli analisti dopo di lui, in chiave di stile narrativo. I problemi raccontati dai pazienti si trasformano subito, allora, nell'argomento di una riflessione immaginativa, letteraria, della quale quello clinico è soltanto un genere tra gli altri. I generi (o categorie dell'immaginazione letteraria) - epico, poliziesco, comico, social-realistic, picaresco - diventano importanti per comprendere l'organizzazione dei racconti narrati nella terapia. Poiché "il modo in cui raccontiamo la nostra storia è il modo con cui formiamo la nostra terapia" (v. Berry, 1974, p. 69), l'intero svolgimento del lavoro terapeutico va ripensato nei termini della 'base poetica della mente'. Il vero lavoro della terapia consiste nel diventare consci della storia in cui il paziente ha una parte da recitare, e nel riscrivere o nel far riscrivere, in collaborazione, la storia, rinarrandola in uno stile più profondo e più autentico. In questa versione rinarrata nella quale l'arte immaginativa diventa il modello, i fallimenti e le sofferenze personali del paziente sono essenziali per la storia come lo sono per l'arte.

L'explication du texte (cui si può paragonare l'esame delle immagini e dei particolari narrativi quale ha luogo nella terapia) deriva in parte dalla personal construct theory di G. Kelly. L'esperienza non è mai né grezza né elementare; è sempre costruita con immagini che si rivelano nei racconti del paziente. E circa il modo in cui un problema è costruito - e può essere trasformato (ricostruito) - la fantasia in cui è inserito ci dice più di qualsiasi tentativo di analizzare il problema in sé e per sé.

In un lavoro presentato da Berry e Hillman al Primo seminario internazionale di psicologia archetipica (gennaio 1977) si legge: "La nostra potrebbe essere definita una 'terapia centrata sull'immagine'. Il sogno, in quanto immagine o fascio di immagini, acquista quindi un valore paradigmatico, quasi stessimo situando l'intero procedimento psicoterapeutico nel contesto di un sogno" (v. Berry, 1974 e *Defense...*, 1978; v. Hillman, *Psychotherapy's...*, 1977, *Further notes...*, 1978, *The dream...*, 1979, *Image sense*, 1979, per il metodo e gli esempi del lavoro col sogno). Non già però che i sogni in quanto tali diventino il punto focale della terapia; si tratta piuttosto del fatto che tutti gli eventi sono considerati da un punto di vista 'onirico', come se fossero immagini, espressioni metaforiche. Il sogno non è nel paziente, e non è qualcosa che lui (o lei) fa o costruisce; è invece il paziente che è nel sogno e viene costruito dalla sua 'finzione'. Questi lavori sul sogno mostrano come si possa creare un'immagine, cioè come attraverso varie manipolazioni - inversioni grammaticali, eliminazione della punteggiatura, rienunciamento (restatement) ed eco, umorismo, amplificazione un evento possa essere visto come metafora. Lavorare con i sogni o con gli eventi della vita come se fossero sogni significa portare alla riflessione un discorso dichiarativo e irriflessivo, talché esso cessi

di credere di avere referenti oggettivi; il discorso diventa immagistico, autoreferente, descrittivo di una condizione psichica quale sua stessa espressione.

L'esame particolareggiato delle immagini quali si presentano immediatamente - nei sogni, nelle situazioni della vita o nell'immaginare fantasie da svegli - è stato argomento di vari lavori: di Watkins (v., 1976), di Garufi (v., *Reflections...*, 1977), di Humbert (v., 1971), di Berry (v. i contributi del 1979), di Hillman (v., *The pandaemonium...* e *An inquiry...*, 1977), nei quali si registra un ulteriore perfezionamento della tecnica junghiana dell'immaginazione attiva' (v. Hull, 1971).

A volte, l'immaginazione attiva diventa in terapia il metodo elettivo. Si ha la percezione diretta di una o più figure immaginarie. Queste figure, con le quali si conversa, si agisce, o che vengono descritte plasticamente, non sono concepite come semplici proiezioni interne o soltanto come parti della personalità (v. cap. 12). Si riconosce loro la dignità e il rispetto dovuti a esseri indipendenti. Vengono immaginate seriamente, sebbene non 'letteralmente'. Come i daimones neoplatonici, e gli angeli nel senso di Corbin, la loro realtà 'intermedia' non è nè fisica nè metafisica: esse sono "reali - come entità psichica - come siete reali voi" (v. Jung, C. W., XIV, È 733). Lo sviluppo dell'autentico potere immaginativo (la vera *imaginatio* di Paracelso, gli *himma* del cuore di Corbin) e la capacità di vivere la propria vita in compagnia di fantasmi, di demoni familiari, di antenati, di spiriti guida - la folla del *metaxy* - sono anch'essi obiettivi di una terapia archetipica.

Recentemente, la terapia centrata sull'immagine ha esteso il suo ambito sino ad abbracciare il mondo sensibile degli oggetti della percezione e delle forme abituali: edifici, sistemi burocratici, linguaggio convenzionale, trasporti, ambiente urbano, alimentazione, istruzione. Questo progetto avrebbe l'ambizione di recuperare l'anima mundi, scrutando le sembianze del mondo come una fisiognomia estetica. Un siffatto orientamento ravvisa nella terapia qualcosa che travalica di gran lunga i confini dell'incontro tra due persone in privato: il compito che la teoria si assume è quello di re-immaginare il mondo pubblico nel quale vive il paziente. Questo concetto di terapia cerca di attuare la base poetica della mente nel quotidiano, come una risposta estetica, immaginativa. Ogni persona reagisce all'ambiente, quando viene riconosciuto come 'immagistico', in modo più psicologico, con la conseguenza che il concetto di 'psicologico' si estende anche all'estetico, e la 'terapia' - prima limitata alle ore saltuarie nello studio del terapeuta - si trasforma in un'incessante attività immaginativa ovunque, in casa, per strada, a tavola o davanti alla televisione.

La liberazione della terapia dal confinamento nello studio del terapeuta richiede anzitutto una 'ri-valutazione' dell'identità psiche-sentimento, quell'identificazione dell'individuo con l'emozione che caratterizza tutte le scuole psicoterapeutiche sin dalle ricerche freudiane sull'isteria da conversione, sull'abreazione e sul *transfert*. In breve, la terapia si è interessata dei sentimenti personali, e le immagini del paziente sono state ridotte ai suoi sentimenti. Hillman, in due libri dedicati all'emozione e al sentimento (v. Hillman, 1960 e 1971), ha intrapreso una differenziata analisi fenomenologica dei concetti e delle teorie del sentimento e dell'emozione,

analisi vista come una strada per liberare la terapia, e la psicologia stessa, dall'inevitabile angustia del personalismo, conseguenza dell'identificazione dell'anima col sentimento. L'argomento principale contro il metodo terapeutico personale 'confessionale' (v. Hillman, *The thought. . .*, 1979) oltre al fatto di perpetuare la divisione cartesiana tra soggetto dotato di anima e oggetto senza vita - è che incoraggia l'illusione che il possesso dell'emozione appartenga al senso del proprium (v. Allport, 1955). Il senso di intensificata unicità che le emozioni suscitano e il loro effetto monocentrico sulla coscienza aiutano la tendenza monoteistica dell'io ad appropriarsi delle proprie esperienze e a identificarsi con esse. Le emozioni rafforzano la psicologia dell'io. Accade inoltre che, quando l'emozione e il sentimento vengono considerati primari, alle immagini si attribuisca di necessità un ruolo secondario: vengono cioè ritenute un derivato dei sentimenti e una loro descrizione.

La psicologia archetipica rovescia invece il rapporto tra sentimento e immagine: i sentimenti vengono considerati, come ha detto William Blake, "influssi divini", che accompagnano, qualificano e animano le immagini. Non sono personali, ma appartengono alla realtà immaginale, la realtà dell'immagine, e contribuiscono a far sentire l'immagine come un valore specifico. I sentimenti elaborano la sua complessità, e la complessità dei sentimenti corrisponde a quella dell'immagine che li contiene. La verità non è già che le immagini rappresentino i sentimenti, bensì che i sentimenti ineriscono alle immagini. Berry (v., 1974, p. 63) scrive: "Le immagini del sogno sono emozioni (o ne hanno la qualità) [...] le emozioni aderiscono o ineriscono all'immagine e possono non essere esplicite [...]. Nei sogni, come nella poesia o nella pittura, non possiamo accogliere nessuna immagine senza sperimentare una qualità emozionale offerta dall'immagine stessa". Ciò implica anche che ogni evento sperimentato come un'immagine è al tempo stesso animato, carico di emozione e situato nel regno del valore.

Il compito della terapia è di ricondurre i sentimenti personali (ansia, desiderio, confusione, noia, infelicità) alle immagini specifiche che li contengono. La terapia tenta di individuare il volto di ogni emozione: il corpo del desiderio, la faccia della paura, la situazione della disperazione; i sentimenti sono immaginati sin nei particolari. Quest'operazione è analoga a quella della teoria 'immagistica' della poesia (v. Hulme, 1924), per la quale qualsiasi emozione non differenziata da un'immagine specifica è rudimentale, banale e muta, e rimane da un lato sentimentalmente personale e dall'altro collettivamente non individualizzata.

11. Eros

Sin dal suo inizio, la psicologia del profondo ha ripetutamente riconosciuto il ruolo speciale dell'eros nel suo lavoro. In realtà, la psicanalisi è stata tanto un'eroto-analisi quanto un'analisi dell'anima, dato che il suo atteggiamento fondamentale nei confronti dell'anima è stato libidico. L'onnipresenza dell'eros nella terapia e

nella teoria di tutte le psicologie del profondo ha trovato il suo riconoscimento sotto il termine tecnico di transfert.

La psicologia archetipica ha trasposto il transfert su uno sfondo mitico, costituito dal mitologema di Eros e Psiche quale si trova nell'Asino d'oro di Apuleio (v. Hillman, *Myth of...*, 1972, pp. 63-65), e così facendo ha destoricizzato e depersonalizzato la fenomenologia dell'amore tanto nella terapia quanto in ogni intensa passione umana. La trasposizione mitica implica che tutti i fenomeni erotici di qualsivoglia natura cercano la coscienza psicologica, e che tutti i fenomeni psichici, inclusi i sintomi nevrotici e psicotici, cercano l'amplesso erotico perché la coppia mitologica rende necessario che le due cose compaiano insieme. Oltre agli ostacoli nel rapporto tra amore e anima quali si manifestano nel mito, R. Stein (v., 1974) ha elaborato un approccio archetipico all'incesto e agli intralci familiari che impediscono all'eros di diventare psicologico e alla psiche di diventare erotica.

L'idea di una coppia mitica come base del transfert fu elaborata per la prima volta da Jung nella sua teoria dell'anima/animus (C. W., XVI). La psicologia archetipica è andata avanti, descrivendo numerose coppie: Venere e Vulcano (v. Stein, 1973); Pan e le ninfe (v. Hillman, *Essay on...*, 1972); Apollo e Dafne, Ermes e Apollo (v. Lopez-Pedraza, 1977); Zeus ed Era (v. Stein, 1977); Eco e Narciso (v. Berry, *Echo's...*, 1979); Demetra e Persefone (v. Berry, 1975); Madre e Figlio (v. Hillman, *The great...*, 1973). Guggenbühl-Craig ha descritto le fantasie archetipiche che operano nel rapporto paziente-terapeuta (v. Guggenbühl-Craig, 1971) e nella 'diade' matrimoniale (v. Guggenbühl-Craig, 1977). Queste coppie offrono l'opportunità di esaminare diverse forme di rapporti erotici, la loro retorica e le loro speranze, i particolari stili di sofferenza, e le interazioni e interdipendenze tipiche di ogni coppia. Queste coppie sono anche immaginate come operanti a livello intrapsichico, come modelli di relazioni tra i complessi interni ai singoli.

Poiché l'amore dell'anima è anche l'amore dell'immagine, la psicologia archetipica ritiene che il transfert, incluse le sue dimostrazioni più crudamente sessualizzate, sia un fenomeno dell'immaginazione. Mai come nel caso del transfert l'impersonalità del mito colpisce una vita umana in modo più personale. Il transfert acquista così valore di paradigma per il lavoro con l'impersonale e l'immaginale attraverso le relazioni della sfera personale e letterale. Così inteso, il transfert è nientemeno che l'eros necessario al risveglio della realtà psichica, risveglio che impone al paziente e al terapeuta ruoli archetipici, uno dei quali, e non certo il più trascurabile, è quello del 'paziente psicologico', ossia di una persona che soffre o 'patisce' l'azione della psiche. Per questa ragione di indole erotica, e non già medica, la psicologia archetipica conserva il termine 'paziente' anziché cliente, analizzando, allievo, ecc. I conflitti erotici sussistenti in ogni rapporto sono anche conflitti psicologici con le immagini; e non appena in una terapia archetipica emergono conflitti siffatti, sopravviene una trasformazione dell'amore: da uno stato in cui si rimuovono le immagini e/o si è da esse ossessionati, si passa gradualmente all'amore per le immagini, al riconoscimento che l'amore stesso è radicato

nelle immagini, nella loro incessante epifania creativa, e nel loro amore per quella particolare anima umana in cui si manifestano.

12. Teoria della personalità

Nella psicologia archetipica, la teoria della personalità presenta differenze fondamentali rispetto a quella dei principali movimenti della psicologia occidentale. Se la psicopatologia (v. cap. 9) appartiene all'anima e non deve essere combattuta da un io forte, e se la terapia (v. cap. 10) consiste nel sostenere le forze contrarie all'io - le figure personificate estranee all'io - è allora evidente che sia l'una che l'altra presuppongono una teoria della personalità non centrata sull'io.

Il primo assioma di questa teoria si basa sugli ultimi sviluppi della teoria junghiana dei complessi (1946), secondo la quale ogni personalità è essenzialmente multipla (v. Jung, C. W., VIII, §§ 388 ss.). La personalità multipla è l'umanità nella sua condizione naturale. In altre culture queste personalità multiple hanno nomi, collocazioni, energie, funzioni, voci, forme animali e perfino formulazioni teoretiche come specie diverse di anima. Nella nostra cultura la molteplicità della personalità è considerata o come un'aberrazione psichiatrica o, nel caso migliore, come frutto di introiezioni non integrate o personalità parziali. La paura psichiatrica della personalità multipla rivela l'identificazione della personalità con una funzione parziale, l'io', che, a sua volta, è la 'messa in scena' psicologica di una tradizione monoteistica bimillenaria, che innalza l'unità sopra la molteplicità.

Per la psicologia archetipica, la coscienza viene data insieme con le varie personalità 'parziali'. Anziché immaginarle come frammenti scissi dell'io', conviene piuttosto riferirle ai modelli differenziati delle psicologie precedenti, dove ai complessi sarebbe stato dato il nome di anime, daimones, genî e altre figure mitico-immaginali.

L'inerenza - postulata a priori - della coscienza a queste figure o personificazioni è dimostrata dai loro interventi nel controllo dell'io, interventi da cui risultano la psicopatologia della vita quotidiana (Freud), i disturbi dell'attenzione negli esperimenti associativi (Jung), la caparbia e intenzionalità delle figure oniriche, gli umori ossessivi e i pensieri coatti che possono insinuarsi durante ogni *abaissement du niveau mental* (Janet). Mentre quasi tutte le psicologie tentano di mettere al bando queste personalità considerandole 'disgregatrici', la psicologia archetipica vuole portare le figure non egoiche a una maggiore consapevolezza, e considera questa tensione con la sfera non egoica, che relativizza la sicurezza dell'io e l'unicità della sua prospettiva, come uno dei più importanti compiti del 'fare anima' (v. cap. 5).

In questo modo la personalità non viene concepita anzitutto in termini di fasi di vita e di sviluppo, di tipologie di caratteri e di funzioni, di orientamento psicoenergetico verso determinate mete (sociali, individuali, ecc.), o

di facoltà (volontà, affetto, ragione) e del loro equilibrio; viene invece concepita immaginativamente come un dramma vivo e fitto di personaggi al quale il soggetto, l' 'io', prende bensì parte, ma del quale non è né l'unico autore, né il regista, né il protagonista; può talora accadere che non sia neppure in scena.

La personalità 'sana' o 'matura' o 'ideale' dovrà dunque prendere atto della sua situazione ambigua, teatralmente mascherata. L'ironia, l'umorismo e la compassione saranno i suoi contrassegni, poiché queste caratteristiche rivelano una consapevolezza della molteplicità - di significati, di destini e di intenzioni - che un determinato soggetto incarna in un determinato momento. La personalità sana, quindi, non è immaginata tanto sulla base di un modello di uomo naturale, primitivo o arcaico (con la sua nostalgia), o di uomo politico-sociale (con la sua missione), o di uomo razionale-borghese (col suo moralismo), ma piuttosto sul modello dell'uomo artistico, per il quale l'immaginare è uno stile di vita e le cui reazioni sono nel contempo riflessive, animali, immediate. Inutile dire che questo modello non va inteso letteralmente né considerato esclusivo. Esso serve a sottolineare certi valori della personalità ai quali la psicologia archetipica dà importanza: la finezza, la complessità e la profondità impersonale, la fluidità animale, vitale, che non tiene conto dei concetti di scelta e decisione, la moralità come dedizione alla plasmazione dell'anima (il 'fare anima', v. cap. 5), la sensibilità alle continuità tradizionali, l'importanza della patologizzazione e del vivere 'al limite', la sensibilità estetica.

Psicologia della forma

Enciclopedia del Novecento (1980)

di Wolfgang Metzger

Sommario: 1. Introduzione. 2. La situazione di partenza. 3. Il significato dell'elementarismo (atomismo) e del connessionismo in psicologia. 4. Qualità gestaltiche e forma. 5. Indirizzi della psicologia della forma. a) Teoria della produzione (Graz). b) Psicologia della totalità (Lipsia). c) Teoria della forma (Berlino). 6. Osservazioni incidentali sull'importanza relativa dei fattori soggettivi. 7. Il destino del principio di conduzione. 8. I fondamenti dell'ordine degli eventi. 9. Teoria della forma. 10. Applicazioni. 11. Mondo fisico e mondo eidetico. 12. Forme fisiche.

1. Introduzione

Per la psicologia nel suo insieme, oltre che per la psicologia della forma, il sec. XX comincia alquanto prima del suo inizio 'ufficiale', e precisamente nel 1890, anno in cui Chr. von Ehrenfels pubblicò il suo saggio sulle 'qualità gestaltiche'. Negli anni novanta E. L. Thorndike conduce le sue prime ricerche estensive sull'apprendimento 'per prova ed errore', dalle quali doveva derivare la teoria americana odierna dell'apprendimento, cioè la teoria del condizionamento operante o strumentale. Gli esperimenti di I. P. Pavlov sul riflesso condizionato o sulla formazione dei segnali - che, nella loro sfera, hanno una portata analoga - hanno inizio solo con la svolta del secolo o poco dopo.

Tutti e tre i nuovi orientamenti esordiscono con la pretesa 'laica' di ricostruire dalle fondamenta, ex novo, l'edificio della psicologia. Ad essi se ne aggiunge a partire dal 1895 un quarto, che ha un punto di partenza affatto diverso ma la medesima pretesa, quella cioè di dare nuove basi alla teoria dell'uomo: la psicanalisi di Sigmund Freud.

2. La situazione di partenza

Alla fine dell'Ottocento, la psicologia scientifica presenta due caratteristiche, che suscitano per reazione la svolta verso i summenzionati nuovi orientamenti: 1) a onta di numerose ricerche sperimentali condotte su reazioni semplici, la psicologia resta una teoria della coscienza; 2) essa è sostanzialmente atomistica e connessionistica.

Gli autori russi e americani più recenti sono guidati dal proposito di fornire alla psicologia 'un fondamento più sicuro', dato che i fenomeni della coscienza, in quanto puramente soggettivi, non consentono né una simultanea osservazione intersoggettiva né una registrazione immediata: non soddisfano cioè quelle esigenze di rigore che nelle scienze più vecchie erano date per scontate. Questi autori tentano quindi di emulare il rigore delle scienze naturali: i behavioristi americani, più radicali, ammettono esclusivamente dati oggettivi e, almeno nell'intenzione, rinunciano alla coscienza in quanto oggetto di ricerca scientifica; mentre gli autori russi, più moderati, accanto ai più impellenti problemi del comportamento, lasciano sopravvivere i problemi della coscienza sotto l'etichetta di 'attività nervosa superiore'.

Per altre ragioni, Freud considera una psicologia che si limiti all'indagine dei fenomeni della coscienza un'impresa vana. Infatti, ciò che veramente importa per la vita psichica dell'uomo, ciò che determina il suo comportamento è almeno altrettanto spesso celato che rivelato dalla coscienza.

Dalla riflessologia e dal behaviorismo l'impostazione atomistico-connessionistica viene mantenuta senz'essere sottoposta a discussione. L'associazione tra rappresentazioni viene sostituita dalla connessione stimolo-reazione. E sebbene la psicanalisi introduca, per spiegare il nesso tra disturbi patologici e motivazioni

recondite, un'impostazione teorica essenzialmente nuova, nella teoria del comportamento sociale e della sua formazione l'impostazione atomistica rimane immutata.

3. Il significato dell'elementarismo (atomismo) e del connessionismo in psicologia

Il principio del connessionismo è una conseguenza immediata dell'impostazione elementaristica o atomistica e dev'essere quindi trattato insieme con questa. I due principi, connessionistico e atomistico, suonano come segue: 1) gli 'elementi' costituiscono l'effettiva realtà psichica; 2) tutte le configurazioni, o formazioni, più vaste sono aggregati o 'somme' di stati elementari.

È questa 'l'ipotesi di addizionalità', che consiste a sua volta in due tesi, delle quali l'una si riferisce agli elementi, e l'altra agli aggregati: a) gli 'elementi' - non modificabili - sono contenuti negli aggregati; sono 'reciprocamente ciechi' e non esercitano alcun influsso gli uni sugli altri nè su quanto è presente, o accade, accanto a loro. Essi non presentano alcuna caratteristica che non presentino parimenti al di fuori dell'aggregato o in un altro punto dell'aggregato o all'interno di un altro aggregato; b) gli 'aggregati' non presentano caratteristiche o modalità di comportamento diverse da quelle delle proprie parti costitutive o elementi. (Nella teoria della coscienza le 'qualità miste' sono interpretate come 'apparenza', come effetto di una carenza di attenzione).

Il principio del connessionismo si riferisce al sorgere di configurazioni più complesse. Esso dice: gli stati psichici complessi nascono senza eccezione da una connessione posteriore (associazione, combinazione, coordinazione, integrazione, sintesi, composizione, contatto).

Dall'impostazione atomistico-connessionistica viene tratta la seguente conseguenza metodica: "il primo compito della psicologia consiste nello 'scomporre i più ingarbugliati fenomeni mentali in fenomeni più semplici, e questi ultimi in fenomeni ancora più semplici", al fine di raggiungere, per questa via, "gli elementi psichici qualitativi ultimi, gli atomi psichici" (Münsterberg, 1900). Nella psicologia in quanto 'teoria della coscienza' l'elemento ultimo è la 'sensazione semplice', il 'qualcosa' più piccolo e più semplice, non ulteriormente suddivisibile, analizzabile e differenziabile, cioè, in termini spazio-temporali, il punto (o il segno locale) - per esempio nel caso della vista e dell'udito, la qualità sensoriale prodotta da un'unica frequenza, da un'oscillazione sinusoidale pura - e l'attimo. Nel passaggio alla psicologia come teoria del comportamento, sono considerati come elementi, in luogo delle sensazioni, i riflessi semplici, ovvero i loro componenti, separabili gli uni dagli altri, afferenti ed efferenti, e si ritiene che dalla loro connessione, dal loro collegamento o concatenamento abbiano origine tutte le modalità di comportamento più complesse o 'superiori'. A rigore, nel behaviorismo americano si fa riferimento, anziché ai processi afferenti, alle loro

cause, agli stimoli o situazioni che determinano il comportamento, e, anziché ai processi efferenti, alle loro conseguenze, cioè alle modalità di comportamento o alle retroazioni sull'ambiente visibili esternamente.

È in verità chiaro che gli 'elementi' prediletti della vecchia psicologia associazionistica - le rappresentazioni o 'idee' - non erano elementi 'ultimi', bensì formazioni già alquanto complesse. Lo stesso può dirsi degli 'elementi' delle situazioni o delle reazioni, introdotti dalle nuove teorie del comportamento.

Una psicologia atomistica implica di necessità il principio di conduzione e l'ipotesi di costanza. Il principio di conduzione afferma che ogni ordine dei processi nel sistema nervoso viene garantito da un sistema di conduzioni stabili e isolate, e quindi da dispositivi anatomici vincolanti. A titolo di esempio menzioniamo la supposizione che la ripartizione dell'eccitamento della retina venga mantenuta dal fatto che da ogni cellula visiva della retina si diparte verso il campo visivo una fibra nervosa isolata, per mezzo della quale viene esclusa ogni deviazione o distorsione del processo di eccitamento.

La portata dell'ipotesi di costanza è considerevolmente maggiore. Essa afferma, tra l'altro, anche che la correlazione tra le caratteristiche dello stimolo (per es. la frequenza) e le 'qualità' della sensazione non può essere modificata da processi vicini e simultanei. Afferma la costanza del significato dei vissuti onirici, cioè la loro indipendenza dalle mutevoli condizioni di vita del sognatore, o anche l'identità delle basi istintuali, nel bambino come nell'adulto, di modalità di comportamento affini (mordere per errore il seno della madre è 'cannibalismo', e insinuarsi nel suo letto significa il desiderio del coito). Afferma inoltre che, a parità di condizioni, il mondo appare al bambino esattamente come all'adulto, e al nevrotico esattamente come al sano, e che le loro, spesso diversissime, reazioni al mondo dipendono unicamente da differenti 'interpretazioni' del percepito. Afferma infine che i processi nel preparato neuromuscolare sul tavolo da esperimento sono gli stessi che hanno luogo, nella medesima connessione neuromuscolare, al loro posto nell'organismo vivente.

4. Qualità gestaltiche e forma

Il primo, e decisivo, impulso a dubitare della validità delle impostazioni atomistiche ai fini di una teoria della vita psichica venne dalla scoperta, dovuta a Chr. von Ehrenfels (v., 1890), delle 'qualità gestaltiche'. Un esempio semplice è dato dall'accordo di terza, nel quale - oltre ai tre toni, che si possono considerare i suoi 'elementi' - intervengono tre qualità di intervallo (quinta, terza maggiore, terza minore) e, cosa ancor più sorprendente, la qualità di modo maggiore o minore. Ciò significa che il tutto è più della somma dei suoi elementi. I 'tutti' psicologici sono non-sommativi. Questo è il primo criterio ehrenfelsiano della forma.

L'esempio preferito da von Ehrenfels è quello della melodia, che rimane la stessa in ogni tonalità (cioè anche quando tutti i singoli toni o 'elementi' vengono sostituiti da altri), mentre la modificazione di uno solo o di pochi toni, rimanendo immutati i rimanenti, la rende irriconoscibile. La trasponibilità, o indipendenza dal

materiale, è il secondo criterio ehrenfelsiano della forma. La portata di questo criterio, sebbene sorprendentemente vasta (per es. la trasponibilità dal visibile all'udibile) non è tuttavia illimitata. I limiti della sfera della trasponibilità non sono stati ancora indagati.

Secondo von Ehrenfels, le 'qualità gestaltiche' sono "contenuti positivi della percezione, i quali sono associati nella coscienza a 'complessi' percettivi, che consistono a loro volta di elementi separabili gli uni dagli altri". Non è possibile mettere insieme queste qualità partendo da caratteristiche affini degli 'elementi', delle parti o delle posizioni rinvenibili nel 'tutto' o nel 'complesso'. Né esse sono identiche alla somma delle relazioni tra i loro elementi: il carattere 'maggiore' o 'minore' dell'accordo di terza può essere colto anche da chi non colga l'esatta struttura - i rapporti di intervallo - dell'accordo stesso.

I fenomeni forniti di qualità gestaltiche, chiamati da von Ehrenfels, in accordo con il generale uso linguistico tedesco, Gestalten, debbono essere, come abbiamo detto, complessi spazialmente, temporalmente o spaziotemporalmente sovrapuntuali. Dev'esser possibile distinguere in essi differenti 'posizioni', ma non necessariamente differenti 'parti'. Le differenti posizioni debbono possedere qualità elementari riconoscibili, che non debbono però essere necessariamente differenti (per es. dischi circolari di egual colore). È nondimeno indispensabile una certa differenza qualitativa tra un certo numero di posizioni del campo in questione e l'ambiente circostante (tra figura e sfondo, melodia e silenzio), cosicché il campo possa 'distaccarsi' e dar luogo a una forma.

Tra le più generali proprietà della forma figura la reciproca 'appartenenza' delle sue posizioni o parti e la 'non appartenenza' rispetto a posizioni o parti dell'ambiente circostante. La qualità di un campo di essere qualitativamente continuo, e quindi di essere un 'tutto' nel quale sia possibile distinguere soltanto 'posizioni' stabili, ovvero la qualità di essere discontinuo, di essere cioè un 'gruppo' con 'membri' o 'elementi', figurano anch'esse tra le proprietà gestaltiche più generali.

Per il resto si possono distinguere le seguenti tre classi di proprietà gestaltiche: 1) la distribuzione, la disposizione, la struttura geometrica, ritmica, melodica (per es.: angolocurva; moto costante-moto non costante); 2) la 'qualità' gestaltica 'di sentimento' in senso proprio (indissolubile dalle prime, ma non identica a queste), che è quella cui von Ehrenfels anzitutto pensava e per la quale W. Köhler ha perciò proposto il nome di 'qualità-Ehrenfels'. Ma specialmente nell'ambito anglosassone, in omaggio all'antica distinzione tra qualità primarie e secondarie, si parla a questo proposito di 'qualità terziarie' (esempio: aguzzo-rotondo, tranquillo-violento, ostile-amichevole, modo maggiore-modo minore). Anche lo 'stile' e l' 'abitudine' rientrano in questa categoria; 3) proprietà concrete condizionate dalla distribuzione dello stimolo e quindi non elementari (esempi: ruvido-liscio, trasparente-non trasparente, lucido-opaco, e in generale la 'tessitura').

Prima di discutere ulteriormente il concetto di forma, ci sia concesso un breve cenno sui diversi indirizzi della psicologia, che si sono occupati in modo approfondito delle scoperte di von Ehrenfels.

5. Indirizzi della psicologia della forma

Il principio ehrenfelsiano della 'non sommatività' del tutto psichico è diventato determinante per la 'teoria della produzione', per la 'psicologia della totalità' e per la 'teoria della forma'.

a) Teoria della produzione (Graz)

La cosiddetta 'teoria della produzione', o anche 'teoria dei contenuti fondati' o delle 'rappresentazioni di provenienza extrasensoriale', è rappresentata dalla 'scuola di Graz', cui appartennero tra gli altri A. Meinong, che tentò di rifondare la teoria della percezione come 'teoria dell'oggetto', St. Witasek e A. Höfler, e il cui più eminente sperimentatore è stato V. Benussi. Nella teoria della produzione - sulla base del principio di conduzione e dell'ipotesi di costanza - si ipotizza che il processo della percezione si svolga in due stadi. In un primo tempo (per es. nella percezione visiva) la molteplicità degli elementi (sensazioni) corrispondente alla distribuzione dello stimolo viene raffigurata come una vicinanza o successione non strutturate nel campo percettivo. In un secondo stadio il soggetto della percezione interviene in tale molteplicità. Egli pone 'relazioni di realtà' e 'produce' così le forme con le loro qualità gestaltiche. La teoria della produzione rimane ancora chiaramente sul terreno del connessionismo. L'impostazione della teoria della produzione è inoltre strutturalmente affine a due impostazioni che non appartengono alla teoria della forma: quella della 'teoria del giudizio' (H. von Helmholtz) e quella delle teorie dell'attenzione (G. E. Müller e B. Petermann). In entrambi gli indirizzi, al campo percettivo immediato osservabile vien fatto precedere un ipotetico - e non osservabile - campo della sensazione, per il quale deve valere l'ipotesi di una correlazione biunivoca tra stimolo e 'sensazione'. In Helmholtz viene inoltre ipotizzato, accanto a ogni processo percettivo, un 'atto di giudizio' (rapidissimo e non osservato) mediante il quale il 'campo della sensazione', rigorosamente conforme agli stimoli ma non osservabile, viene trasformato nel corrispondente campo percettivo, osservabile ma non più corrispondente punto per punto alla molteplicità degli stimoli. Quelle che, nella vita quotidiana, consideriamo percezioni immediate sono, a rigore, secondo Helmholtz, pensieri, per es. conclusioni di ragionamenti analogici. La teoria dei complessi di G. E. Müller e l'affine teoria dell'osservazione di B. Petermann ipotizzano, in luogo dei processi di giudizio o di interpretazione miranti a spiegare le formazioni unitarie o marginali della percezione, una diversa distribuzione dell' 'attenzione collettiva' o dell' 'osservazione', più vicine alle attività 'di produzione' ipotizzate dalla scuola di Graz.

b) Psicologia della totalità (Lipsia)

La 'scuola di Lipsia' ha il suo fondatore in F. Krueger e i suoi più eminenti fautori in F. Sander, H. Volkelt, O. Klemm, J. Rudert e A. Wellek. Questa scuola si denomina talora più volentieri come 'psicologia della totalità'. Oltre che a von Ehrenfels, il cui rinvio alle qualità gestaltiche 'di sentimento' li ha stimolati a ragguardevoli riflessioni sulle relazioni tra qualità gestaltiche e sentimenti 'veri e propri' (correlati all'Io fenomenico), questi autori si richiamano anche a W. James e H. Cornelius, dai quali hanno tratto incitamento per il loro più importante contributo alla teoria generale dei fatti psichici: il deciso distacco dal principio del connessionismo. Il distacco si è espresso nella tesi di fondo che lo sviluppo psichico spontaneo - a ogni livello - non consiste in una successione di connessioni di stati elementari originariamente isolati, bensì, all'opposto, nella dapprima grezza e sommaria, e quindi sempre più sottile articolazione e differenziazione di un materiale di partenza rappresentato da una condizione globale della coscienza; alla fine dello sviluppo della coscienza, si rintracciano soltanto gli 'elementi' riscontrati nel materiale di partenza. In questo quadro rientrano anche le numerose ricerche della scuola di Lipsia sulla 'genesi attuale', ricerche in cui, con adeguate procedure, si è creduto di stabilire una successione di 'stadi' - di 'preforme' dei diversi livelli di sviluppo - dei quali però nulla è possibile osservare nella percezione ingenua quotidiana. Nel consolidamento e nella larga applicazione di questo indirizzo, ha seguito le orme della scuola di Lipsia soprattutto H. Werner con la sua 'psicologia dello sviluppo'.

Il merito di questo sforzo non è sminuito dal fatto che il semplice 'rovesciamento' del principio di connessione si è rivelato impossibile e che i dati esigono il ricorso a tutti i tipi di sviluppo logicamente possibili. Si parte quindi dalla giustapposizione, nel bambino piccolo, di unità scarsamente strutturate e di dimensioni maneggevoli. Queste unità, 'per un verso', si strutturano sempre più finemente e, 'per un altro verso', vengono combinate in unità più complesse e più comprensive, che inizialmente non erano afferrabili (esempi: lo sviluppo della percezione di gruppi, dal semplice gruppo 'Io-Tu' alla famiglia sino alle maggiori e più complicate strutture sociali; oppure il passaggio dal vissuto di una 'successione di posizioni buone' alla reale percezione di una sinfonia nella sua composizione). È peraltro evidente che il riconoscimento che i processi di sviluppo si svolgono in direzioni parzialmente contrapposte non significa affatto un ritorno all'atomismo.

La scuola di Lipsia si è occupata a fondo delle tendenze alla 'buona forma', tendenze evidenti nelle 'preforme'. Su questa base ha elaborato una teoria 'platonica' della percezione, secondo la quale idonee distribuzioni degli stimoli suscitano certi tipi ideali (presenti nella 'struttura' durevole della personalità), i quali tanto più predominano nel percepito quanto minore è la nettezza e la determinatezza delle configurazioni di stimolo. Col tempo, la struttura durevole della personalità si insediò sempre più al centro della riflessione. In questo processo si riscontra un innegabile avvicinamento agli sforzi geisteswissenschaftliche, di ispirazione diltheyana, compiuti da E. Spranger per elaborare una teoria della personalità, che palesa la sua natura già nel

tentativo di limitare il significato del termine struttura - specialmente nel composto *Strukturpsychologie* - all'edificazione della 'personalità'.

c) Teoria della forma (Berlino)

La 'teoria della forma' della 'scuola di Berlino' (M. Wertheimer, W. Köhler, K. Koffka, E. M. von Hornbostel, K. Lewin nella prima generazione e, tra i seguaci, R. Arnheim, W. Metzger, E. Rausch, W. Witte; G. Katona, M. Henle, S. Asch, R. S. Crutchfield, A. Luchins, G. Kanizsa, F. Metelli, R. Canestrari e numerosi altri nella seconda e terza generazione) presenta le seguenti caratteristiche: a) supera definitivamente l'impostazione ancora quasi elementaristica di von Ehrenfels, secondo cui una forma consiste degli elementi $E_1 + E_2 + \dots + E_n$ + la qualità gestaltica: la forma dev'essere cioè caratterizzata da un elemento 'addizionale'; b) sostituisce il concetto di 'elemento' nella percezione con i concetti di luogo e di qualità elementare; c) estende la scoperta di von Ehrenfels mediante la dimostrazione che non soltanto ciascun tutto presenta proprietà non riscontrabili nelle sue parti costitutive isolate, ma anche che ciascun singolo contenuto acquista, perde o modifica certe proprietà quando diventa parte di un tutto, si distacca da un tutto, cambia il suo luogo in un tutto, passa da un tutto in un altro tutto, e infine anche quando 'altre' parti del tutto si modificano, vengono meno, si aggiungono o mutano il loro luogo. La parte di un tutto, dunque, non è un elemento immutabile nel senso della psicologia elementaristica. Le proprietà che un dato in quanto parte di un tutto acquista in virtù della sua collocazione sono la sua 'funzione strutturale' o il suo 'ruolo' nel tutto. La parte, dunque, non è un elemento immutabile nel senso della psicologia atomistica; d) infine, prende in considerazione anche la possibilità che, in luogo di elementi di sensazione corrispondenti a elementi di stimolo con l'aggiunta di una qualità gestaltica, come accade nell'ascolto di due toni (in questo caso si aggiunge la qualità di intervallo), compaia 'qualcosa di affatto diverso': per es. nel movimento stroboscopico, 'invece' del punto luminoso A nel luogo a e del punto luminoso B nel luogo b si vede un unico punto luminoso in movimento da a a b, o, come caso limite, non si vede alcun punto luminoso, ma soltanto il mero movimento a-b.

L'ipotesi di un duplice stadio del processo percettivo viene definitivamente abbandonata a favore dell'ipotesi secondo cui il campo percettivo si struttura di attimo in attimo in 'un' processo, nel quale le molteplicità degli stimoli (o piuttosto la loro successione) interagiscono con le condizioni dell'apparato percettivo, nel quale rientrano, oltre all'adattamento generale e locale, anche elementi come la direzione dell'osservazione e la distribuzione dell'attenzione, le esperienze, le attese, gli atteggiamenti, e anche e soprattutto i bisogni, gli interessi e le aspirazioni predominanti in quel dato momento, nonché certe attività del soggetto di sostegno alla percezione e le interazioni dirette all'interno del campo percettivo.

6. Osservazioni incidentali sull'importanza relativa dei fattori soggettivi

Quale significato e quale peso abbiano i diversi fattori soggettivi, è una mera questione empirica, che può essere decisa soltanto dalle risultanze sperimentali. Ma giacché alcuni di essi hanno acquisito l'immeritato onore di essere innalzati a concetti fondamentali della nuova psicologia, si rendono necessarie alcune osservazioni chiarificatrici. Si tratta, essenzialmente, dei quattro fattori seguenti: 1) l'esperienza e la familiarità individuale; 2) gli 'atti' soggettivi; 3) la situazione di bisogno; 4) le attività del soggetto relative alla percezione.

1. Che l'esperienza e la familiarità siano il fattore decisivo nel determinare la natura di ciò che viene attualmente percepito è cosa ovvia per tutti coloro che sono cresciuti nella tradizione empiristica - cioè per la schiacciante maggioranza degli psicologi, specialmente di formazione anglosassone -, tanto che quasi non abbisogna di verifica. Senonché, l'unico dato che milita chiaramente a favore di un'efficacia dell'esperienza nella percezione è rappresentato dall'assimilazione delle forme di certi contorni, tracciati a memoria, alla forma di un oggetto (di cui si mostra una raffigurazione imprecisa) quale risulta nota al soggetto dell'esperimento in virtù di passate esperienze. Al contrario, prescrivendo compiti ad hoc 'in condizioni neutre' non si riscontra che una modestissima efficacia di questo fattore. La cosa non desta meraviglia: le esperienze possono aver luogo soltanto in un universo percettivo già strutturato. Già da questo consegue che debbono esistere fattori preempirici di organizzazione del campo percettivo.

2. È alla luce della tradizione della psicologia tedesca, più idealistica e influenzata anche dalla 'psicologia degli atti' di Brentano, che bisogna intendere l'inclinazione a cercare il fondamento decisivo della struttura della percezione in attività del soggetto. Che atti soggettivi, accessibili all'autosservazione, come l'intento di comprendere e la distribuzione dell'attenzione, possano intervenire, con efficacia modificante, nella struttura già costituita della percezione è un fatto che non abbisogna di verifica. Ma per la problematica attuale ha un'importanza ancora maggiore la circostanza, anch'essa facilmente verificabile, che l'efficacia di tali atti è straordinariamente ristretta: è cioè limitata, a parte le strutture discontinue, a strutture assai semplici. È evidente come non si possa attribuire ad atti di questa sorta, quando siano inconsci - cioè, a dirla francamente, non accertabili -, un'efficacia maggiore di quella che hanno là dove costituiscono un fatto osservabile.

3. Che la 'situazione di bisogno', inclusi gli interessi, le aspirazioni predominanti e l'appartenenza di gruppo possano influenzare fortemente le strutture percettive è cosa nota almeno dal 1912, quando Adler introdusse il concetto di 'appercezione tendenziosa' per esplicitare il fatto che il nevrotico non soltanto 'interpreta' ma anche 'percepisce' in modo diverso dall'individuo normale il suo ambiente e i processi che in esso si svolgono. Un esempio analizzato a fondo con criteri fenomenologici è addotto da K. Lewin nella sua prima pubblicazione (v. Lewin, 1917). Non si offra con ciò alcun pretesto per fare della social perception la base di una psicologia, soprattutto perché la pressione a conformarsi risulta vistosa soltanto sotto stimoli

estremamente labili; per il resto negli esperimenti non sono osservabili influssi sulla 'struttura della percezione', ma soltanto modeste modificazioni quantitative.

4. All'importanza delle attività del soggetto 'relative alla percezione' si è fatto appello quasi contemporaneamente da varie parti - Piaget, Weizsäcker, transazionalisti americani, autori sovietici: tutti legati all'ideologia dell'uomo come 'creatore del suo mondo' - secondo un modello risalente all'ultimo decennio dello scorso secolo: la teoria wundtiana della percezione figurale. Insieme con quella di Wundt, anche la teoria di Piaget, che - in quanto teoria del 'seguire il contorno' (tracing) - coincide strutturalmente con essa, è stata confutata già nel 1902 da O. Stratton e, per quanto riguarda il tatto, da K. Bürklen nel 1917.

Da un'analisi più precisa delle attività, di cui si occupano von Weizsäcker e i transazionalisti, risulta che in nessun caso esse partecipano direttamente alla costruzione dell'universo percettivo, bensì hanno esclusivamente la funzione di 'migliorare le condizioni di ricezione degli organi di senso'.

Dalla prospettiva degli autori russi, fondata sull'ideologia marxista del lavoro, è derivata una serie di meritorie ricerche, nelle quali la strutturazione primaria del percepito è però sempre presupposta come scontata e le attività controllate servono solo a un'ulteriore chiarificazione dei fenomeni percepiti; per es.: il passaggio da una percezione confusa a una percezione precisa della grandezza di una serie mediante l'attività del contare. L'argomento decisivo contro la teoria della percezione fondata sul 'lavoro' è il medesimo avanzato contro la teoria dell'esperienza: il 'lavoro' è possibile solo e soltanto in un universo percettivo già strutturato.

7. Il destino del principio di conduzione

Come abbiamo osservato sopra, l'ipotesi di un duplice stadio nel processo della percezione era la conseguenza diretta del principio di conduzione. Tutti i dubbi riguardanti il duplice stadio sono anche dubbi riguardanti la validità di questo principio. Considerazioni a questo proposito sono rintracciabili anche nella letteratura estranea alla teoria della forma, per es. in Driesch e von Weizsäcker. I loro tentativi di soluzioni rimangono però insoddisfacenti, dato che la loro immagine fisica del mondo, quando si trattava di spiegare perché un 'qualunque' evento si svolgesse 'in modo ordinato', non prevedeva possibilità diverse dalla costrizione esterna, e quindi, in questo caso, dalla conduzione isolata. Che in un siffatto sistema di conduzioni fisse siano nondimeno possibili anche decorsi variabili è cosa che Driesch tenta di rendere comprensibile con l'ipotesi di entità extrafisiche che, a ogni biforcazione delle conduzioni, operino a mo' di vigile urbano o di addetto agli scambi o del guardiano di una chiusa, entità che, reinterpretando un concetto aristotelico, chiama 'entelechie'. Ma con la postulazione di tali potenze mistiche il problema non è risolto, ma solo trasposto in termini metaforici.

Ancor più sorprendente è la proposta di soluzione di von Weizsäcker. Egli è convinto dell'indispensabilità del principio di conduzione per spiegare le funzioni dell'organismo indagate in modo obiettivo dalla fisiologia. All'evidente contraddizione tra questo principio e l'immediato vissuto umano egli cerca di sfuggire mediante uno dei divieti metodologici così cari alla teoria recente della ricerca psicologica: secondo il suo decreto, seriamente presentato, si deve rinunciare a teorie fisiologiche del vissuto immediato e bisogna contentarsi della sua chiarificazione fenomenologica dal punto di vista del soggetto percipiente.

Dinanzi alle risultanze sopra illustrate, riguardanti le qualità gestaltiche, le funzioni di parti, la strutturazione spontanea del campo e i fenomeni stroboscopici, il principio di conduzione non è più sostenibile. Tutti questi fenomeni impongono l'ipotesi che sulla base del 'mosaico' degli stimoli si formino 'strutture' di eccitamento in sé coerenti, le quali presuppongono un'interazione di eccitazioni parziali vicine. A ciò vanno ricondotti gli infiniti casi di 'reali' deviazioni, di reale variabilità delle relazioni tra posizioni periferiche e centrali (e tra conformazione dello stimolo e qualità sensoriali), le 'illusioni ottiche', il contrasto, l'assimilazione ecc.: tutti fenomeni che, a un'accurata verifica, si rivelano talmente universali che sembra naturale elaborare una teoria che non serva anzitutto allo scopo di eliminarli 'spiegandoli', ma che presupponga un apparato percettivo cosiffatto da consentire tali 'aberrazioni'.

Come abbiamo detto, ciò comporta la radicale rinuncia al principio di conduzione e in generale all'ipotesi di costanza. Con essi perde significato un altro concetto, che nella psicologia internazionale ha svolto sinora un ruolo immeritato: il concetto di cue, di segno o indizio che, nel supposto secondo stadio del processo percettivo, fornisce al soggetto le 'indicazioni' necessarie per la sua attività di produzione e di interpretazione. Dato che un tale secondo stadio, con la correlata attività del soggetto, non esiste, il concetto di cue o indizio dev'essere sostituito da quello di un 'fattore' che operi senza passare per il soggetto. Questo riconoscimento non ha però ancora incontrato larga diffusione, specialmente tra gli studiosi americani della percezione. Che cos'hanno da dire l'anatomia e la neurofisiologia circa una rete di conduzioni, che non presenta correlazioni punto per punto e presenta invece la possibilità di influsso reciproco tra processi vicini?

1. Nel sistema nervoso sono associate aree bianche che, secondo le nostre attuali conoscenze, sono costituite da tratti di conduzioni isolate, e aree grige senza isolamento e con fitto intreccio delle fibre, nelle quali sono pensabili processi che si influenzino reciprocamente.

2. Quando nel 1912 Wertheimer, per la comprensione dei fenomeni stroboscopici (cinematografici) postulava le 'funzioni trasversali', cercando di chiarirle con l'immagine provvisoria, da non prendere troppo alla lettera, dei 'corticircuiti fisiologici', non suscitò tra i fisiologi altro che perplessità. Oggi la lateral interaction, che è esattamente la stessa cosa della funzione trasversale, figura tra le conoscenze consolidate della neurofisiologia. E per la variabilità entro certi limiti, postulata da Köhler nel 1913, delle correlazioni tra posizioni nella retina e posizioni nel campo visivo, il necessario sostegno fisiologico è stato anche qui fornito

in seguito con il riconoscimento che la connessione tra superficie di stimolo e campo centrale non è assicurato da conduzioni singole parallele, bensì da una rete di fasci di conduzioni sia convergenti che divergenti, che hanno preso il nome di 'campo ricettivo'.

Che in quanto abbiamo detto non debba vedersi una peculiarità dell'apparato percettivo, bensì una caratteristica della funzione del sistema nervoso anche nei suoi apparati efferenti o motori, è tesi a sostegno della quale specialmente A. Bethe e M. H. Fischer hanno raccolto una massa di dati, riuniti sotto l'etichetta di 'plasticità del sistema nervoso'.

8. I fondamenti dell'ordine degli eventi

Dopo la rinuncia al principio di conduzione, cioè al principio secondo cui l'ordine è assicurato da apparati vincolanti estrinseci, rimane la questione decisiva: come è possibile, in tali condizioni, che gli eventi nel sistema percettivo si svolgano 'in modo ordinato'. I fautori del principio di conduzione riterrebbero la cosa senz'altro impossibile; secondo loro, in tali condizioni non potrebbero darsi che eventi caotici. Questa è appunto la ragione che li ha indotti a ricorrere alla scappatoia delle 'predeterminazioni' - da parte dell'esperienza - o agli interventi ordinatori inconsci del soggetto. Ma i fatti indicano un'altra direzione. Come sappiamo, la 'tendenza alla buona forma' o la 'tendenza alla pregnanza', che abbiamo già incontrato discutendo delle 'preforme', ha una portata di gran lunga maggiore.

Lungi dall'essere unicamente una sorgente produttrice di illusioni in condizioni di stimolo sfavorevoli e poco nette, la tendenza alla pregnanza si manifesta come fattore di correzione anche in configurazioni chiare e nette, per es. nel parallelogramma obliquo (nella nota illusione descritta da Sànder e Ipsen), anche se attualmente non tutte le illusioni ottico-tattili (dette sinora, infelicemente, illusioni ottico-geometriche) si lasciano ricondurre a essa direttamente e senza il ricorso a ipotesi addizionali.

Un altro importante campo di applicazione si è aperto con il tentativo di chiarire la questione, lasciata da von Ehrenfels senza risposta, del modo onde le formazioni percettive, da lui chiamate 'forme' (in quanto portatrici delle qualità gestaltiche) si distaccano dal campo circostante, si contrappongono le une alle altre e acquisiscono la propria unità interna. Riacciandosi a precedenti risultati di G. E. Müller, nei quali questi credeva però di aver trovato solo gli indizi-guida dell'attenzione dell'osservatore, Wertheimer poté mostrare che il distacco e la costituzione in unità, che danno luogo alle formazioni o eventi percettivi, obbediscono a certe regolarità, da lui denominate 'leggi della forma'. Egli distingue le leggi seguenti: la legge 'della vicinanza' (o della massima compattezza del tutto e insieme della massima contrapposizione rispetto alle formazioni vicine); la legge 'dell'eguaglianza o somiglianza', in breve dell'omogeneità, e insieme della maggior contrapposizione qualitativa rispetto alle formazioni vicine, legge che si concreta anzitutto nel fatto di

preferire (sebbene non esclusivamente) 'confini' che corrono lungo salti qualitativi; la legge 'della chiusura'; la legge 'della curva continua'; la legge del 'destino comune', cioè della massima costanza nel flusso del tempo; la legge dell'essere contenuto pienamente', secondo la quale le strutture percepite in cui l'intero' materiale è ordinato secondo un principio unitario sono preferite rispetto a quelle in cui il principio di ordinamento non comprende l'intero materiale. Si aggiungono inoltre leggi della simmetria, della semplicità, della regolarità, della unitarietà del principio ordinatore. Tutte queste leggi particolari possono essere intese come 'casi speciali' della summenzionata tendenza alla pregnanza, la quale si dimostra un fattore decisivo per l'organizzazione del campo visivo e, come l'attento lettore avrà capito sin dall'inizio, anche per l'organizzazione del campo tattile e di quello sonoro (con le sue due dimensioni dell'altezza e della frequenza). Tra le altre importanti funzioni della tendenza alla pregnanza menzioniamo: il completamento spontaneo di costellazioni o decorsi che si presentino incompleti, l'identità di percorso di oggetti che muovano l'uno incontro all'altro e infine la visione in profondità dell'occhio singolo come anche dei due occhi sottoposti a identico stimolo, che si verifica quando si guarda, per esempio, uno spettacolo cinematografico od oggetti assai lontani. Come si può vedere, la tendenza alla pregnanza non è affatto un 'fattore d'illusione'; essa dà invece un contributo diretto e decisivo alla percezione adeguata dell'ambiente.

Ci sia concessa un'osservazione incidentale sul valore esplicativo delle leggi della pregnanza. Si sente talvolta affermare che le leggi della forma 'non spiegano nulla', che sono unicamente 'descrizioni' di quanto accade nel campo percettivo. Questa critica presuppone un concetto angusto di legge, secondo il quale una legge ha valore esplicativo soltanto quando riconduce l'osservabile a qualcosa di non osservabile. Ma questo postulato non è soddisfatto neppure da tutte le leggi naturali. Accanto a leggi, per es. sulla connessione tra il calore e i moti molecolari, che soddisfano il postulato, ce ne sono altre, per es. la legge della leva, in cui si tratta unicamente di relazioni tra dati direttamente osservabili: la lunghezza del braccio della leva e il peso applicatovi sopra. Le cose stanno in modo analogo, per es., riguardo alla connessione tra l'essere vicini' e l'essere riuniti'. Come dimostra la possibilità che gli 'insiemi riuniti' hanno di esercitare un influsso, non si tratta affatto di due facce della stessa medaglia, ma di due stati, separabili l'uno dall'altro, dei quali l'uno si comporta come variabile indipendente e l'altro come variabile dipendente, e circa la cui connessione è possibile formulare proposizioni 'se-allora' nonché proposizioni (per così dire quantificatrici) 'tanto-quanto', le quali soddisfano a tutte le condizioni richieste alle leggi naturali e anzitutto a quella di render possibili predizioni. E infatti, se si è provvisti di una conoscenza sufficiente delle leggi della forma, si possono fare predizioni affidabilissime su quanto, in determinate condizioni, accadrà nel campo percettivo.

Naturalmente, le regolarità di pregnanza possono essere espresse soltanto in un linguaggio finalistico. Per esempio la strutturazione del campo (nel caso che l'osservatore non intervenga e, di norma, anche se tenta di intervenire) avviene in ogni circostanza 'in modo tale che' la massima pregnanza compare nell'ambito fissato

dalla data momentanea configurazione di stimoli; in certi casi caratteristici il percepito si presenta come 'ancora più regolare' di quanto ci si aspetterebbe, attesa la configurazione degli stimoli.

Abbiamo così acquisito la conoscenza che almeno in un sistema, il sistema percettivo dell'uomo, gli eventi si svolgono 'in modo ordinato' (sebbene tale ordine non sia assicurato esternamente contro possibili aberrazioni) e che l'ordine in questione è instaurato e mantenuto proprio dalle forze operanti 'tra' i processi svolgentisi simultaneamente. L'ordine può infine essere migliorato anche al di là di quanto ci si potrebbe aspettare, data la configurazione degli stimoli: ciò vuol dire che nell'accadere è attivo un orientamento verso 'condizioni ottime'.

9. Teoria della forma

È denominata 'teoria della forma' una psicologia che parta dalla supposizione che le verità, acquisite inizialmente riguardo alla percezione, abbiano una validità estensibile all'intero territorio della psicologia. Si ipotizza quindi che 'in generale', come conseguenza del più o meno stretto nesso dinamico tra tutte le posizioni di un tutto, ogni azione locale si trasmetta in linea di principio attraverso il tutto e che il tutto reagisca sempre sino a riorganizzarsi, anche completamente, a seconda della natura, del luogo e dell'estensione delle interferenze (quando non siano di entità assolutamente modesta). In una forma, l'evento locale è perciò, in linea di principio, sempre determinato anche da fattori extralocali, come d'altra parte contribuisce a determinare gli eventi nelle sue vicinanze. L'accadere tende così, 'in generale', a realizzare 'condizioni ottime' nel tutto interessato, anche se tali condizioni, naturalmente, non possono presentare in tutti i campi psichici - come nella vista - una regolarità 'geometrica'; esse sono comunque sempre contrassegnate da un'interna 'concordanza', nella quale tutti gli stati parziali distinguibili 'si richiamano l'un l'altro' così come 'sono richiamati' dal tutto. E devono essere così come sono, giacché altrimenti il tutto sarebbe un tutto 'discordante', 'disturbato', distorto e difettoso, o magari 'sovraccarico': sarebbe, in termini generali, un tutto in sé 'illogico', contraddittorio e dissonante.

La vita psichica costituisce nel suo complesso una gerarchia, fornita di vari livelli, di siffatti tutti - in parte contenuti l'uno nell'altro - i quali presentano a ogni livello loro proprie tendenze alla pregnanza. La rapidità con cui opera l'interazione reciproca dinamica e viene raggiunto lo stato finale ottimo varia straordinariamente a seconda dei casi. Nell'organizzazione del campo percettivo sulla base della distribuzione dello stimolo e dello stato del soggetto l'interazione reciproca raggiunge lo stato ottimo istantaneamente; si parla in questi casi di forme 'forti'. Ma ci sono anche processi che si svolgono assai lentamente. Gli eventi produttivi (indagati a fondo per la prima volta da M. Wertheimer) in gioco nella soluzione di problemi scientifici, tecnici, organizzativi e sociali o nel dispiegarsi di un'idea artistica possono durare giorni, mesi e anni. Anche in queste forme 'deboli' la sostanza non muta; anche qui la direzione dell'accadere è stabilita non da un sistema di

conduzione di prescrizioni, regole, istruzioni di lavoro, indicazioni operative, ma bensì - in seguito alla mera comparsa di un nuovo problema o di una nuova idea - viene determinata nelle sue fasi essenziali unicamente 'dai vettori', che spingono verso la meta, ancora ignota, della soluzione: gli stessi vettori che hanno innescato il processo e lo mantengono in vita. (Questa è la ragione per cui le soluzioni trovate per questa via, diversamente da quelle fissate in anticipo da prescrizioni e istruzioni, sono senz'altro trasponibili a problemi affini più o meno remoti).

Dove, nel sistema gerarchico globale della vita psichica, corrono i confini 'all'interno' dei quali hanno luogo energiche e subitanee interazioni, propagantisi dall'interno all'esterno (e viceversa), con un effetto più o meno intenso ma mai interamente evitabile, è cosa che, di nuovo, è determinata dalle leggi della forma. Ciò vale anche per i confini che separano l'io, così enorme differenziato, dal non meno differenziato 'ambiente', senza però che tale separazione impedisca le più durevoli ripercussioni degli eventi dell'ambiente sullo stato dell'io, e d'altra parte le ripercussioni dello stato dell'io sulla percezione dei fenomeni.

10. Applicazioni

È apparso conveniente indagare i principi della composizione dei tutti e le relazioni tra di loro e tra le loro parti anzitutto in configurazioni poco appariscenti (come un disegno a tratteggio o una successione semplice di toni), e solo in un secondo tempo tentare di applicare i risultati così conseguiti a configurazioni più complesse, per il cui ordinamento - come si può affermare con sicurezza - non è previsto nell'organismo alcun dispositivo vincolante.

L'applicazione ha già avuto luogo con successo riguardo al fenomeno dei sistemi di riferimento, alla costanza dell'oggetto, alla distinzione tra colori inerenti all'oggetto e colori inerenti all'illuminazione, e a parer mio soltanto per caso non si è ancora tentata l'applicazione riguardo alla coordinazione del campo visivo 'globale' con l'insieme degli altri campi sensoriali, per esempio quello della percezione della situazione, della pressione e del tatto.

Le tendenze riscontrate nella percezione si ritrovano 'rafforzate' nella 'memoria' (v. anche i contributi di Koffka e Sorge).

Nel caso della nascita di nuovi tutti, è per la teoria della forma di scarsa importanza in qual modo ciò si verifichi: se attraverso la fusione di tutti, prima isolati, di minore estensione, o attraverso la dissoluzione di un tutto più comprensivo o attraverso la trasformazione (ristrutturazione) di un tutto prima eterogeneo. Decisiva è soltanto la concordanza interna del nuovo tutto e la natura di tale concordanza. (Esistono due tipi di 'adattamento reciproco': 1) l'uno stato completa l'altro e viceversa; 2) l'uno stato raffigura l'altro, coincide in qualche modo con esso).

Nell'apprendimento sistematico, la connessione di elementi prima isolati svolge, com'è noto, un ruolo così rilevante da far dimenticare facilmente le altre possibilità. In quelle configurazioni parziali che, come significanti e come significati, il caso o la scelta raccolgono in un vocabolario, entrambe le dimensioni 'concrete', o più esattamente le loro relazioni, hanno, riguardo alla facilità o difficoltà con cui ha luogo la loro fusione e riguardo alla solidità o fragilità della loro connessione, un'importanza maggiore che non la frequenza della loro combinazione o tutti i bonbons con cui viene 'ricompensata' o 'rinforzata' la riproduzione corretta nel nesso in questione (v. Park, 1966). Mutatis mutandis, per la fusione di strutture più complesse il discorso è il medesimo. Esse vengono tanto più rapidamente apprese e tanto più a lungo mantenute quanto più chiaramente è in esse riconoscibile un principio unitario di composizione, e si percepisce nel contempo se i 'membri' che compaiono nelle differenti posizioni 'si adattino' oppure no (v. Katona, 1940). È sorprendente come di tutto ciò, sinora, si sia tenuto scarso conto nella letteratura teorica sull'apprendimento.

Ancor più cospicuo è il contributo, già ricordato, della teoria della forma alla questione del lavoro 'produttivo' - o, come oggi si usa dire, 'creativo' - di soluzione dei problemi, cioè alla 'scoperta' di nessi prima ignoti e all'invenzione di procedure nuove per il conseguimento di un dato scopo: il contributo insomma - in termini generalissimi - dato alla facoltà di cavarsela in situazioni sconosciute, alla capacità di mobilità e di riorganizzazione mentale. Ad onta di tutte le dichiarazioni in contrario, la teoria dell'apprendimento non ha da offrire, a questo proposito, altro che il 'caso', che in occasione di un dato comportamento fa comparire un risultato desiderato, e la presenza di spirito con cui il soggetto mette questo sorprendente avvenimento in relazione con il suo comportamento precedente. Secondo le accurate analisi (soprattutto di M. Wertheimer) può considerarsi come accertato che, con il compenetrarsi nella situazione, si sviluppano i vettori capaci di spingere intelligentemente verso il risultato, di modo che il numero e la natura dei tentativi di soluzione rimangono sempre al di sotto della 'soglia del caso'. La procedura che conduce infine allo scopo viene stabilita non già perché la sua connessione con lo scopo viene 'rinforzata' dal conseguimento dello scopo come lo sarebbe da un bonbon, ma perché per il ricercatore è ormai direttamente evidente 'che e perché', e 'in conseguenza di quali proprietà' proprio 'questo' comportamento conduce a 'questo' risultato. Anche qui, parlare di 'rinforzo' o di 'ricompensa' sarebbe dar prova di un formalismo che offuscherebbe anziché rischiarare ciò che veramente importa. In realtà non succede qui che un 'determinato' comportamento venga 'rinforzato'; succede invece che vengano afferrati i valori funzionali delle proprie azioni parziali (e degli strumenti usati). Su questa base è possibile, senza nuove 'prove', mettere in atto, in condizioni divergenti, 'divergenti' modalità di comportamento: donde la trasponibilità, spesso ammirata, delle soluzioni di problemi raggiunte per questa via.

Di fronte all'educazione 'liberatrice' oggi propugnata a gran voce, un'educazione cioè all'"autonomia mentale", bisogna sottolineare come l'impostazione gestaltistica, sopra delineata, di una teoria del pensiero produttivo sia

sinora l'unica a rendere possibile una tale educazione (e si tratta di un'impostazione già messa alla prova sul piano pratico), mentre la teoria dell'apprendimento, per la sua stessa natura, non può condurre ad altro che a nuove proposte circa il modo in cui si stabiliscono le connessioni mentali.

I geniali tentativi fatti da K. Lewin per rifondare ex novo la psicologia della volontà e la teoria delle motivazioni possono essere qui soltanto menzionati.

È cosa ovvia che anche una teoria gestaltistica della personalità non può essere sommativa. Se anche la personalità è costruita come le più modeste configurazioni riscontrabili nell'ambiente, allora neppure essa può essere una 'somma di abitudini' che possano essere inculcate e coltivate singolarmente.

Dato che, per il teorico della forma, il corpo e la mente debbono essere considerati come un tutto in sé coerente, le interazioni che vanno sotto il nome di 'psicosomatica' non costituiscono per lui nulla di sorprendente.

Quando concepisce i disturbi, i sogni e i lapsus dei nevrotici non come dovuti al caso ma neanche come conseguenze di difetti locali, bensì come 'sintomi' di alterazioni della personalità, Freud è interamente sul terreno dell'impostazione gestaltistica. Ma quando tenta poi di concepire la personalità come un complesso di pulsioni parziali organiche più o meno autonome e reciprocamente cieche, e avanza l'opinione che un comportamento ordinato possa essere prodotto forzatamente soltanto dalle prescrizioni dei genitori e del Super-Io, il suo pensiero si muove secondo un modello pregestaltistico.

Diversamente dalla concezione freudiana, due punti centrali della cosiddetta psicologia individuale di A. Adler possono passare immutati nell'impostazione gestaltistica.

1. La supposizione che ogni persona sia un tutto, contrassegnato da un determinato 'stile di vita', e che i comportamenti sorprendenti, come anche il contegno e i disturbi del nevrotico, siano comunque la 'manifestazione', occasionata dalle condizioni volta a volta prevalenti nell'ambiente, di questo stile di vita; e infine che tale manifestazione, a meno che non sia altrimenti nota, possa essere predetta dall'esperto.
2. L'esigenza di considerare anche il singolo uomo come parte di un 'tutto reale' più vasto, la comunità, e di intendere gli atteggiamenti nevrotici come il frutto di una 'posizione' - errata - assunta nell'infanzia in seguito a certe condizioni di vita e quindi mantenuta in una sorta di precoce e inadeguato irrigidimento di se stesso. Ora, se la comunità viene riconosciuta come una configurazione sovraindividuale psichicamente reale, allora anche a tali configurazioni devono essere attribuite 'tendenze alla gravidanza'. Come forma di gravidanza di una comunità sarebbe da intendere uno stato di pacifica e feconda cooperazione, mirante allo sviluppo di tutti e di ciascuno. Sarebbe quindi pensabile che le aspirazioni sociali del singolo, localizzato in (e non fuori di) un gruppo, non siano altra cosa che la manifestazione della tendenza alla gravidanza del gruppo che lo racchiude. Ciò farebbe comprendere come non sia più possibile educare ('socializzare') un giovane, al quale, per qualsiasi motivo e in qualsiasi modo, sia stata sottratta la sua appartenenza, e come d'altra parte non ci sia bisogno di

alcun genere di misure coercitive per indurre un bambino, che sia assolutamente certo della sua appartenenza, a comportarsi nel modo desiderato dal gruppo, giacché un tale comportamento 'si promuove da se stesso'. Dalle riflessioni gestaltistiche possono quindi derivare proposte per una educazione nella libertà, proposte che appaiono meglio fondate di quelle 'antiautoritarie', essendoci in esse posto per l'autodisciplina e per il rispetto. Queste sono però per il momento supposizioni: il lavoro di ricerca è appena cominciato.

11. Mondo fisico e mondo eidetico

Non limitato alla teoria della forma, ma da essa soltanto promosso in modo conseguente nei tempi recenti, è il riconoscimento che il mondo fenomenico, che può realizzarsi soltanto sulla base delle sorprendenti funzioni del sistema nervoso, quali le abbiamo descritte sopra, 'non può identificarsi' con il mondo fisico, il quale è anzi riprodotto dal primo in modo così peculiare da imporre la distinzione tra ambiente 'fisico' e ambiente 'eidetico' dell'organismo, tra l'organismo e l'Io come contenuto di coscienza, tra gli stimoli come azioni chimico-fisiche sugli organi elementari di senso e le valenze degli oggetti eidetici 'sorti' sulla base di quegli stimoli, tra i nostri 'impulsi ad agire', che possono riferirsi unicamente all'Io 'eidetico' e ai suoi elementi 'eidetici, e il 'comportamento', innescato da circuiti di controllo, dell'organismo nel suo ambiente fisico. Ammettiamo pure che una simile concezione sia complicata; ma tant'è: la natura non ne consente una più semplice. Questo si voleva sottolineare dinanzi alla disinvoltata mescolanza, oggi predominante nel behaviorismo come nella psicologia sociale, di mondo eidetico e mondo fisico. È a proposito di questa distinzione, del resto, che si riscontra l'unica fondamentale differenza d'opinione tra K. Lewin e i fondatori della teoria della forma. Lewin voleva riedificare una psicologia puramente fenomenica, ma in questo sforzo cadde, tra difficoltà insolubili, nella psicofisica della percezione (O. Graefe).

12. Forme fisiche

Nel 1920 W. Köhler riuscì a dimostrare - cosa da lungo tempo nota ai fisici - che esistono stati fisici che soddisfano entrambi i criteri di von Ehrenfels. Si tratta di correnti stazionarie in un mezzo continuo o in fitte reti di conduzione e, anzitutto, di distribuzioni di carica e di campi di forza di ogni genere, di dinamiche dei liquidi: in breve, di tutti gli stati ed eventi la cui forma e decorso sono determinati da un equilibrio di forze. Nel 1919 seguì la dimostrazione delle condizioni alle quali l'accadere fisico raggiunge la quiete nello stato finale ottimo, ovvero diventa stazionario. Questi sistemi non possono essere prodotti o spiegati per via additiva. È pertanto possibile parlare anche di forme fisiche.

La dimostrazione dell'esistenza di forme fisiche apre la possibilità di una correlazione 'significativa' tra i processi psichici o di coscienza e i loro correlati psicofisici, secondo il principio dell'affinità strutturale o dell'isomorfismo. Ciò implica che una teoria della psiche che renda giustizia al vissuto non deve necessariamente - come temevano Dilthey e i suoi scolari - entrare in contraddizione con le conoscenze della fisica.

Sino a oggi la psicofisica, che poggia assai largamente sull'ipotesi delle forme fisiche, viene designata come 'teoria della forma'. Ma anche se non ci fossero forme 'fisiche', la particolare concezione della natura del mondo psichico, nota come 'teoria della forma', non perderebbe per questo il suo significato.

Psicologia genetica

Enciclopedia del Novecento (1980)

di Jean Piaget

Sommario: 1. Introduzione. 2. Gli stadi dello sviluppo. 3. Il ruolo dell'azione nella formazione del pensiero. a) Classificazione proposta e formulazione dei problemi. b) Percezioni, nozioni e operazioni. c) Le relazioni tra immagini mentali e operazioni. d) L'azione e le operazioni mentali. Il soggetto e l'oggetto. e) La formazione delle operazioni. f) L'esperienza fisica e l'esperienza logico-matematica. 4. Lo sviluppo della causalità. a) Le teorie della causalità. b) La causalità sensomotoria. c) La causalità operatoria.

1. Introduzione

L'espressione 'psicologia genetica' è stata adoperata dagli psicologi americani O. Stanley Hall e J. M. Baldwin sin dal secolo scorso, prima che il termine 'genetico' assumesse in biologia il significato specifico di 'relativo alla teoria dell'eredità'. Per Stanley Hall la psicologia genetica era in generale la psicologia dello sviluppo, dall'infanzia all'età adulta; ma egli riteneva, concordando in ciò con E. H. Haeckel, che l'ontogenesi, ossia lo sviluppo dell'individuo, costituisse una ricapitolazione della filogenesi, o evoluzione della razza. J. M. Baldwin, viceversa, pur senza negare, naturalmente, l'influsso dei fattori ereditari sulla crescita individuale, sosteneva, giustamente, che lo sviluppo del bambino consiste in una costruzione autonoma e originale, che spiega, sotto numerosi aspetti, la struttura mentale dell'adulto; di qui la sua 'battuta', che a noi piace citare, secondo cui "il bambino è più primitivo dell'uomo preistorico".

Attualmente l'espressione 'psicologia genetica' continua a essere usata per indicare un campo di studi ontogenetici, ma ha assunto un significato conforme alla tradizione che fa capo a Baldwin: a differenza dalla 'psicologia infantile', che è lo studio del bambino in quanto tale, senza altra considerazione oltre a quella della sua evoluzione, oggi chiamiamo generalmente 'psicologia genetica' lo studio del processo di sviluppo infantile, in quanto però esso spiega il costituirsi delle funzioni e delle strutture psichiche in generale, e particolarmente quelle dell'adulto.

Si noti che quando Freud e gli psicanalisti fanno riferimento alla psicologia infantile (e la specificità della loro dottrina esige costantemente questo riferimento), lo fanno appunto nel senso della 'psicologia genetica' e non per un interesse intrinseco nei confronti della 'psicologia infantile'; in altri termini, ciò che essi cercano (e per molti versi riescono a trovare) è la spiegazione dell'adulto a partire dal suo passato infantile e attraverso i successivi stadi del suo sviluppo. Le realizzazioni della Scuola di Ginevra, da una cinquantina d'anni a questa parte, sono assai simili, nel loro spirito psicogenetico, a quelle della psicanalisi, ma si collocano sul terreno delle funzioni cognitive: si tratta di spiegare la genesi e lo sviluppo delle strutture dell'intelligenza, della percezione, del pensiero, della memoria, ecc.; questo programma ha una portata talmente generale che nel suo ambito è stata sviluppata una metodologia, chiamata 'epistemologia genetica' mediante la quale si sono potuti analizzare i grandi temi della conoscenza, tradizionalmente riservati alla ricerca filosofica.

Se intendiamo per 'spiegazione' un procedimento teso a individuare il modo in cui i fenomeni si producono, pare che la psicologia genetica costituisca il migliore, se non il solo, metodo esplicativo in psicologia, in quanto cerca di cogliere i meccanismi stessi di formazione delle strutture mentali. Chi si limiti ad analizzarle nell'adulto, sia pur variando i fattori della sperimentazione o servendosi di raffinate analisi statistiche (come nelle ricerche cosiddette 'fattoriali'), in realtà lavora su risultanti dei processi formatori, mentre il problema è quello di individuare e analizzare questi ultimi; solo lo studio dello sviluppo in quanto tale, dalla nascita all'adolescenza e all'età adulta, può porsi in evidenza: per questo la psicologia genetica è diventata il metodo di indagine elettivo su cui deve basarsi la psicologia generale.

In quel che segue non parleremo di psicanalisi, non essendo competenti in materia. D'altronde, avendo già pubblicato con B. Inhelder (v. Piaget e Inhelder, 1966) un libretto di introduzione alla psicologia genetica, non ripeteremo in questa sede un'esposizione dello stesso tipo, ma ci concentreremo sul processo principale dello sviluppo delle funzioni cognitive: anziché derivare dalle percezioni o da rappresentazioni per immagini di origine percettiva, come hanno sostenuto gli empiristi e più recentemente molti positivisti, le conoscenze si acquisiscono attraverso una complessa attività psichica e i meccanismi fondamentali dell'intelligenza constano di operazioni che trasformano gli oggetti e che derivano gradualmente dalle primitive azioni materiali e senso-motorie. Dopo una breve rassegna degli stadi principali di questa evoluzione, esamineremo in dettaglio i

meccanismi di formazione del pensiero, dapprima per quanto riguarda le operazioni più generali (logico-matematiche) e poi per quel che concerne il concetto di causalità.

2. Gli stadi dello sviluppo

Lo sviluppo delle funzioni mentali nel bambino attraversa quattro stadi principali. Prima della comparsa del linguaggio, nel corso di una fase che potremmo chiamare 'senso-motoria', si costituisce già una forma assai importante di intelligenza: si tratta però di un'intelligenza pratica, priva di rappresentazioni e di pensiero, che utilizza esclusivamente le percezioni e i movimenti, nonché le loro progressive coordinazioni. In questo modo il bambino giunge gradualmente a organizzare il suo universo: riesce così a scoprire (cosa che non accade affatto fin dall'inizio) che gli oggetti sono permanenti e continuano a esistere anche quando non vengono percepiti, perché nascosti da schermi, per esempio; giunge a coordinare gli spostamenti nello spazio e nelle loro successioni temporali, con possibilità di deviazioni e di ritorni al punto di partenza ('gruppo degli spostamenti'); riesce, soprattutto, a costruire delle relazioni di causa ed effetto, dapprima tra le sue azioni e i movimenti degli oggetti, poi tra gli oggetti stessi. Questi rapporti di causalità consentono infine la costruzione di taluni 'comportamenti strumentali', quali l'impiego di un bastone o di altri intermediari per agire su oggetti posti a distanza.

Il periodo seguente (all'incirca dai 2 ai 7 anni) inizia con la formazione della cosiddetta funzione 'simbolica', che conviene piuttosto chiamare 'semiotica'; manifestazioni di questa funzione sono l'imitazione differita, la costruzione di immagini mentali, il gioco simbolico (o gioco di fantasia), il linguaggio, ecc., cioè processi entro cui è possibile distinguere fra 'significanti', più o meno differenziati, e 'significati' e che quindi servono a esprimere significati relativi a situazioni o a oggetti non solo attualmente percepibili, ma anche assenti. La funzione semiotica rende così possibile il costituirsi del pensiero, o rappresentazione, che si sovrappone quindi alle azioni puramente senso-motorie del livello precedente. Spesso questo progresso, che è considerevole, viene attribuito all'azione del solo linguaggio; si tratta però di un grave errore (benché il linguaggio, nei soggetti normali, svolga naturalmente una funzione che assume ben presto grande importanza): basta considerare il caso dei sordomuti, il cui pensiero rappresentativo finisce per raggiungere il livello operatorio (sia pure in ritardo, in assenza di sollecitazioni sociali abbastanza ricche), per convincersi che le altre forme della funzione semiotica possono in gran parte supplire all'assenza del linguaggio articolato nell'elaborazione della rappresentazione concettuale.

Naturalmente durante questa fase l'intelligenza pratica, formatasi nello stadio precedente, continua a svilupparsi, anzi, perché questo sviluppo proceda normalmente, occorre che il bambino si dedichi a diversi tipi

di attività utilizzando materiale sempre più complesso: per esempio giochi di costruzioni, giochi meccanici, in cui determinati elementi servono a sospingerne altri, a farli girare, ecc.

Come abbiamo detto, il pensiero, o capacità di rappresentazione interiore, si forma verso i 18-24 mesi con la comparsa del linguaggio, dell'immagine mentale, del gioco simbolico, del disegno (un po' più tardi), ecc.; però le forme di pensiero che si sviluppano dai 2 ai 7 anni consistono ancora, sostanzialmente, in una 'interiorizzazione' delle azioni, senza approdare, in questa fase, a quelle che chiamiamo 'operazioni' o 'strutture operatorie', le quali si formano solo nel corso del terzo periodo, cioè tra i 7-8 anni e gli 11-12 anni.

Elenchiamo ora brevemente le caratteristiche principali di questo terzo periodo.

Anche l'operazione è un'azione interiorizzata o interiorizzabile: per esempio, riunire o sommare due oggetti è un'azione che può essere compiuta materialmente (ponendo insieme gli oggetti, per esempio in base alla loro somiglianza), ma che può anche essere compiuta mentalmente (per esempio riunendo col pensiero tutti i gatti, il che darà luogo al concetto o alla classe dei gatti). Ma l'operazione, in quanto azione, possiede una caratteristica particolare: è reversibile; è possibile, cioè, svolgerla nei due sensi e quindi invertirla. Per esempio, l'inverso dell'addizione $1 + 1 = 2$ è la sottrazione $2 - 1 = 1$. Combinando operazioni dirette e operazioni inverse, il bambino giunge a costruire sin dai 7-8 anni strutture operatorie ben regolate, dotate, in quanto sistemi, di leggi proprie: per esempio, la serie dei numeri, classificazioni, seriazioni (concatenazioni di relazioni, $A < B < C \dots$), sistemi di corrispondenze, ecc. Questi sistemi godono di proprietà razionali di conservazione: possiamo ripartire una totalità in diversi modi ricorrendo a differenti criteri di suddivisione, ma si tratterà sempre dello stesso tutto che si conserva attraverso le trasformazioni. Ora, proprio i caratteri di reversibilità e di conservazione mancano ancora nel periodo che va dai 2 ai 7 anni: pertanto chiameremo questo periodo 'preoperatorio'.

Una caratteristica essenziale del secondo periodo dello sviluppo è infatti l'assenza delle nozioni di conservazione nel caso di trasformazioni della configurazione di una totalità. Se, per esempio, chiediamo a soggetti di 4-6 anni di mettere in una fila B tanti gettoni quanti ce ne sono in una fila A (per l'esperimento in genere si usano dai 7 ai 10 gettoni), essi saranno sì in grado di costruire una corrispondenza termine a termine, ma basterà distanziare di poco gli elementi di A perché i bambini li ritengano più numerosi di quelli della fila B, come se allungando una fila di 2 o 3 centimetri se ne aumentasse il numero degli elementi. Questo esperimento sul numero ci fornisce un primo esempio di una reazione molto diffusa in età prescolare, dovuta alla mancanza del concetto di conservazione di una totalità nel caso che se ne modifichino la forma o le dimensioni. Reazioni di questo tipo si ritrovano nelle situazioni più disparate. Per esempio, si danno al bambino due recipienti di uguale forma e di uguali dimensioni, A e A'; in essi si pone dell'acqua colorata, che giunge in entrambi alla stessa altezza, quindi si versa il contenuto di A' in un terzo recipiente B, più stretto e più alto: qualsiasi bambino dichiarerà allora (e l'esperimento è stato ripetuto con lo stesso risultato in diversi

paesi) che la quantità d'acqua è aumentata perché il livello è più alto. Non si pensi che l'affermazione del bambino nasca da un equivoco: quando gli si chiede di versare 'la stessa cosa da bere' in A e in B, il bambino riempie i recipienti fino allo stesso livello prescindendo dalla loro larghezza; valutando le quantità d'acqua in base all'altezza del livello (come fa per il numero dei gettoni, in base alla lunghezza delle file), egli non trova 'alcuna difficoltà ad ammettere che, mutando forma e recipienti, queste quantità possano modificarsi senza che alcunché sia stato tolto o aggiunto. Analogamente, se si trasforma una pallina di cera da modellare in un salsicciotto o in una tavoletta o la si spezza in più parti, i bambini in età prescolare sosterranno che la quantità di cera è variata (nel salsicciotto ce n'è più di prima, perché è più lungo, ecc.). Inoltre essi pensano che in seguito alle descritte trasformazioni mutino sia il peso della quantità di cera sia il suo volume (misurato in base al posto che la pallina e, rispettivamente, le sue forme modificate occupano in un mezzo bicchiere d'acqua). Nel caso delle lunghezze, se si mostrano al bambino due righe appoggiate su un piano con gli estremi coincidenti, in modo da verificare l'uguaglianza delle rispettive lunghezze, e poi se ne sposta una in modo tale che essa sopravanzi di poco la seconda (all'incirca di una mezza lunghezza), egli dirà che la riga spostata è diventata 'più lunga' dell'altra, come se allo spostamento si accompagnasse un allungamento (anche in questo caso non si deve sospettare un malinteso, come se 'più lungo' significasse 'che arriva più lontano'; il bambino infatti giudica lo spostamento in avanti dell'estremità anteriore maggiore di quello dell'estremità posteriore). Lo stesso discorso vale per quel che concerne la non conservazione delle aree, dei volumi e in genere di tutte le grandezze, la cui conservazione in termini quantitativi si stabilisce solo tra i 6-7 anni e gli 11-12 anni e oltre.

D'altra parte, fin dallo stadio in cui compaiono le prime operazioni, che si estende dai 7 ai 10 anni, la reversibilità del pensiero comporta la formazione di nozioni di conservazione. Ritorneremo in seguito sull'argomento; per ora vogliamo precisare che le operazioni caratteristiche di questo stadio sono ancora 'concrete', cioè si effettuano solo su oggetti materiali percepiti direttamente o facilmente rappresentabili. Solo in un quarto periodo, che inizia verso gli 11-12 anni, si costituisce una logica delle proposizioni (implicazione, incompatibilità, alternativa, ecc.), che consente di ragionare su pure ipotesi e non più solo su un contenuto dato. Il pensiero, divenuto formale, comporta allora nuove strutture, che funzionano in modo combinatorio - e non più soltanto per gradi - e riuniscono in un unico sistema globale tutte le svariate forme di reversibilità, come l'inversione (negazione) e la reciprocità, precedentemente separate.

3. Il ruolo dell'azione nella formazione del pensiero

Secondo le teorie correnti, le strutture fondamentali dei processi cognitivi o sono innate o sono ricavate da una mera registrazione percettiva dei dati esterni. In entrambi i casi i processi cognitivi sarebbero predeterminati o

preformati, o nel soggetto o negli oggetti. In contrasto con questa ipotesi ci accingiamo a dimostrare che lo sviluppo cognitivo consta di continue costruzioni, che generano nuove strutture, in quanto trae origine dall'azione - e non dalle percezioni o dalle rappresentazioni per immagini - e in quanto le azioni sfociano in operazioni a loro volta costruttive.

Torneremo più avanti sul problema dell'innatismo; per ora conviene cercare di verificare che né le operazioni né le nozioni possono esser tratte dalla percezione o dall'immagine mentale, perché le operazioni e le nozioni creano elementi nuovi che trascendono i dati percettivi e rappresentativi. Occorre innanzitutto insistere su una distinzione spesso trascurata: quella tra aspetti figurativi e aspetti operativi del pensiero; i primi forniscono i 'contenuti' (mentali) e i secondi le 'forme' e le rispettive trasformazioni.

a) Classificazione proposta e formulazione dei problemi

Le realtà fisiche, matematiche, ecc. che l'intelligenza si sforza di comprendere possono presentarsi in due forme: come stati o come trasformazioni. Ogni trasformazione muove da uno stato per giungere a un altro stato, sicché è impossibile capire le trasformazioni senza conoscere gli stati; reciprocamente, è impossibile capire gli stati senza conoscere sia le trasformazioni dalle quali derivano, sia quelle cui possono dar luogo. Dal punto di vista logico, quindi, per conoscere la realtà sono indispensabili due tipi di strumenti: dei 'descrittori', che forniscano i caratteri degli stati e delle trasformazioni, e degli 'operatori' o 'combinatori', che consentano di riprodurre e di manipolare le trasformazioni nonché i rispettivi stati iniziali e finali. Si vede subito che, se per capire è necessario descrivere, la descrizione non fornisce, da sola, la comprensione; anzi, dal punto di vista della comprensione, gli stati sono subordinati alle trasformazioni.

In psicologia ritroviamo una classificazione non dissimile.

Anzitutto esistono funzioni cognitive, o meglio, aspetti di queste funzioni, che corrispondono ai descrittori: si tratta degli aspetti connessi principalmente con le configurazioni della realtà e che, per questa ragione, possiamo chiamare aspetti 'figurativi'. Tali sono essenzialmente: a) la percezione; b) l'imitazione; c) quella sorta di imitazione interiorizzata che cerca di riprodurre i modelli percettivi e che si chiama 'immagine mentale'. Queste funzioni figurative riguardano essenzialmente gli stati e quando si orientano verso le trasformazioni le traducono più o meno in termini di figure o di stati (come nella percezione di un moto in termini di 'buona forma'). Ci sono però, d'altra parte, funzioni cognitive, o aspetti di queste funzioni, che riguardano essenzialmente le trasformazioni: a) l'azione nei suoi meccanismi 'senso-motori' (gli schemi senso-motori, compresi gli stereotipi dinamici, ecc.); b) le azioni interiorizzate nelle loro diverse forme preoperatorie; c) le operazioni propriamente dette, o azioni interiorizzate, nelle loro forme generali, reversibili e coordinate in strutture d'insieme coerenti.

Tutti questi aspetti 'operativi' delle funzioni cognitive (di cui le forme 'operatorie' non sono che il caso particolare descritto al punto c) sono indispensabili alla riproduzione, alla manipolazione e, di conseguenza, alla comprensione delle trasformazioni, in quanto, senza agire sull'oggetto e senza trasformarlo, il soggetto non potrebbe giungere a comprenderne la natura e resterebbe al livello delle semplici descrizioni.

I tre grandi problemi sollevati dalla precedente classificazione sono quindi: 1) gli elementi del pensiero (nozioni, ecc.) sono tratti esclusivamente dagli aspetti figurativi (come sostiene il positivismo, che vede nei concetti il prodotto delle percezioni, astratto, generalizzato e formulato tramite il linguaggio), oppure alla loro formazione e strutturazione sono indispensabili i meccanismi operativi? 2) I meccanismi operativi si costituiscono autonomamente oppure sono tratti a loro volta dalle strutture figurative (percezioni o immagini, ecc., come ritengono i gestaltisti, quando vogliono ridurre - con M. Weitheimer - le operazioni a strutture gestaltiche) ? 3) Le strutture figurative, a loro volta, si sviluppano in maniera autonoma oppure evolvono anche grazie all'apporto di fattori esterni tratti dai meccanismi operativi, e precisamente dall'azione in generale o dalle operazioni?

Dalla risposta che viene data a queste tre domande dipende una soluzione soddisfacente del nostro problema generale del ruolo svolto dall'azione nella formazione del pensiero.

b) Percezioni, nozioni e operazioni

Abbiamo studiato su vasta scala (v. Piaget, 1961) lo sviluppo di talune nozioni e quello delle corrispondenti percezioni, in modo da determinare i rapporti fra le prime e le seconde. Questi rapporti assumono varie forme: ne esamineremo le principali.

1. Talvolta si osserva un'evoluzione parzialmente divergente delle nozioni e delle corrispondenti percezioni. Per esempio, nei bambini esaminati a Ginevra, le nozioni proprie della geometria proiettiva (prospettiva, ecc.) fanno la loro comparsa solo verso i 7 anni; a quest'età i bambini incominciano a raffigurarsi o a prevedere la forma di un oggetto (orologio, matita, ecc.), in base alla posizione che esso occupa rispetto all'osservatore, o a prevedere la forma di un'ombra su uno schermo in base alla posizione dell'oggetto rispetto alla sorgente luminosa (v. Piaget e Inhelder, 1948). La prospettiva nel disegno viene generalmente rilevata solo verso gli 8-9 anni. Infine la corretta rappresentazione delle posizioni relative di tre montagne o di tre case (di cartone), a seconda della posizione dell'osservatore rispetto al plastico, viene acquisita solo verso i 10 anni. Si ha quindi un progresso delle nozioni proiettive a partire dai 7 anni, con una prima fase di equilibrio intorno ai 10-11 anni.

Le percezioni proiettive, invece, sono molto più precoci, poiché la costanza percettiva della forma, che comporta un aspetto proiettivo, si stabilisce fin dal primo anno. Si possono peraltro effettuare, come hanno fatto Piaget e Lambercier, delle misure percettive della grandezza apparente o proiettiva. Per esempio si mostra

al bambino un'asta verticale lunga 10 cm posta a 1 m da lui e un'asta di lunghezza variabile posta a 4 m; quindi gli si chiede in quale momento quest'ultima raggiunge una lunghezza apparente uguale a quella dell'asta di 10 cm (nelle condizioni dell'esperimento l'asta variabile deve essere lunga 40 cm). In questa situazione l'adulto medio (a differenza del grafico professionista) commette notevoli errori - giudica uguali le due aste quando quella variabile misura 20 cm di lunghezza o anche meno - dato che la costanza delle grandezze (reali) prevale sulla grandezza proiettiva. Il bambino piccolo, invece, ha molta difficoltà a capire il problema (bisogna spiegarli ciò che deve fare facendogli dipingere su un vetro piano la grandezza apparente di una bambola posta a una certa distanza e vista attraverso il vetro stesso), ma quando ha capito dà a 6-7 anni risposte molto migliori di quelle dell'adulto (da 25 a 40 cm!). Dopo questa età la percezione si deteriora mentre la nozione si costruisce.

Da questo primo esperimento risulta quindi evidente che la nozione contiene molto di più della sola percezione. La percezione proiettiva fornisce infatti semplicemente la conoscenza corrispondente a un punto di vista particolare (una sola posizione rispetto all'oggetto, poi un'altra, che cancella la percezione precedente, ecc.). Le nozioni proiettive (prospettiva, ecc.) implicano invece due tipi di proprietà che la percezione da sola non fornisce: a) una messa in relazione o coordinazione tra i diversi punti di vista, tale che il soggetto comprende perché l'oggetto ha mutato forma apparente mutando posizione rispetto al soggetto; b) una possibilità di deduzione che consente di prevedere la forma corrispondente a una posizione del soggetto diversa da quella che attualmente occupa. In questo caso si vede subito che tanto la comprensione quanto la deduzione o la previsione risultano dalle azioni o dalle operazioni che il soggetto compie: per capire quei mutamenti di forma apparente, il soggetto deve spostarsi o spostare l'oggetto; è necessario quindi che egli interiorizzi queste azioni trasformandole in operazioni reversibili che gli consentano di dedurre o di riprodurre mentalmente i relativi spostamenti. Queste azioni e operazioni costituiscono il punto di partenza di uno dei gruppi di trasformazioni su cui si fonda la geometria proiettiva.

2. I rapporti fra percezione e nozione corrispondente assumono una forma opposta a quella precedentemente presa in considerazione nei casi in cui la percezione prefigura la nozione, ma con un effetto retroattivo della nozione o delle operazioni sull'organizzazione della percezione. Il termine 'prefigura' significa semplicemente che la nozione si costruisce in maniera analoga o 'parzialmente isomorfa' alla percezione; il problema della filiazione resta aperto e lo esamineremo fra poco.

Come esempio di questo diverso tipo di relazione fra percezione e nozione esaminiamo il caso dei sistemi di riferimento o di coordinate naturali (si tratta del problema dell'orientamento rispetto all'orizzontale e alla verticale e della determinazione di queste due direzioni privilegiate). Dal punto di vista della nozione occorre distinguere accuratamente tra lo schematismo senso-motorio e le nozioni o operazioni rappresentative. Al livello senso-motorio il neonato giunge a distinguere molto presto l'orizzontale dalla verticale, ma solo sul

proprio corpo (posizione distesa o seduta e in piedi) ed esclusivamente per via tonica o posturale. Si potrebbe allora pensare che un'esperienza così precoce si traduca in una nozione ugualmente precoce, ma le cose non stanno così. Bisogna attendere fino all'età di 9-10 anni perché il bambino sappia prevedere e disegnare il livello orizzontale raggiunto da una certa quantità d'acqua contenuta in una brocca, che viene inclinata in varie posizioni; la difficoltà sta nel fatto che egli cerca dei riferimenti all'interno della brocca, mentre per individuare l'orizzontale bisogna riferirsi all'esterno della figura, cioè al supporto su cui la brocca poggia (il tavolo, ecc.). La difficoltà è la stessa per quanto concerne la verticale (un filo a piombo sospeso a un'estremità di una bacchetta inclinata, ecc.).

Dal punto di vista della percezione l'evoluzione è la seguente. Sin dai primi anni di vita il bambino può individuare l'orizzontale e la verticale rispetto alla linea dello sguardo; ciò corrisponde alla valutazione posturale ed è in relazione con essa (da qui la teoria senso-tonica di Werner e Wapner); ma non sa valutare l'orizzontalità o la verticalità di una retta rispetto a oggetti di riferimento diversi dal proprio corpo. A questo proposito abbiamo fatto con P. Dadsetan il seguente esperimento. Si iscrive una linea leggermente obliqua rispetto all'orizzontale all'interno di un triangolo la cui base è inclinata; la linea iscritta è vicina alla base del triangolo, perciò è difficile giudicare della sua orizzontalità senza cercare dei riferimenti al di fuori del triangolo, cioè sui bordi del foglio, dove è stata appositamente disegnata una cornice a trattini neri. I risultati dell'esperimento sono singolari: a) i soggetti più giovani sono poco disturbati dal triangolo, che non guardano affatto; b) in seguito l'errore aumenta fin verso i 9-10 anni, a causa del triangolo e perché i bambini non guardano la cornice esterna della figura; c) verso i 9-10 anni l'errore diminuisce bruscamente di molto, in quanto il soggetto fa riferimento alla cornice; d) applicando a ogni soggetto la prova operatoria o nozionale della previsione dell'orizzontalità del livello dell'acqua nelle brocche inclinate, si riscontra una buona correlazione tra il giudizio nozionale e la percezione, ma con una preminenza del primo.

È dunque evidente che in questa situazione, se la percezione prefigura la nozione, quest'ultima, a sua volta, agisce retroattivamente sulla percezione a partire dai 9-10 anni: sino a questa età al bambino non viene in mente di guardare la cornice esterna per valersene come riferimento, mentre al livello operatorio, in cui comincia a costruire e a generalizzare a due e a tre dimensioni i sistemi di riferimento, le abitudini che va così acquisendo orientano la sua esplorazione percettiva e modificano quindi indirettamente la percezione.

3. È inutile dare esempi di altri tipi di rapporti fra percezione e nozione: si tratta o di casi di interazione, o di casi in cui si ha prefigurazione, ma senza che si sappia ancora nulla circa effetti retroattivi del giudizio nozionale sulla percezione (per esempio, fra il modo di formazione delle costanze percettive e quello delle conservazioni operatorie, che si stabiliscono circa 6-7 anni più tardi, esiste una certa analogia, anche se le seconde non derivano affatto dalle prime).

Da questi fatti (e potremmo citarne molti altri analoghi) va tratta la conclusione che una nozione, benché ricavi naturalmente informazioni indispensabili dalle percezioni corrispondenti, tuttavia non è estratta dalla percezione mediante semplici astrazioni e generalizzazioni, come riteneva Aristotele e come pensano tuttora i positivisti contemporanei. Se così fosse, la nozione sarebbe più povera delle percezioni corrispondenti, pur essendo più generale, in quanto astrarrebbe determinati aspetti percettivi trascurandone gli altri. In realtà, nozioni come quella di prospettiva o quella di sistema di riferimento, o di coordinate, sono molto più ricche delle percezioni proiettive o delle coordinate percettive, in quanto comportano sempre un sistema di operazioni o di trasformazioni (classificazioni, seriazioni, corrispondenze, misure, ecc.). Tale aspetto operativo della nozione è irriducibile alle strutture percettive e deriva dalle strutture senso-motorie o dalle strutture d'azione in generale; ciò è quanto ci apprestiamo a verificare, confrontando le strutture operatorie con quelle delle Gestalten percettive.

4. Gli psicologi gestaltisti hanno descritto la Gestalt come la più generale struttura della percezione.

Indubbiamente essi hanno ragione, senonché una simile definizione non è una spiegazione: una struttura è il risultato di un processo funzionale e dialettico e solo la comprensione di tale processo ha valore esplicativo. Per ora, tuttavia, ci interessa unicamente confrontare questa struttura gestaltica, tipica della percezione, con le strutture operatorie tipiche dell'intelligenza, per vedere se queste ultime siano riducibili alle prime. W. Köhler e M. Wertheimer definiscono una Gestalt in base a due caratteri: a) è una totalità dotata di leggi proprie in quanto totalità, distinte dalle leggi dei suoi elementi (percezioni e sensazioni); b) è una totalità non additiva, cioè il tutto è diverso dalla somma delle parti. I gestaltisti hanno considerato solidali questi due caratteri; perciò, quando Wertheimer ha voluto spiegare le strutture operatorie di forme matematiche o logiche (per esempio il sillogismo), ha tentato di ridurle a Gestalten.

Ora, se confrontiamo la struttura gestaltica con una struttura operatoria come la successione dei numeri interi, vediamo che quest'ultima presenta il carattere a), ma non il b). Infatti la successione dei numeri soddisfa leggi di totalità: leggi di gruppo, di anello, di reticolo, ecc., che i matematici hanno descritto e che sono dotate di profondo significato psicologico. Ma, d'altra parte, si tratta di una totalità strettamente additiva: $2 + 2$ fa esattamente 4 e non un po' di più o un po' di meno, come nelle approssimazioni o nelle illusioni percettive. Anche per questa ragione, va dunque esclusa la possibilità di trarre dalle strutture percettive le strutture operatorie o nozionali. Ciò dipende dal fatto che le prime, essendo non additive, sono irreversibili e di natura probabilistica, come tutte le funzioni figurative; viceversa una struttura operatoria, come il gruppo dei numeri interi, deriva da una certa forma d'azione (in questo caso l'azione di riunire), che però è diventata reversibile (riunire/dissociare \rightarrow addizionare/sottrarre) e di conseguenza suscettibile di deduzione esatta o necessaria, contrariamente alle strutture irreversibili e probabilistiche.

5. Quanto ai rapporti tra percezioni e pensiero, possiamo concludere rispondendo come segue alle tre domande formulate alla fine del § a di questo capitolo.

A. In tutti i casi in cui si è cercato di spiegare la formazione di una nozione a partire dalle sole percezioni corrispondenti, si è trascurato il fatto che i due termini presi in considerazione non sono gli unici che intervengono, ma ne esiste un terzo, che è fondamentale e costituisce la comune origine degli altri due: si tratta dell'insieme delle strutture senso-motorie, dal riflesso senso-motorio all'intelligenza senso-motoria (la quale comincia a formarsi sin dalla seconda metà del primo anno).

A. E. Michotte, per es., ha cercato di spiegare la formazione della nozione di causa a partire dai fenomeni propri della causalità percettiva, da lui studiati dettagliatamente. Ma esiste una causalità senso-motoria originaria, legata esclusivamente alle azioni del soggetto (spingere, tirare, far oscillare oggetti sospesi, ecc.) e indipendente da contatti spaziali (il neonato, per esempio, già molto precocemente cerca di agire su oggetti posti a 2 o 3 metri di distanza scuotendo con movimenti di vario tipo il proprio lettino); solo verso i 10-12 mesi comincia un processo di spazializzazione (esigenza di contatti) e di oggettivazione (delega della causalità dell'azione ai rapporti tra gli oggetti). D'altronde, la causalità percettiva visiva di Michotte deriva da una causalità percettiva tattilo-cinestesica precedente, in quanto, se il soggetto non avesse muscoli e non si muovesse, non 'vedrebbe' urti, spinte, resistenze, ecc. osservando le piccole figure usate da Michotte nei suoi esperimenti, ma solo movimenti successivi e regolari. La causalità tattilo-cinestesica dipende, naturalmente, dall'attività globale del soggetto, la quale costituisce, quindi, la comune origine della causalità percettiva e di quella concettuale.

B. Analogamente le operazioni del pensiero non derivano da Gestalten (il perché lo abbiamo spiegato nel precedente punto 4) e se ne può seguire lo sviluppo a partire dalle azioni senso-motorie. Fin dal livello senso-motorio del primo anno si assiste infatti alla formazione di schemi d'azione che comportano coordinazioni generali delle azioni in forma di 'riunioni' (coordinazione di visione e prensione o di due movimenti in un unico movimento, ecc.), di 'seriazioni' (esecuzione di azioni successive per raggiungere uno scopo: per esempio tirare a sé una coperta prima di allungare la mano per prendere un oggetto posto su di essa e inizialmente fuori della portata del soggetto, ecc.) e di 'corrispondenze' (apprendimento dell'imitazione, ecc., ecc.). Queste coordinazioni generali costituiscono, già prima della comparsa del linguaggio, una sorta di logica dell'azione, fondamentale per l'ulteriore sviluppo delle operazioni. Per esempio, la coordinazione degli spostamenti (del proprio corpo o degli oggetti manipolati) finisce per acquisire, verso i 12-18 mesi, una struttura di gruppo (in senso algebrico): la possibilità di 'ritorni' al punto di partenza (reversibilità dello spostamento) e di 'deviazioni' (composizioni associative che consentono di raggiungere uno stesso punto attraverso cammini diversi) conferisce già a questa struttura le proprietà di reversibilità e di componibilità che caratterizzeranno le future operazioni. Inoltre questa struttura, quasi operatoria nel suo funzionamento (salvo il

fatto che si tratta di azioni successive e non ancora di rappresentazione simultanea di eventi), dà luogo alla costituzione di un 'invariante di gruppo': lo schema dell'oggetto permanente; il bambino diventa capace, verso la fine del primo anno, di cercare un oggetto nascosto da uno schermo tenendo conto degli spostamenti e delle posizioni successive. (H. Gruber ha condotto su giovani gattini i nostri esperimenti sulla permanenza dell'oggetto e ha ritrovato gli stessi stadi iniziali, che si succedono un po' più rapidamente, ma, naturalmente, non raggiungono lo stesso livello evolutivo). In queste prime fasi dello sviluppo cognitivo è perciò contenuto il germe non solo delle future operazioni, ma anche degli schemi di conservazione che le caratterizzeranno una volta costituite.

C. La percezione quindi non basta assolutamente a render conto degli sviluppi illustrati, che coinvolgono l'attività globale del soggetto. Ma la stessa percezione non evolve con l'età in modo autonomo e indipendente, in quanto è sempre più subordinata all'intelligenza e alle operazioni nella loro forma attiva e solidale con gli schemi d'azione; al punto 2 abbiamo riportato un esempio (e potremmo citarne molti altri) delle relazioni fra percezioni, nozioni e operazioni, a proposito delle coordinate percettive.

c) Le relazioni tra immagini mentali e operazioni

La percezione costituisce un primo esempio di funzione figurativa che non spiega gli aspetti operativi del pensiero ma è a essi sempre più subordinata. Un secondo esempio, del tutto parallelo, è quello delle immagini mentali.

La psicologia associazionistica considerava l'immagine mentale come un prolungamento della percezione e come un elemento del pensiero, quasi che il ragionamento consistesse nell'associare immagini tra loro e alle percezioni. Dal punto di vista dello sviluppo del bambino, non sembra che l'immagine mentale svolga un ruolo fin dalla nascita, come le percezioni; essa si manifesta solo a partire dai 18-24 mesi, al momento della comparsa della funzione simbolica (gioco simbolico, cioè d'imitazione o di fantasia, imitazioni differite, acquisizione del linguaggio, ecc.). L'immagine svolge quindi sostanzialmente funzione di simbolo e possiamo considerarla un prodotto dell'imitazione, ma in forma interiorizzata (neurologicamente la rappresentazione di un movimento fa intervenire le stesse onde elettromiografiche o elettroencefalografiche della sua esecuzione). Possiamo allora chiederci quali siano le relazioni fra le immagini e le operazioni mentali: le prime preparano le seconde o servono solo come ausili simbolici? E le prime evolvono indipendentemente dalle seconde o sotto la loro crescente influenza? Occorre anzitutto distinguere due categorie di immagini: quelle 'riproduttrici', che evocano eventi o oggetti già noti, e quelle 'anticipatrici', che prefigurano eventi non ancora osservati.

1. Per quel che riguarda le immagini riproduttrici, due fatti rivestono particolare importanza ai fini della presente trattazione. Il primo è che la ritenzione nella memoria di queste immagini-ricordo è migliore quando sono state associate all'azione che quando sono state registrate solo percettivamente. Per esempio, abbiamo

eseguito degli esperimenti usando modelli consistenti in piccole costruzioni fatte con blocchetti di legno. Sono state poste a confronto tre situazioni: 1) il bambino si limita a osservare il modello e poi deve ricostruirlo a memoria; 2) il bambino copia il modello con altri blocchetti e poi deve ricostruirlo a memoria; 3) il bambino guarda l'adulto che costruisce il modello e poi deve ricostruirlo a memoria. Abbiamo osservato diversi gruppi di soggetti seguendo l'ordine $1 \rightarrow 2$ o $2 \rightarrow 1$, ecc., a una settimana o a quindici giorni di intervallo. (I risultati sono ben definiti quando i modelli sono dotati di un certo piano di insieme, mentre sono privi di senso quando i modelli sono soltanto arbitrarie successioni di elementi o di immagini). Siamo così giunti alle seguenti conclusioni: a) le prestazioni del bambino sono migliori quando egli ha agito che quando si è limitato a guardare; b) nell'ordine $2 \rightarrow 1$ si ha una netta influenza dell'azione precedente sulla percezione successiva (anche se il modello è stato un po' cambiato da un esperimento all'altro), mentre nell'ordine $1 \rightarrow 2$ la percezione precedente non influisce affatto sui risultati dell'azione successiva; c) il veder agire l'adulto (in 3) non aggiunge niente alla semplice percezione (1) e non equivale in alcun modo all'azione del bambino stesso (2). Quest'ultimo punto contiene una semplice indicazione pedagogica, peraltro conforme a quanto si sa da tempo: l'allievo impara molto di più se compie in prima persona una determinata esperienza che se la vede fare.

Il secondo dei fatti cui abbiamo precedentemente accennato è la distribuzione dei tipi di immagini riproduttrici rispetto alla frequenza dei vari fenomeni riproducibili per rappresentazione. Si possono infatti distinguere tre tipi di immagini: statiche (rappresentanti oggetti immobili), cinetiche (rappresentanti mutamenti di posizione) e di trasformazione (rappresentanti cambiamenti di forma). Nella vita quotidiana si ha occasione di osservare tanti movimenti e tante trasformazioni quanti oggetti statici. Tuttavia, quando studiamo la rappresentazione in immagini di moti o trasformazioni elementari nel bambino di meno di 7-8 anni, constatiamo che egli incontra difficoltà assai curiose: per esempio, se gli facciamo disegnare a memoria (senza prima mostrargli il modello) un'asta che ruoti di 90° o di 180° intorno a una sua estremità, o un tubo dalle estremità colorate che ruoti di 180° intorno al suo baricentro cadendo dal bordo di una scatola posata su un tavolo, o semplicemente i quattro lati (diversamente colorati) di un quadrato che ruoti intorno al proprio centro (sul piano o nello spazio), ecc., scopriamo che il bambino incontra ogni sorta di difficoltà inattese nel rappresentare le posizioni intermedie. Nel caso della trasformazione di un arco (di fil di ferro flessibile) in un segmento di retta, il bambino si rappresenta male le posizioni intermedie e disegna il segmento non più lungo della corda dell'arco, pur sapendo che quest'ultimo è sottoposto a stiramento. In breve, prima dei 7-8 anni, le immagini riproduttrici di moti o di trasformazioni sono molto rare o molto inesatte, poiché non consistono di semplici evocazioni passive, ma implicano anticipazioni attive o rianticipazioni. Quanto alle immagini anticipatrici concernenti moti o trasformazioni ancora ignoti (per esempio il risultato che si ottiene se si piega più volte un foglio e se ne taglia poi un angolo, ecc.), va da sé che sono ancora meno precoci. S'impone allora

l'ipotesi che i progressi dell'immagine, a partire dalle primitive immagini statiche, sono dovuti alle prime operazioni, che compaiono appunto verso i 7-8 anni, e che l'immagine è sempre più subordinata alle operazioni, anziché costituirne la fonte.

2. Per verificare quest'ipotesi abbiamo quindi ripreso un certo numero di vecchi esperimenti di tipo operatorio concernenti le nozioni di conservazione, ma abbiamo chiesto al bambino di immaginare in anticipo l'esito delle trasformazioni, prima di fargliene effettuare e fargliene constatare il risultato. Uno di questi esperimenti consisteva nel mostrare al bambino una fila orizzontale di 10 gettoni blu, leggermente distanziati l'uno dall'altro, e nel chiedergli di prenderne altrettanti di colore rosso. I bambini più piccoli fanno una fila di gettoni rossi lunga come quella dei gettoni blu, senza preoccuparsi della corrispondenza fra gli elementi delle due file. In un secondo stadio il bambino pone in corrispondenza biunivoca i gettoni e dice che le due file sono uguali, ma, se si avvicinano o si distanziano un po' di più gli elementi di una delle due file, dice che non si ha più lo stesso numero di gettoni nelle due file e sostiene che, per ripristinare l'uguaglianza numerica, occorre aggiungere 1 o 2 gettoni alla fila più corta. In un terzo stadio il bambino riconosce che, se si modifica la lunghezza di una delle due file, il numero degli elementi resta lo stesso, ma non la quantità: "Sono 10 e 10, ma qui ce ne sono di più" (il tutto non è quindi ancora uguale alla somma delle parti!). Infine, in un quarto stadio (verso i 7 anni), il numero e la quantità dei gettoni si conservano, se se ne modifica la disposizione spaziale, "perché si possono rimettere come prima": si ha dunque un'operazione reversibile e conservativa.

Dal punto di vista dell'immagine, la reazione dei bambini piccoli è stupefacente: essi ragionano come se, quando si spostano i gettoni, non immaginassero la possibilità di rimetterli nella posizione di partenza o non ne immaginassero la conservazione dell'identità nel corso dello spostamento. Abbiamo perciò costruito un apparecchio a forma di ventaglio aperto: i gettoni rossi, in basso, sono ravvicinati e quelli blu, in alto, sono distanziati, ma una guida dalle pareti di cartone collega ogni gettone rosso a un gettone blu e nessun gettone può uscire dalla propria guida. In questo caso l'immagine dei tragitti non pone alcun problema e va da sé che ogni gettone rosso corrisponde a un solo gettone blu e viceversa. Abbiamo quindi chiesto ai bambini di immaginare i tragitti: niente di più facile. Ma - cosa straordinaria - l'immagine del tragitto non ha influito affatto sulle reazioni preoperatorie: "quando salgono ce ne sono di più e quando scendono ce ne sono di meno" (!). Allora, anziché far immaginare ai bambini i movimenti dei gettoni glieli abbiamo fatti vedere, spostando tutti i gettoni contemporaneamente mediante un dispositivo meccanico: i bambini sono rimasti incantati vedendo ciò, ma hanno di nuovo concluso, semplicemente, che i gettoni rossi aumentano o diminuiscono a seconda che li si faccia salire o scendere lungo le guide.

Un altro vecchio esperimento ripreso per studiare l'immagine è quello della conservazione dei liquidi: si versa un liquido da un bicchiere A in un bicchiere B, più stretto, o in un bicchiere C, più largo. Fin verso i 7 anni la media dei soggetti ritiene che la quantità di liquido aumenti o diminuisca a seconda dei livelli raggiunti,

indipendentemente dalla larghezza dei bicchieri. Per studiare il ruolo dell'immagine nella genesi delle facoltà cognitive, abbiamo chiesto ai bambini di prevedere quel che sarebbe accaduto in seguito ai travasamenti, di indicare i livelli che il liquido avrebbe raggiunto e di dire se la quantità di liquido si sarebbe conservata o meno. Abbiamo riscontrato tre tipi di risposte: a) per la maggior parte dei bambini si conserverà tutto, compresi i livelli (!). Ma quando vedono che, rispetto al livello raggiunto in A, il liquido raggiunge un livello più alto in B e più basso in C, dicono di essersi sbagliati e negano la conservazione della quantità di liquido; b) un secondo gruppo di soggetti (il 23%) prevede correttamente i livelli, ma conclude che in B ci sarà da bere di più che in A e in C di meno. Infatti, se dopo si danno a un bambino di questo gruppo i tre bicchieri vuoti e gli si chiede di riempirli in modo che ciascuno dei partecipanti all'esperimento (lo sperimentatore, l'assistente e il bambino stesso) abbia la stessa quantità di liquido (una questione di giustizia!), egli riempie i bicchieri fino alla stessa altezza senza preoccuparsi della loro larghezza; c) ci sono infine soggetti (in media dai 7 anni in su) che prevedono correttamente i livelli e accettano la conservazione della quantità di liquido.

Si vede quindi che, prima del livello operatorio (c), o l'immagine è scorretta (a) o è corretta (b), ma si limita a riprodurre esperienze anteriori del soggetto (capita di travasare un liquido da un recipiente a un altro), senza portare al concetto di conservazione, dato che non si è compreso il rapporto di compensazione fra le variazioni in altezza e quelle in larghezza. L'immagine, anche quando è corretta, non comporta l'operazione.

Analoghi risultati si ottengono con altri tipi di esperimenti sulla conservazione delle grandezze (v. cap. 2).

3. In poche parole, l'immagine è utile all'operazione nella misura in cui riproduce esattamente gli stati, ma non basta assolutamente a fornire la comprensione delle trasformazioni. Per capire queste ultime occorre agire sull'oggetto e coordinare le modificazioni prodotte in un tutto coerente; soltanto le operazioni che prolungano le azioni, interiorizzandole e rendendone reversibili le coordinazioni, permettono di capire che le trasformazioni non modificano tutto contemporaneamente ma comportano un invariante (e quindi una conservazione).

I risultati di queste ricerche sullo sviluppo delle immagini concordano con quelli relativi alle percezioni; pertanto, rispondendo ai tre interrogativi posti alla fine del § a, possiamo concludere, per quel che riguarda i rapporti fra aspetti figurativi e aspetti operativi delle funzioni cognitive, che: 1) l'immagine, al pari della percezione, non basta a render conto dei concetti o delle funzioni mentali, che derivano da attività operatorie irriducibili ai dati figurativi; 2) l'immagine, al pari della percezione, non basta a generare le operazioni, anche quando, riflettendo l'esperienza acquisita, consente di prevedere il risultato di talune trasformazioni; quel che manca al figurativo è la comprensione della trasformazione in se stessa, che è un mutamento di stato e non una configurazione; 3) l'immagine, al pari della percezione, non evolve autonomamente, ma in seguito a un indispensabile intervento delle operazioni; soltanto le operazioni, infatti, permettono il passaggio dalle immagini riproduttrici a quelle anticipatrici di moti e di trasformazioni.

d) L'azione e le operazioni mentali. Il soggetto e l'oggetto

Come abbiamo visto, gli aspetti figurativi delle funzioni cognitive, per quanto utili e necessari per la conoscenza degli stati, non possono in alcun modo generare il pensiero razionale, dato che, da soli, non giungono a cogliere le trasformazioni. Ciò dipende dal fatto che la conoscenza non consiste in una riproduzione statica della realtà. Conoscere un oggetto non significa fornirne una semplice copia: significa agire su di esso per trasformarlo e cogliere nelle trasformazioni stesse il meccanismo della sua produzione. Conoscere è quindi produrre o riprodurre dinamicamente l'oggetto; ma per poter riprodurre è necessario saper produrre, perciò la conoscenza deriva dall'azione nel suo complesso e non solo dai suoi aspetti figurativi. L'aver constatato il primato dell'azione e l'insufficienza degli aspetti figurativi, considerati isolatamente, nel contesto delle funzioni cognitive, ci induce, innanzitutto, a stabilire un rapporto dialettico e non statico fra soggetto e oggetto. Presupporre un rapporto statico fra soggetto e oggetto significa dissociarli: questa dissociazione è fonte di inestricabili difficoltà.

Partire dal soggetto per capire l'oggetto significa porsi in una prospettiva aprioristica o idealistica, che impedisce di raggiungere l'oggetto, in quanto, considerando il soggetto come un insieme di strutture preformate, si dimentica che il soggetto non esiste in una forma data una volta per tutte: il soggetto non è altro che l'insieme delle azioni che esercita sugli oggetti e queste azioni mutano incessantemente in funzione degli oggetti e modificano il soggetto. Partire dall'oggetto indipendentemente dalle azioni del soggetto significa porsi in una prospettiva empiristica o positivista, dimenticandosi che l'oggetto si raggiunge solo per approssimazioni successive: tutta la storia della scienza mostra che l'oggettività non è un dato di partenza, ma si costruisce e si acquista attraverso uno sforzo continuo e laborioso, dato che le successive approssimazioni che avvicinano il soggetto all'oggetto sono il risultato delle azioni che il soggetto compie per conquistare e ricostruire l'oggetto.

Il soggetto S e l'oggetto O sono quindi indissociabili e dall'indissolubile relazione $S \rightleftharpoons O$ nasce l'azione, fonte della conoscenza. Il punto di partenza della conoscenza non è quindi né S né O, ma la loro reciproca interazione, tipica dell'azione stessa. A partire dall'interazione dialettica \rightleftharpoons , il soggetto scopre gradualmente le proprietà oggettive dell'oggetto, attraverso un decentramento che libera la conoscenza dalle illusioni soggettive. Sempre a partire dalla stessa interazione, il soggetto, scoprendo e conquistando l'oggetto, organizza le proprie azioni in un sistema coerente di operazioni che costituiscono il suo pensiero e la sua intelligenza. Presentiamo anzitutto due esempi del decentramento di cui sopra, per mostrare il ruolo indispensabile delle azioni e delle operazioni nella conquista dell'oggetto e, soprattutto, per mostrare come l'operazione fondata sulla coordinazione generale dell'azione liberi quest'ultima dai suoi aspetti individuali e soggettivi.

Il primo di questi esempi è banale. Come abbiamo potuto constatare a Ginevra, molti bambini al di sotto dei 7 anni credono che la luna, di sera, li segua e ne ho visti alcuni che avevano elaborato una specie di azioni di controllo: entrare in un negozio e, all'uscita, verificare che la luna li stesse ancora aspettando o correre lungo un isolato a partire da una traversa per vedere se la luna li aspettava alla traversa successiva. In questi casi si ha dunque una pseudoconoscenza dovuta all'azione propria e immediata; manca ancora una qualsiasi forma di decentramento; infatti, quando si chiedeva a uno di questi bambini se la luna seguisse anche noi, rispondeva: "Certo!"; e quando gli si chiedeva che cosa avrebbe fatto la luna se noi fossimo andati in una direzione e lui nella direzione opposta, rispondeva: "Forse va prima con voi, ma mi riacchiappa sempre". Verso i 7 o 8 anni questa credenza scompare e alcuni bambini si ricordano anche in che modo (o, per lo meno, forniscono in proposito una spiegazione plausibile): "Quando a scuola mi son fatto degli amici - diceva per esempio un bambino di 7 anni - ho capito che la luna non poteva seguire tutti contemporaneamente e che sembra soltanto che ci segua, ma non è vero". Quindi, in questo caso, è bastato un decentramento per reciprocità delle azioni a correggere l'errore iniziale.

Il secondo esempio è più sottile e mostra l'influsso delle operazioni additive su una rappresentazione di conservazione. Si ricordi (v. § c, punto 2) che il bambino piccolo non possiede il concetto di conservazione del numero - non disponendo di operazioni additive - e che giunge a concepire questa conservazione quando impara a coordinare le azioni di riunione ($1 + 1$) in una forma coerente che gli permette di capire che il tutto è uguale alla somma delle parti. Questo decentramento dell'operazione additiva, che così si libera delle apparenze figurative (percezione o immagine) si può illustrare ricorrendo a un bell'esperimento riguardante la conservazione delle quantità fisiche. L'esperimento, da me compiuto tempo fa con Inhelder, consiste innanzitutto nel porre un bicchiere d'acqua su una bilancia e nel verificare che, se vi si immergono due o tre zollette di zucchero, il peso del bicchiere aumenta e il livello dell'acqua sale (si segna allora il nuovo livello). A questo punto si chiede al bambino: a) che cosa diventa lo zucchero una volta sciolto? b) Conserva il suo peso? c) Il livello dell'acqua resta più alto o ridiscende (conservazione del volume)? Durante gli stadi preoperatori in cui non c'è ancora composizione operatoria additiva, non si ha alcuna conservazione neppure in questo ambito fisico: lo zucchero sciolto scomparirà (e il sapore dolce dell'acqua svanirà come evapora un odore), il peso del bicchiere diminuirà dopo la soluzione dello zucchero e l'acqua ritornerà al livello che raggiungeva prima dell'immersione delle zollette. Ma a partire dall'epoca in cui si formano le composizioni additive, il bambino giunge a concepire la conservazione, prima della massa, poi del peso e infine del volume: comincia intanto col constatare che lo zucchero, sciogliendosi, si suddivide in granelli sempre più piccoli; allora postula che, quando lo zucchero sembra essere scomparso, ne restino, 'in realtà, dei granelli tanto piccoli da risultare invisibili, ma - e qui si dimostra l'importanza della composizione additiva - tali che la loro somma equivalga alle zollette visibili iniziali; la massa dello zucchero perciò si conserva. In un primo

momento il bambino pensa che quei granelli siano troppo piccoli per possedere un peso e un volume; in seguito, invece, ammetterà che ogni granello ha un suo piccolo peso e occupa un piccolo volume (a quest'ultima conclusione giunge più tardi), non solo, ma che la somma dei pesi e quella dei volumi dei singoli granelli corrispondono rispettivamente al peso totale e al volume totale - misurato in base alla variazione del livello dell'acqua - delle zollette originarie.

Questo esperimento illustra come la coordinazione delle azioni di riunire o di addizionare, una volta interiorizzata in operazioni coerenti, conduca a un decentramento e a un'oggettività sufficienti ad andare oltre le apparenze figurative e a raggiungere quelle forme di conservazione difficili da concepire, quali la conservazione della massa, del peso e del volume di un corpo diventato invisibile. La conquista dell'oggettività in questo caso è tanto più interessante in quanto si compie pressappoco alle stesse età in cui si raggiunge l'oggettività in relazione a trasformazioni nel corso delle quali tutto resta visibile; ciò si può verificare, per esempio, trasformando una pallina di argilla in un salsicciotto e chiedendo ai bambini se la massa, il peso e il volume dell'argilla si conservano: per l'argilla, come per lo zucchero sciolto nell'acqua, la conservazione della massa si osserva, in media, sin dai 7-8 anni, quella del peso dai 9-10 anni e quella del volume dagli 11-12 anni.

e) La formazione delle operazioni

Le operazioni sono azioni interiorizzate, reversibili e raggruppate in strutture dotate, in quanto tali, di proprie leggi di composizione. Un'azione che il bambino compie molto presto consiste nel riunire oggetti simili in un mucchio o collezione A. Egli potrà analogamente riunire altri oggetti simili tra loro in un secondo mucchio A' e, se accosterà le due collezioni A e A' per farne un tutto B, compirà un nuovo tipo di azione - consistente nel riunire non oggetti singoli, ma collezioni o mucchi - che, per semplicità, indicheremo così: $A + A' = B$. Si tratta di azioni materiali, ma dotate già di significato generale, e si vede subito che costituiscono il punto di partenza delle operazioni di riunione o di addizione. Ma tra queste azioni e le corrispondenti operazioni intercorre un lungo e laborioso processo di elaborazione, nel corso del quale le azioni vengono interiorizzate, rese reversibili e raggruppate in strutture. L'interiorizzazione delle azioni suscita problemi neurologici e psicologici di ogni tipo, che sono stati studiati specialmente in URSS. Per questo non vi insisto; notiamo soltanto che l'interiorizzazione è favorita dalla funzione simbolica: al livello senso-motorio, dalla nascita ai 18-24 mesi, le azioni non possono ancora essere interiorizzate. Col linguaggio, il gioco simbolico, l'imitazione differita e l'immagine mentale, l'interiorizzazione diventa possibile. Ma notiamo soprattutto che un'azione interiorizzata è ancora un'azione: riunire due ciottoli o riunire due unità astratte ($1 + 1 = 2$) significa sempre addizionare degli elementi in un tutto e l'oggetto dell'azione, che sembra scomparso nella matematica pura, in realtà è sempre presente nella forma di 'oggetto qualsiasi'.

La reversibilità pone un problema altrettanto complesso. Si potrebbe pensare che il bambino, riunendo due collezioni A e A' in un tutto B ($A + A' = B$), compia un'azione già reversibile, dato che può sempre riottenere una delle due sottocollezioni, per esempio A, sottraendo da B la sottocollezione complementare ($B - A' = A$). In effetti siamo in presenza di un inizio di reversibilità, ma si tratta di una reversibilità ancora assai incompleta, in quanto il bambino, concentrando la propria attenzione sulla sottocollezione A, dimentica il tutto B e quindi non è in grado di individuare la relazione fra la parte A e il tutto B. Questa osservazione sembra artificiosa, ma l'esperimento seguente mostra che non lo è. Si danno a un bambino di 5 o 6 anni alcuni disegni di fiori, per esempio 7 primule, 2 rose e 1 garofano e gli si chiede: "Tutte le primule sono fiori?"; risposta: "Sì, certo." - "Tutti questi fiori sono primule?" - "No, ci sono anche due rose e un garofano." - "Allora, in questo mazzo, ci sono più primule o più fiori?" In generale il bambino risponde: "Più primule, perché ci sono solo tre fiori." - "Ma se togliamo i fiori, restano le primule?" - "No, anche le primule sono fiori." - "Allora ci sono più fiori o più primule?" - "Più primule, perché ci sono solo tre fiori." ecc. In altri termini, il bambino può benissimo pensare al tutto, 'tutti i fiori', e a una parte, 'le primule'. Ma quando pensa a una parte, A, distrugge il tutto B e non gli resta che l'altra parte, A': allora risponde $A > A'$ quando gli si chiede se $A < B$ o $B > A$, in quanto il tutto B per lui non esiste più, avendolo spezzato mentalmente. Per capire la relazione $A < B$ occorre conservare il tutto e pensare reversibilmente: $A + A' = B$, quindi $A = B - A'$, quindi $A < B$. Questa mancanza di reversibilità spiega le non conservazioni di cui abbiamo parlato prima. Quando il bambino versa l'acqua da una brocca X in una brocca più stretta Y e dice che in Y l'acqua è di più perché raggiunge un livello più alto, trascura il fatto che, se la colonna d'acqua è più alta, nello stesso tempo è anche più stretta e non pensa che, se a un tutto si aggiunge una quantità Q in altezza e si toglie la stessa quantità Q in spessore, si ha $+Q - Q = 0$, cioè non cambia niente. Questo è proprio quanto dice il bambino di 7-8 anni quando perviene al concetto di conservazione: "È più alta, ma è più stretta, quindi è la stessa".

Per passare dall'azione all'operazione è quindi necessario che l'azione diventi reversibile, il che avviene quando il bambino non ragiona più per azioni particolari e isolate, quali 'versare', 'aggiungere', ecc., ma il suo ragionamento si fonda su coordinazioni generali delle azioni. Abbiamo già visto (v. § b, punto 5) che, sin dal livello senso-motorio, le azioni si coordinano tra loro in diverse forme generali: riunione, seriazione, corrispondenza, ecc.; solo nella misura in cui queste coordinazioni generali si applicano anche alle azioni interiorizzate particolari, queste ultime diventano reversibili. Più precisamente, ogni coordinazione di azioni come d'altronde ogni coordinazione biologica, tende a equilibrarsi attraverso un gioco di regolazioni e di autoregolazioni. Ora, un equilibrio per autoregolazione si realizza grazie a meccanismi di compensazione che effettuano correzioni retroattive e anticipatrici e presentano quindi una reversibilità approssimata; questa reversibilità, nel caso delle azioni interiorizzate, può diventare completa grazie a una regolamentazione intenzionale del pensiero, dopo che le azioni si sono coordinate in riunioni, seriazioni, corrispondenze, ecc.

Ma le operazioni non sono soltanto azioni interiorizzate e reversibili. Per loro stessa natura, sono anche raggruppate in strutture d'insieme, poiché sono invertibili (e l'inversa di un'operazione è a sua volta un'operazione dello stesso tipo) e componibili a due a due indefinitamente, dato che il risultato della composizione di due operazioni di un certo tipo è a sua volta un'operazione dello stesso tipo. Le classificazioni sono un primo esempio di strutture d'insieme operatorie: fin da quando il bambino può riunire due classi nella forma $A + A' = B$, può continuare ($B + B' = C$, $C + C' = D$, ecc.) e costruire così una classificazione. Dal punto di vista psicologico, infatti, una classe è sempre solidale con una classificazione, dato che non esistono classi isolate e non appena una classe è costruita si contrappone ad altre classi e implica quindi la costruzione di una classificazione. Analogamente una relazione d'ordine, $A < B$, non esiste allo stato isolato e comporta la seriazione di altre relazioni simili, $B < C$, $C < D$, ecc.; così un numero non esiste allo stato isolato, ma partecipa della serie operatoria dei numeri 'naturali', una relazione di parentela fa parte, allo stesso modo, di un albero genealogico, ecc.

Due classificazioni formano una tavola di moltiplicazione o matrice a doppia entrata, due seriazioni possono essere messe in corrispondenza, ecc. Insomma, non appena si hanno operazioni reversibili, si costituiscono strutture di insieme dotate di proprie leggi di totalità in quanto strutture e sistemi. Ma queste strutture non sono un punto di partenza a priori, che caratterizza una volta per tutte il pensiero del soggetto: esse sono il punto di arrivo di una successione ininterrotta di azioni sugli oggetti, che alla fine si coordinano in operazioni reversibili; e 'alla fine' significa semplicemente 'a un certo livello di sviluppo', che a sua volta è seguito da una serie di livelli più avanzati nell'ambito di un processo dialettico privo di un termine ultimo.

f) L'esperienza fisica e l'esperienza logico-matematica

Se questo è il modo in cui le operazioni mentali derivano dall'azione sugli oggetti e se ogni azione sull'oggetto nasce da una indissolubile interazione $S \leftrightarrow O$ tra un soggetto S che agisce e oggetti O che reagiscono, resta da capire come si costituiscano due tipi di conoscenze che presentano alcune notevoli differenze fra loro: le conoscenze fisiche, da una parte, cioè quelle che concernono le proprietà dei particolari oggetti, e le conoscenze matematiche o logiche, dall'altra, che riguardano sempre gli oggetti, ma oggetti generali 'qualsiasi', e che, a partire da un certo livello, procedono per via semplicemente deduttiva, senza più richiedere un controllo sperimentale.

1. È stato spesso sostenuto - e la scuola anglosassone del positivismo logico ancora lo sostiene - che solo le conoscenze fisiche derivano dall'esperienza, mentre le strutture logico-matematiche costituirebbero un puro meccanismo deduttivo o un semplice linguaggio atto a descrivere le esperienze, ma senza provenire da esse. Una tesi siffatta ci pare inesatta, storicamente e psicologicamente, in quanto, come abbiamo già ripetuto più

volte, le operazioni logiche e matematiche derivano dall'azione e, come le esperienze fisiche, si fondano, almeno nelle fasi iniziali, su veri e propri esperimenti.

Dal punto di vista storico sappiamo benissimo che, prima della matematica assiomatica dei Greci, è esistita, in Egitto e altrove, una matematica empirica applicata all'agrimensura, all'astronomia, ecc. È quindi esistito uno stadio in cui, prima di dar luogo a una costruzione deduttiva, la matematica è stata tratta dall'esperienza: anche in questo caso, come spesso accade, la tecnica ha preceduto la scienza e l'azione materiale le operazioni intellettuali.

Nel campo della psicologia infantile è peraltro perfettamente evidente che, ai livelli preoperatori, ai quali la deduzione non è ancora possibile in forma regolata, e all'inizio degli stessi livelli operatori, il bambino scopre, attraverso l'esperienza, delle verità logiche e matematiche che non sa ancora dedurre. Un primo esempio è quello della transitività: quando il bambino di 7-8 anni saprà costruire una serie applicando un metodo operativo per mettere in ordine di lunghezza una decina di righelli di lunghezza variabile dai 10 ai 14,5 cm, sarà in grado di dedurre $A < C$ da $A < B$ e $B < C$; infatti la sua costruzione operativa consiste nel cercare innanzitutto il righello più piccolo, poi il più piccolo di quelli che restano, ecc., quindi egli sa in anticipo che un elemento (E) è contemporaneamente più grande dei precedenti ($E > D, C, B, A$) e più piccolo dei successivi ($E < F, G, \text{ecc.}$); questa reversibilità che porta alla seriazione sistematica implica allora l'immediata comprensione della transitività. Ma prima di procedere in questa maniera operativa, il bambino costruisce la sua serie a tentoni: stabilisce $B < E$, poi $B < C < E$, poi $A < B$, ecc., senza sistematicità, non sapendo coordinare anticipatamente le sue azioni. In questo caso, se gli si mostrano due righelli, $A < B$, e poi si nasconde A, pur constatando $B < C$, non può dedurre $A < C$ e ha bisogno di confrontare direttamente A e C per stabilire quale dei due sia più lungo: l'esperienza è quindi ancora necessaria per verificare una verità logica (la transitività)! Analogamente, in aritmetica, una commutatività come $2 + 3 = 3 + 2$ non è affatto evidente, ai livelli preoperatori, prima della verifica sperimentale sugli oggetti. D'altra parte tutto l'insegnamento concreto dell'aritmetica portato avanti attraverso un calcolo su oggetti mostra a sufficienza la necessità di continue verifiche sperimentali prima che il calcolo diventi deduttivo. Peraltro a tutti i livelli di insegnamento e anche di creatività matematica la verifica su esempi concreti è necessaria prima di giungere a dimostrazioni generali e astratte, e ciò che i matematici chiamano 'intuizione' (che non dimostra niente ma porta alla scoperta) è un residuo di queste attività concrete di verifica.

Tutto ciò non toglie che, nel corso del suo sviluppo, la matematica raggiunga un livello puramente deduttivo al quale la verifica sperimentale diventa inutile, perchè basta la dimostrazione, e in alcuni casi impossibile, dato che l'esperienza è finita e non estrapolabile all'infinito. Questa liberazione dall'esperienza pone quindi un problema: resta da spiegare se le operazioni matematiche derivino dall'azione o dalle coordinazioni generali delle azioni. Ma per discutere un problema siffatto occorre innanzitutto impostarlo bene. Dire che il

ragionamento operatorio proprio della matematica non ha più bisogno, a partire da un certo livello d'astrazione, della verifica sperimentale non significa nè che la matematica contraddica l'esperienza nè che perda ogni contatto con l'oggetto. Anzi, uno dei fatti più sorprendenti della storia della scienza è che spesso i matematici costruiscono strutture senza pensare all'esperienza e queste strutture si applicano all'esperienza fisica in un secondo momento, talvolta molto più tardi. Un caso celebre è quello delle geometrie non euclidee, che sono state elaborate per amore di generalizzazione astratta e sono servite in seguito a inquadrare molti fenomeni fisici. La fisica nucleare contemporanea utilizza continuamente 'operatori' costruiti dai matematici molto prima che si presentasse la possibilità di una loro applicazione, ecc.

Bisogna quindi dire che ogni fenomeno fisico è matematizzabile, ma che la matematica oltrepassa l'esperienza fisica, sia perché spesso la precede, sia perché raggiunge un grado più elevato di generalizzazione astratta. Tra le operazioni logico-matematiche e l'oggetto fisico esiste dunque un rapporto, ma non si tratta di un rapporto diretto; questo fatto solleva un difficile problema psicologico.

2. Il problema apparentemente si complica, in realtà si precisa, quando si aggiunge la considerazione che nel corso della storia e nel corso dello sviluppo del bambino stesso le operazioni logico-matematiche danno luogo a conoscenze propriamente dette assai prima che le conoscenze fisiche raggiungano lo stesso grado di precisione.

I Greci hanno fondato la logica e la matematica ma non la fisica sperimentale, salvo qualche rara eccezione nel campo della statica (la statica di Archimede); si sono dedicati all'astronomia, ma la fisica di Aristotele è rimasta a un livello molto basso rispetto alla sua logica o alla matematica del tempo. È stato necessario attendere Galileo e il sec. XVII per avere una teoria del moto inerziale e disporre di una fisica propriamente sperimentale e non solo grossolanamente empirica.

Una delle ragioni di questo fatto è che, nell'ambito logico-matematico, le operazioni più comuni, per esempio la composizione additiva, la concatenazione seriale (la nozione di ordine), le corrispondenze, ecc., sono anche le più semplici. In campo fisico, invece, i fenomeni più evidenti sono i più complessi e per poterli descrivere occorre innanzitutto dissociarne i fattori: per esempio, è impossibile scrivere in dettaglio l'equazione della caduta di una foglia e il genio di Galileo è consistito, più di venti secoli dopo la nascita della matematica deduttiva, nel dissociare i fattori quanto bastava per fare del tempo orientato una variabile indipendente e ottenere così un moto semplice.

Inhelder ha fatto una serie di esperimenti circa l'induzione di leggi fisiche elementari nel bambino; ne abbiamo quindi pubblicato insieme i risultati, sforzandoci di analizzarli dal punto di vista delle operazioni logiche in gioco. Questa ricerca ha messo in evidenza un fatto di portata generale: la difficoltà che il bambino e anche il preadolescente incontrano a dissociare i fattori; ciò si spiega in quanto la dissociazione dei fattori

presuppone una combinatoria, cioè operazioni logiche appartenenti a un livello superiore rispetto a quello delle semplici classificazioni, seriazioni, corrispondenze, ecc.

Uno degli esperimenti consisteva, per esempio, nel dare ai bambini una serie di aste più o meno flessibili e nel chiedere loro: a) di individuare i fattori di maggiore o minore flessibilità (la lunghezza, lo spessore, la forma della sezione dell'asta, il materiale di cui era fatta); b) di dimostrare il ruolo dei fattori chiamati in causa. I bambini arrivavano abbastanza facilmente a scoprire i fattori, e alcuni di essi, ma solo verso i 14-15 anni riuscivano a fornire una prova sistematica: far variare un solo fattore per volta neutralizzando gli altri col lasciarli invariati. Un bambino di 9 o 10 anni, per esempio, scopre rapidamente che la lunghezza dell'asta influisce sulla sua flessibilità, ma quando gli si chiede di dimostrarlo prende un'asta lunga e sottile e un'altra corta e grossa; se gli si chiede perché, risponde: "Per far vedere meglio la differenza", senza sospettare che la sua scelta non può dimostrare niente.

In altri termini, i bambini piccoli passano direttamente all'azione, poi classificano, costruiscono serie, corrispondenze, ecc., ma in forma globale, senza cercare di analizzare i fattori. I bambini più grandi, dopo qualche tentennamento, fanno una lista di ipotesi e studiano i fattori l'uno dopo l'altro, poi a due per volta, a tre per volta, ecc. (in alcune esperienze è indispensabile procedere in questo modo). Inoltre, essi non usano soltanto le operazioni elementari o 'concrete' (classificare, mettere in relazione, enumerare), ma anche le operazioni della logica degli enunciati (implicazione, disgiunzione, congiunzione, incompatibilità, ecc.), che presuppongono anch'esse una combinatoria; per dissociare i fattori occorre quindi disporre di due combinatorie, una per le idee o gli enunciati e l'altra per i fatti o le osservazioni particolari.

Si vede quindi che il bambino, pur riuscendo fin dai 7-8 anni a manipolare deduttivamente le operazioni logicomatematiche elementari, non diventa capace di programmare un esperimento prima dei 14-15 anni; questo scarto fa pensare ai secoli che separano l'aritmetica di Pitagora o gli Elementi di Euclide dalla fisica di Galileo o di Cartesio.

3. I diversi dati presi in considerazione (punti 1 e 2) sembrano quindi indicare che l'esperienza è necessaria tanto alla formazione delle strutture logico-matematiche quanto a quella delle conoscenze fisiche e tuttavia esiste una certa differenza fra esperienze fisiche ed esperienze logico-matematiche. L'esperienza fisica consiste - lo abbiamo appena visto - nell'agire sull'oggetto modificandolo in maniera da scoprirne le singole proprietà specifiche per astrazione dall'insieme di tutte le sue proprietà; in questo modo appunto il bambino scopre che un'asta è più flessibile di un'altra, che esiste una relazione fra la lunghezza e la flessibilità di un'asta, ecc.

Esaminiamo ora un'esperienza di tipo logico-matematico, per esempio quella che porta alla scoperta del fatto che la cardinalità (numero degli elementi) di un insieme è indipendente dall'ordine in cui vengono presi i suoi elementi. Un grande matematico mi ha raccontato di avere scoperto con meraviglia questa proprietà da

bambino; contando una decina di sassi allineati, egli ebbe l'idea di contarli partendo dall'ultimo e poi di ricontarli dopo averli disposti in cerchio, ecc.; il fatto di trovare sempre 10 lo riempì di entusiasmo. In che cosa consiste un'esperienza siffatta? Consiste ancora, naturalmente, nell'agire sugli oggetti (metterli in fila, in cerchio, ecc.) e nello scoprire tramite gli oggetti i risultati delle azioni compiute (10 da sinistra a destra = 10 da destra a sinistra, ecc.). La differenza tra l'esperienza fisica e l'esperienza logico-matematica sta nel fatto che le proprietà scoperte in seguito all'azione sull'oggetto appartenevano già all'oggetto nel caso dell'esperienza fisica, mentre sono state introdotte o aggiunte dall'azione nel caso dell'esperienza logico-matematica; mentre infatti l'asta è già flessibile prima che il bambino la pieghi, l'ordine lineare o ciclico non esiste prima che il bambino ordini i sassi. Quanto al numero dei sassi, essi sono esattamente 10, e non 9 o 11, già prima di venire ordinati, ma ciò significa soltanto che sono enumerabili; per attribuire loro il numero 10 occorre metterli in corrispondenza con i nomi dei numeri (1, 2, 3, ..., 10) o con le dita, ecc., dal momento che il numero non è una proprietà intrinseca, ma scaturisce da un confronto. Quel che il soggetto scopre, nel caso dell'esperienza logico-matematica presa in esame, è che il risultato dell'azione di contare cardinalmente è indipendente dall'azione di ordinare. L'esperienza logico-matematica consiste quindi nell'astrarre, dopo aver agito sull'oggetto, le proprietà delle azioni compiute sull'oggetto e non proprietà intrinseche dell'oggetto messe in evidenza dalle azioni ma indipendenti da esse. Si capisce così come il pensiero matematico possa diventare puramente deduttivo: basta che, anziché procedere empiricamente sui sassi, il soggetto cominci ad applicare le stesse operazioni a oggetti qualsiasi, simbolicamente rappresentati dai segni 1, 2, 3, ... o x, y, z, ..., ecc. In campo fisico, invece, se sostituiamo l'asta flessibile con un oggetto qualsiasi, rischiamo di non dire più nulla di vero.

4. L'interpretazione appena illustrata dell'esperienza logico-matematica ha sollevato numerose obiezioni: si è cercato di attenuare o eliminare completamente la differenza fra quel tipo di esperienza e l'esperienza fisica. Io ritengo però che tali obiezioni siano dovute a malintesi che è possibile dissipare con le osservazioni seguenti. A. I due tipi di esperienza, quella fisica e quella logicomatematica, sono di fatto indissociabili: all'esperienza logico-matematica precedentemente illustrata - consistente nell'ordinare e contare 10 sassi - si associa, infatti, un'esperienza fisica, dato che i sassi si possono ordinare e contare in virtù del fatto che si conservano e non si fondono fra loro come gocce d'acqua, ecc.; questo è l'aspetto fisico dell'esperienza, indissociabile dall'aspetto logico-matematico. Viceversa, le azioni che intervengono nel corso di un'esperienza fisica sono sempre indissociabili dalle relative coordinazioni generali di natura logico-matematica (riunione, seriazione, corrispondenza, ecc.). L'esperienza logico-matematica e quella fisica sono quindi, in realtà, due poli ovvero due versanti di un'unica attività integrata; questo è naturale, dal momento che anche il rapporto tra soggetto e oggetto ($S \rightleftharpoons O$) è indissolubile: il polo fisico corrisponde quindi alla freccia \overleftarrow{A} e quello logico-matematico alla freccia \rightarrow , in proporzioni diverse secondo le situazioni.

B. D'altra parte, e soprattutto, ricondurre le azioni logico-matematiche alle azioni del soggetto non significa trascurare la realtà fisica, ma ritrovarla all'interno dell'organismo. Le coordinazioni generali delle azioni sono infatti legate alle coordinazioni nervose ed è noto che Mc Culloch e Pitts hanno rinvenuto, nei diversi tipi di legami neuronici o sinaptici, strutture isomorfe a quella della logica proposizionale. Le coordinazioni nervose dipendono a loro volta dalle coordinazioni organiche in generale, che sono di natura fisico-chimica. Il problema di sapere come mai la matematica si adatti alla realtà fisica, pur non essendo astratta dall'esperienza fisica, ma dalle coordinazioni generali delle azioni, potrà quindi ricevere una risposta in termini biologici: più che la psicologia infantile sarà la biologia della variazione e dell'evoluzione a fornire i dati riguardanti le fondamenta ultime della nostra attività cognitiva. Ciò naturalmente non significa che la matematica e la logica siano iscritte a priori nell'organismo, ma che le azioni e le operazioni attraverso le quali si costruiscono non sono arbitrarie, bensì traggono le proprie leggi da quelle di un organismo che è oggetto tra gli altri, pur costituendo il soggetto.

4. Lo sviluppo della causalità

Le analisi precedenti mostrano che le strutture mentali implicano una costruzione molto più laboriosa e complessa di quanto si immagini, il che esclude che esse risultino da una semplice programmazione innata, benché la maturazione del sistema nervoso predeterminata geneticamente svolga naturalmente un ruolo necessario nel funzionamento dell'apparato mentale (ma non nella sua strutturazione). D'altro canto, l'analisi dei rapporti fra gli aspetti figurativi e quelli operativi del pensiero dimostra a sufficienza che le strutture cognitive non si impongono dall'esterno attraverso la percezione degli oggetti e che le attività del soggetto creano continuamente nuove situazioni e arricchiscono la realtà di nuove forme logico-matematiche che ne consentono l'assimilazione e la rendono intelligibile. Ma se questa concezione costruttivistica dello sviluppo mentale è relativamente ovvia per quel che riguarda il campo logico-matematico, che dipende strettamente dal soggetto, come giustificarla nel caso della strutturazione della causalità fisica, che sembra imposta dall'esperienza e dalla natura degli oggetti? Nelle pagine seguenti cercheremo di mostrare come anche la nozione di causalità sia necessariamente legata alle operazioni del soggetto e ai loro due caratteri fondamentali: la produzione di strutture e la conservazione di grandezze. L'unica differenza, rispetto alle nozioni logico-matematiche, consiste in questo: nel caso della causalità, dal momento che si tratta di spiegare i rapporti tra gli oggetti, e non semplici nessi concettuali, le operazioni deduttive sono 'attribuite', per così dire, agli oggetti stessi, i quali vengono concepiti come una specie di operatori e solo in quest'ottica diventano comprensibili, fase per fase, ai diversi livelli dello sviluppo mentale. Per giustificare questa concezione psicogenetica è utile, innanzitutto, ricordare le tre possibili teorie concernenti la causalità, di cui le prime due,

malgrado siano state fatte passare per genetiche, non sembrano confermate dai fatti, mentre la terza, apparentemente meno psicologica, risulta più adatta a render conto delle osservazioni e dei risultati sperimentali (v. § a). Passeremo poi ad analizzare lo sviluppo della causalità partendo dal livello senso-motorio (v. § b) per giungere ai livelli rappresentativi e operatori (v. § c).

a) Le teorie della causalità

Tutte le ipotesi che sono state fatte a proposito della causalità si possono ricondurre a tre sole ipotesi generali. La prima è quella di Hume, secondo cui la relazione causale si riduce a una successione regolare, senza che vi sia, oggettivamente, alcuna trasmissione (di energia, ecc.) o un'effettiva produzione (di un effetto da parte di una causa). Quando una palla da biliardo ne urta un'altra, il soggetto - secondo Hume -, dapprima percepisce una semplice 'congiunzione' senza 'connessione'; solo dopo aver assistito ripetutamente al verificarsi del fenomeno, l'osservatore, per associazione di idee, ricaverebbe l'impressione di un nesso causale necessario. Per Hume, quindi, la necessità del legame causale resta soggettiva e ogni evento può provocarne un altro, purché i due eventi si succedano regolarmente. È ovvio che, nella sua analisi, Hume ha semplicemente dimenticato il giocatore e la stecca con cui muove le palle, altrimenti avrebbe forse preso in considerazione la possibilità di un passaggio oggettivo dalla causa all'effetto.

La seconda ipotesi è quella di Maine de Biran, secondo cui esisterebbe addirittura una situazione, in verità molto particolare, in cui si avrebbe la diretta percezione del passaggio dalla causa all'effetto. La situazione cui si riferisce Maine de Biran è l'azione del soggetto. In effetti, nel caso dell'azione del soggetto, c'è una causa - l'io e la sua volontà - c'è un effetto - il moto periferico del braccio, della mano, dell'oggetto spostato dalla mano - e qualcosa di simile alla percezione del passaggio dalla causa all'effetto - la sensazione dello sforzo muscolare. Quanto alla causalità fisica, sarebbe semplicemente il prodotto di un'induzione', di una generalizzazione fatta a partire dalla descritta situazione particolare. A sfavore dell'ipotesi di Maine de Biran depone il fatto che il bambino molto piccolo, l'infante, presenta già una forma di causalità (senso-motoria) in un'epoca in cui ancora non è capace di distinguere il mondo interno dal mondo esterno, l'io dagli oggetti, e in cui non possiede neppure la nozione di oggetto permanente. D'altra parte, il senso dello sforzo, come ha mostrato James con una celebre analisi e poi P. Janet e molti altri, non è una sensazione centrifuga, non muove dall'io e dal centro verso gli oggetti, ma muove dalla periferia e, come ha dimostrato Janet, non corrisponde al passaggio di una forza, ma soltanto a una regolazione delle forze in gioco.

È allora possibile una terza ipotesi, che consiste nell'ammettere l'esistenza di un nesso causale - contrariamente a Hume -, ma non percepibile direttamente, come vorrebbe Maine de Biran, bensì ricostituito a ogni nuova esperienza e introdotto nella realtà dall'intelligenza. Questa è l'ipotesi del razionalismo: la troviamo in Cartesio (causa seu ratio), in Leibniz, quando afferma che la relazione di causa ed effetto lega gli oggetti

come la relazione di ragione lega le verità, in Kant e, malgrado le loro divergenze, in Brunschvicg, in Meyerson, nei neokantiani (Cohen), ecc.

Nel complesso esistono quindi tre possibilità: assenza di nesso causale, di un passaggio dalla causa all'effetto; percezione diretta di un'obiettiva trasmissione (di energia, ecc.) dalla causa all'effetto; ricostituzione, a ogni nuova esperienza, di un nesso causale ad opera dell'intelligenza; quest'ultima ipotesi è motivata dalla considerazione che la causalità è di natura inferenziale.

Apparentemente esiste una quarta possibilità: che il concetto di causalità possa derivare dall'osservazione. I noti esperimenti di Michotte sulla percezione visiva della causalità sembrano puntare in questa direzione. Quando un oggetto ne urta un altro, come i quadrati o i rettangoli usati da Michotte nei suoi esperimenti, si ha un'impressione di causalità, indubbiamente di origine visiva, in quanto è subordinata a determinate condizioni di spazio, di velocità, di tempo (se il secondo oggetto non si muove appena viene urtato, ma dopo un po' di tempo, abbiamo l'impressione di moti indipendenti). Il grande merito di Michotte sta nell'aver mostrato che esiste una percezione della causalità così come esiste una nozione di causalità; questo peraltro è un fatto consueto in molti altri casi: esiste una nozione di velocità e una percezione della velocità, una nozione di spazio e una percezione dello spazio, una nozione di tempo e la percezione dello scorrere del tempo, ecc. Quando però tentiamo di analizzare la percezione della causalità, ritroviamo le tre ipotesi illustrate precedentemente. In primo luogo potremmo supporre che i fenomeni prodotti sperimentalmente da Michotte si riducano a successioni regolari di eventi (di moti) connessi per associazione di idee, secondo l'ipotesi di Hume; in questi termini L.-C.-H. Piéron ha interpretato la causalità percettiva visiva evidenziata da Michotte. In secondo luogo potremmo applicare l'ipotesi di Maine de Biran, tanto più che, come lo stesso Michotte ha riconosciuto, la causalità percettiva, oltre che visiva, può essere tattile. Anzi, se non ci fosse una percezione tattilo-cinestesica della causalità, concomitante con l'atto di spingere realmente un oggetto e costituita dalla sensazione del contatto con l'oggetto, dall'impressione della resistenza inerziale che l'oggetto oppone allo spostamento, ecc., non ci sarebbe neppure una causalità percettiva visiva. Quest'ultima sembra costituire quindi una traduzione in termini visivi di quella causalità percettiva fondamentale che è la causalità tattilo-cinestesica. Ma l'ipotesi di Maine de Biran non regge a un'analisi psicologica più approfondita della percezione della causalità. Michotte ha infatti mostrato che si ha percezione della causalità anche quando l'oggetto attivo non tocca l'oggetto passivo, quando cioè la distanza tra i due non si annulla. Michotte ha allora cercato di individuare una grandezza percepibile passante dal primo al secondo oggetto, qualcosa di simile al 'moto ϕ ' dei gestaltisti, un moto senza mobile, senza supporto, una sorta di flusso paragonabile al vento che passa attraverso l'erba e la muove; ma ha dovuto constatare che fra i due oggetti non passava assolutamente nulla. In che cosa consiste allora la percezione della causalità rilevata da Michotte? Non si tratta della percezione di un passaggio, bensì della percezione di una risultante. Una volta che siano soddisfatte

determinate condizioni (di spazio, di tempo, di velocità, ecc.), vediamo - se così posso esprimermi - che qualcosa è passato, ma non vediamo passare niente, vediamo la risultante dei fenomeni in gioco.

L'impressione di causalità che ne ricaviamo scaturisce quindi da una composizione percettiva e non è il frutto di una percezione semplice e diretta; si tratta di una composizione non già tra inferenze concettuali, ma tra regolazioni o 'preinferenze' percettive. È di questa composizione che percepiamo la risultante, senza percepire il passaggio in se stesso. È noto che Helmholtz ha parlato di inferenze percettive e con ragione, dato che nella percezione, come in ogni meccanismo senso-motorio, possono intervenire delle preinferenze; anche a questo livello abbiamo quindi a che fare con qualcosa che non può essere direttamente osservato, ma che comporta una ricostruzione. Ricadiamo così nell'ipotesi razionalistica; possiamo quindi concludere dicendo che esistono solo tre forme di interpretazione della causalità e anche nel caso della percezione della causalità siamo costretti a scegliere tra l'associazione estrinseca, il passaggio percepibile e la ricostruzione, la composizione preinferenziale.

b) La causalità senso-motoria

Prendiamo le mosse da una serie di vecchie osservazioni, condotte in modo particolarmente dettagliato, concernenti le prime forme di causalità, riscontrabili nel comportamento del bambino fin dall'età di 4-5 mesi. Il bambino giace in una culla al cui tetto sono fissati dei giocattoli che egli può azionare tirando uno spago sospeso sopra di lui; i giocattoli, muovendosi, producono rumore. La prima volta il bambino tira lo spago per caso, i giocattoli si muovono e fanno rumore: immediatamente interessato, il bambino ricomincia a tirare lo spago, questa volta intenzionalmente. Il giorno dopo nessun giocattolo è fissato al tetto della culla, mentre lo spago è al suo solito posto. Si appende un nuovo giocattolo sotto gli occhi del bambino, che, immediatamente, cerca lo spago e lo tira guardando il giocattolo. Esiste quindi, evidentemente, una connessione causale; i controlli seguenti sono perciò molto istruttivi. Anziché sospendere il giocattolo al tetto della culla, lo si appende a una specie di canna da pesca e lo si fa oscillare a una distanza di 1-2 metri dal bambino. Appena l'oscillazione ha termine, il bambino tira lo spago guardando il giocattolo. In altri termini, il rapporto causale è ancora indipendente da ogni contatto fra gli oggetti, dato che il bambino cerca di applicare lo stesso procedimento anche per muovere un oggetto distante uno o due metri. Per poter trarre delle conclusioni generali da queste osservazioni, si cambiano le condizioni sperimentali: lo sperimentatore si nasconde dietro un paravento posto in un angolo della stanza; da lì, usando un fischietto per non farsi riconoscere, emette dei brevi fischi. Appena i fischi cessano il bambino cerca con gli occhi lo spago e lo tira.

Quale delle tre ipotesi precedentemente illustrate spiega meglio questi fatti? Dapprima pare sia quella di Hume: qualunque cosa può produrre qualunque altra cosa, purché gli eventi si presentino in successione regolare. D'altra parte solo l'azione del soggetto (nella fattispecie, l'azione di tirare lo spago) genera

l'impressione di causalità, dato che a 4-5 mesi di età l'azione di un oggetto su un altro oggetto non basta ancora a produrre una connessione causale. Questo fatto depone, quindi, a favore dell'ipotesi di Maine de Biran. Così, in sostanza, né l'ipotesi di Hume né quella di Maine de Biran, troppo parziali e incomplete, forniscono una spiegazione soddisfacente della causalità. Per ottenere una spiegazione esauriente è necessario osservare come il bambino reagisce crescendo. Nel periodo che va dai 4-5 mesi alla conclusione della fase senso-motoria si assiste a una complessa evoluzione della percezione della causalità, in una duplice direzione: 1) verso un'oggettivazione: il bambino arriva a capire che un oggetto può agire su un altro indipendentemente dall'azione del soggetto; si ha quindi un decentramento rispetto all'azione del soggetto; 2) verso una spazializzazione: solo un contatto fra causa ed effetto produce l'impressione di causalità. Questa evoluzione avviene in concomitanza con l'elaborazione della nozione di oggetto permanente e con la strutturazione dello spazio (tramite la coordinazione delle posizioni, degli spostamenti, ecc.). Di pari passo con la costituzione del gruppo degli spostamenti, che va organizzandosi, sia pure in forma empirica e non ancora concettuale, durante la fase senso-motoria, si costruiscono anche le successioni temporali, che all'inizio sono molto mal registrate. Da quanto precede risulta, in conclusione, che la causalità senso-motoria è legata all'intelligenza del bambino nel suo complesso e non è il prodotto di eventi osservabili, di esperienze dirette. Pertanto, fin da questa fase, l'ipotesi più adatta a render conto della causalità sembra essere quella razionalistica.

c) La causalità operatoria

Passiamo ora ad analizzare la causalità al livello del pensiero, delle rappresentazioni e delle operazioni mentali. In questo campo abbiamo condotto, negli ultimi anni, una lunghissima serie di esperimenti, coadiuvati anche da alcuni fisici. Quel che abbiamo scoperto sembra confermare, in linea generale, l'ipotesi razionalistica più che quella di Hume o quella di Maine de Biran. Ciò dipende dal fatto che l'evoluzione del concetto di causalità avviene in concomitanza e in stretta corrispondenza con quello delle operazioni logico-matematiche, di cui il bambino diventa padrone via via che cresce. Questa evoluzione parallela ha un profondo significato psicologico, tanto che, prima di passare a presentare, a titolo esemplificativo, alcuni degli esperimenti di cui sopra, è opportuno rilevare le analogie e i rapporti intercorrenti fra le operazioni logico-matematiche e la nozione di causalità. Sia le operazioni logico-matematiche sia la nozione di causalità presuppongono e implicano trasformazioni accompagnate da conservazioni. Le operazioni logico-matematiche, infatti, si formano allorché il soggetto giunge a concepire la conservazione di invarianti nel corso delle trasformazioni prodotte dalle azioni. Analogamente il rapporto causale implica una trasformazione della realtà, la produzione di un effetto da parte di una causa; non si tratta però di una trasformazione totale, radicale: ciò che si trasmette dalla causa all'effetto, e su cui si fonda concettualmente il nesso causale, si conserva. Anche il passaggio dalla causa all'effetto, che viene costruito per via inferenziale e non osservato

direttamente, implica quindi una conservazione attraverso la trasformazione. Data la natura inferenziale del nesso causale, la nozione stessa di causalità è influenzata direttamente dalle operazioni logico-matematiche: tutti gli studi effettuati hanno confermato l'esistenza di un legame diretto, a tutti i livelli di maturazione delle strutture cognitive, fra la nozione di causalità e le operazioni logico-matematiche. Questo legame dipende da una specifica e particolare utilizzazione delle operazioni logico-matematiche, le quali, nel caso dell'istituzione del nesso causale, non sono semplicemente applicate agli oggetti, ma sono loro addirittura attribuite. In altri termini, gli oggetti sono concepiti come operatori (in senso lato e non solo nel senso tecnico, per esempio, della meccanica quantistica) e quindi in grado di agire gli uni sugli altri secondo le stesse leggi operatorie che regolano il pensiero. Illustriamo quanto detto con alcuni esempi.

Il primo riguarda la trasmissione della quantità di moto. Si allinea su un piano una fila di biglie tutte uguali; ogni biglia tocca la successiva. Da una guida inclinata si fa scendere un'altra biglia, uguale alle precedenti, in modo che vada a urtare la prima della fila. Prima di eseguire l'esperimento i bambini piccoli credono che in conseguenza dell'urto si muoveranno tutte le biglie; dopo aver constatato che in realtà si muove solo l'ultima della fila, i bambini forniscono del fenomeno una spiegazione alquanto fantasiosa: pensano che la prima biglia abbia toccato l'ultima passando dietro alle altre. Questa spiegazione viene fornita fin verso i 4-5 anni. In un secondo stadio il bambino si rappresenta la trasmissione alla stregua di una successione di moti molari: la biglia che scende dalla guida urta la prima della fila, che si muove e urta la seconda, ecc. fino all'ultima, che si sposta. Le biglie intermedie non si spostano perché ogni biglia viene fermata dalla successiva, tranne l'ultima. A questo livello comincia a essere capita la trasmissione, però si tratta ancora di una trasmissione immediata, da ogni biglia alla successiva, basata sugli spostamenti delle singole biglie. Verso i 7-8 anni comincia un terzo stadio; il bambino dice: "la biglia che scende urta la prima della fila e le dà un impulso. Poi questo impulso viene trasmesso alla successiva e così via". Egli precisa inoltre che l'impulso attraversa le biglie. Siamo quindi all'inizio della trasmissione mediata: c'è qualcosa che passa attraverso le biglie, ma, pur cogliendo questa trasmissione mediata, il bambino non accetta ancora, ad onta di ogni verifica, l'immobilità dei mediatori.

Parliamo in questo caso di trasmissione semunterna e semiesterna; solo verso gli 11-12 anni si avrà la trasmissione interna: le biglie intermedie vengono attraversate dall'impulso restando immobili.

Il 'salto qualitativo', nella comprensione della trasmissione della quantità di moto, avviene dunque intorno ai 7 anni; in questo stesso periodo compare la transitività nell'ambito delle operazioni logico-matematiche (v. cap. 3, § f). È proprio la scoperta della transitività che permette al bambino di concepire un impulso che attraversa le biglie; secondo quanto detto all'inizio di questo paragrafo, il bambino 'attribuisce' agli oggetti la transitività (una proprietà logico-matematica): ogni biglia trasmette alla successiva il moto che riceve dalla precedente. Passiamo a un secondo esempio, la scoperta del principio di azione e reazione. In un tubo a U, chiuso a un'estremità da un pistone, si mette dell'acqua. Il bambino prevede facilmente che, aumentando la pressione

sul pistone, il livello dell'acqua nel ramo libero sale. Sostituiamo l'acqua con un liquido più pesante: una miscela di acqua e glicerina. Chiediamo allora ai bambini: "Mettendo dell'acqua 'più pesante' che cosa succede?". Per i soggetti più giovani, fin verso gli 11-12 anni, se l'acqua è 'più pesante' salirà più in alto, dato che alla pressione esercitata sul pistone si aggiungerà il peso dell'acqua. Le forze in gioco hanno ancora tutte lo stesso verso. Intorno agli 11-12 anni, appunto, si comincia a capire la reazione. Il bambino dice: "L'acqua è più pesante, resisterà di più; è più forte e se spingete con la stessa forza un'acqua più pesante, l'acqua resisterà di più e salirà meno in alto". In altri termini si ha una reazione diretta in senso inverso all'azione. Sempre a proposito del principio di azione e reazione, ecco un altro esperimento: lo sperimentatore da una parte e il bambino dalla parte opposta premono contro un blocco di plastilina una moneta saldata, al centro, a una sbarretta di metallo che funge da impugnatura. Si chiede al bambino: "Uno di noi due farà affondare di più la propria moneta o otterremo lo stesso risultato?" Tutti i bambini piccoli, fino ai 10-11 anni, rispondono: "Lei è più grande di me, è più forte, farà un buco più profondo. Io sono meno grande, quindi farò un buco meno profondo". A partire dai 10-11 anni, viceversa, si ottengono risposte che attestano la comprensione del principio di azione e reazione: "Lei è più forte di me, certo, ma quando lei spinge forte io resisto forte e quando io spingo leggermente lei resiste leggermente; allora la sua spinta e la sua resistenza sono uguali alla mia spinta e alla mia resistenza: l'una compensa l'altra". In altri termini, si ha la comprensione, molto notevole in questo caso, dell'uguaglianza fra azione e reazione. Anche la comprensione del principio di azione e reazione è resa possibile dalla maturazione delle operazioni logico-matematiche. Infatti la coordinazione di azione e reazione non presuppone semplicemente una coppia, ma una quaterna di operazioni, che corrispondono all'azione diretta (aumento della spinta), all'azione inversa (diminuzione della spinta), alla reazione diretta (aumento della resistenza) e alla reazione inversa (diminuzione della resistenza). La combinazione di inversione e reciprocità non si ha ancora al livello delle operazioni concrete; bisogna attendere che si formi il gruppo di quaternarietà delle operazioni proposizionali: ciò avviene, appunto, intorno agli 11-12 anni. Anche in questo caso ritroviamo quindi una sincronizzazione piuttosto singolare tra lo sviluppo delle operazioni e quello della nozione di causalità: operazioni divenute familiari sul piano logico-matematico vengono attribuite agli oggetti, che son visti agire gli uni sugli altri in conformità con tali operazioni.

Un ultimo esempio, concernente la distributività. In matematica la distributività si presenta nella forma di una legge algebrica pura: $n(x + y) = nx + ny$, che presuppone una combinazione di addizione e moltiplicazione e il concetto di proporzione. Sia la moltiplicazione sia, soprattutto, la proporzione (che è un'uguaglianza di rapporti) appartengono a un livello di astrazione superiore rispetto all'addizione, in quanto sono operazioni applicate ad altre operazioni; pertanto non sono comprese prima degli 11 - 12 anni. È naturale quindi che prima di quell'età neppure la distributività in matematica sia capita. In fisica, viceversa, la nozione di

distributività sembra molto più semplice: si applica ogni volta che un sistema in equilibrio è sottoposto a una perturbazione che si espande omogeneamente al suo interno. Per esempio, quando si tende un elastico, tutte le sue parti si allungano in modo omogeneo, come si osserva facilmente. Si potrebbe perciò pensare che la distributività in fisica sia capita molto tempo prima che in matematica; invece non è così: prima di poter essere 'ritrovato' nella realtà fisica, il concetto di distributività deve essere elaborato al livello delle operazioni logico-matematiche. Fin verso gli 11-12 anni, infatti, lo stiramento dell'elastico non viene affatto concepito come omogeneo; l'elastico è visto tendersi più agli estremi che al centro: i bambini confondono sistematicamente lo spostamento con lo stiramento, come risulta anche dagli esperimenti sulla conservazione delle lunghezze (v. cap. 2). Anche in questo caso, quindi, constatiamo che le operazioni logico-matematiche influiscono direttamente sulla nozione di causalità e, in generale, sulla capacità di comprendere i fenomeni fisici: una volta acquisite, le operazioni logico-matematiche vengono attribuite agli oggetti e si ottiene così una strutturazione in termini di causa ed effetto di situazioni precedentemente non strutturate. Ciò non significa che le operazioni logico-matematiche si sviluppino autonomamente: se la soluzione di problemi desunti dall'osservazione dei fenomeni fisici presuppone la messa a punto di strumenti logico-matematici, inversamente l'osservazione dei fenomeni fisici favorisce lo sviluppo delle operazioni logico-matematiche e costituisce un incentivo alla loro formazione.

In conclusione, lo sviluppo della nozione di causalità, come quello delle operazioni logico-matematiche, indica che l'evoluzione mentale si attua attraverso una continua costruzione di strutture, che pertanto non sono preformate né nel soggetto né negli oggetti. Al pari della vita organica, la vita della mente crea in continuazione forme nuove. La psicologia genetica, più di altre discipline psicologiche, si presta a evidenziare questo importante aspetto dell'evoluzione mentale. In questo senso, il suo traguardo ultimo è la ricostruzione del pensiero scientifico (epistemologia genetica), in quanto - come diceva un fisico assai acuto - l'uomo di scienza capace di inventare è colui che è riuscito, malgrado la sua cultura, a conservare il dinamismo tipico dell'intelligenza del bambino.

Psicologia del comportamento

Enciclopedia del Novecento (1980)

di James L. McGaugh

Sommario: 1. Il behaviorismo in psicologia e in biologia. 2. Le radici del behaviorismo. 3. Lo sviluppo del behaviorismo. 4. Il behaviorismo: metodo e teoria. 5. Questioni concettuali inerenti al behaviorismo. 6. Le radici biologiche del comportamento. 7. Il behaviorismo: eredità e prospettive.

1. Il behaviorismo in psicologia e in biologia

Nella sua accezione più generale il termine 'behaviorismo' si riferisce allo studio obiettivo del comportamento dell'uomo e degli altri animali. Riuscire a comprendere il comportamento è lo scopo di diverse branche delle scienze sociali e biologiche, incluse la psicologia, l'etologia, l'antropologia, la sociologia e la psichiatria.

Attualmente, nella seconda metà del XX secolo, sono pochi gli studiosi di tali discipline che sarebbero disposti a confutare l'affermazione che il comportamento è un legittimo oggetto di studio. Anzi, molti behavioristi sono convinti che sia necessario capire il comportamento, o per lo meno capire come controllarlo, se si vuole che ci sia un XXI secolo.

Il termine behaviorismo ha anche molti significati più specifici, fra i quali: 1) l'uso di metodi obiettivi nello studio del comportamento; 2) l'uso di spiegazioni teoriche del comportamento, espresse in termini comportamentistici obiettivi; 3) l'uso di tecniche behavioristiche per controllare o modificare il comportamento; 4) la concezione teorica specifica del fondatore del Behaviorismo (con la 'b' maiuscola) americano, J. B. Watson.

Questo articolo fornisce un quadro, necessariamente succinto, dello sviluppo del behaviorismo, quadro basato sul convincimento che l'autore nutre circa i vantaggi offerti da un approccio obiettivo al comportamento e, all'opposto, circa i limiti propri delle teorie mentalistiche; riassume inoltre le varietà di comportamento, i problemi suscitati dalle formulazioni behavioristiche, e discute alcuni dei più importanti sbocchi del behaviorismo contemporaneo.

2. Le radici del behaviorismo

L'aver riconosciuto il comportamento come oggetto idoneo a un'indagine scientifica è senza dubbio un fenomeno del XX secolo. La psicologia come disciplina scientifica nacque nel corso degli ultimi decenni del XIX secolo. Mentre esistevano diversi punti di vista circa gli scopi della psicologia, l'interesse degli scienziati si focalizzò sull'analisi del contenuto della mente e l'introspezione fu accettata come il metodo appropriato per analizzare i contenuti della coscienza. La scuola dello strutturalismo, che fu sviluppata da E. Titchener (allievo di W. Wundt, il fondatore della psicologia sperimentale), considerava la psicologia come lo studio dei contenuti della mente umana 'generica', normale, adulta (v. Boring, 1950). Anche la scuola americana del

funzionalismo si concentrò sull'analisi della coscienza, ma, come lo stesso nome suggerisce, questa scuola mise in rilievo le 'funzioni' della coscienza piuttosto che il suo 'contenuto'. I funzionalisti si interessavano del ruolo della coscienza nel contribuire all'adattamento degli organismi ai rispettivi ambienti. Questa prospettiva stimolò l'indagine sia sul comportamento animale, sia su quello umano, allo scopo di utilizzarne i risultati per studiare la natura della coscienza e il ruolo svolto dai processi mentali consci nel favorire l'adattamento comportamentale (Angell).

Il riconoscimento di una coscienza negli animali fu dovuto in larga misura all'influenza di Ch. Darwin. Prima della pubblicazione dei libri di Darwin (v., 1859, 1871 e 1872), la maggior parte degli studiosi condivideva il punto di vista di Cartesio secondo cui gli animali non hanno coscienza. L'accettazione della teoria darwiniana dell'evoluzione richiedeva una prova della continuità fra la mente umana e quella degli animali. Il campo della psicologia comparata fu aperto da G. Romanes proprio per ottenere prove evidenti della continuità nello sviluppo della mente. Gli scritti di Romanes (v., 1895) facevano affidamento in maniera determinante sulle descrizioni popolari del comportamento degli animali. L'uso di aneddoti per valutare il comportamento animale è, ovviamente, discutibile, dato che osservatori inesperti verosimilmente non distinguono i fatti dall'interpretazione. Tali sforzi, se da una parte non procurarono i risultati necessari per dimostrare l'evoluzione della mente, tuttavia promossero lo sviluppo di osservazioni e studi sperimentali sul comportamento animale, sia in biologia che in psicologia.

In reazione agli eccessi delle interpretazioni antropomorfe del comportamento animale, derivanti dall'uso del metodo aneddótico da parte di Romanes, C. L. Morgan fece appello alla 'legge della parsimonia' nell'interpretazione del comportamento animale. In quello che è conosciuto come 'canone di Lloyd Morgan' egli propone che "in nessun caso sia lecito interpretare un'azione come manifestazione di una facoltà psichica superiore, se c'è la possibilità di interpretarla come risultato dell'attività di una facoltà posta a un livello inferiore nella scala psicologica" (v. Morgan, 1894). Il 'canone' non eliminava le interpretazioni mentalistiche del comportamento animale; si limitava semplicemente a sollecitare una certa cautela nella valutazione delle capacità mentali di animali infraumani. Tuttavia, senza alcun dubbio, le argomentazioni di Morgan influenzarono i successivi tentativi di eliminare tutte le interpretazioni mentalistiche del comportamento animale.

La mancanza di una definizione della coscienza rappresentava (e rappresenta tuttora) un serio limite delle teorie mentalistiche. Come si può interpretare il comportamento in termini di coscienza, e come si può affermare o negare l'esistenza di una coscienza animale se non si è in grado di definire la coscienza stessa? Un modo per affrontare il problema è cercare di dare definizioni obiettive della coscienza (un tentativo che si cerca tutt'oggi di realizzare). J. Loeb, per esempio, propose di considerare la memoria associativa come criterio per stabilire la presenza della coscienza (v. Loeb, 1918). Comunque, seguendo Morgan, la necessità di

dare interpretazioni mentalistiche del comportamento fu posta seriamente in dubbio. Loeb propose una teoria tropistica del comportamento animale, che dava importanza particolare ai movimenti e si fondava su interpretazioni meccanicistiche del comportamento. Nella teoria di Loeb, la coscienza, comunque definita, non era necessaria per la spiegazione del comportamento. Questa visione obiettiva, meccanicistica del comportamento culminò nello scritto di Beer, Bethe e von Uexküll (v., 1899), in cui questi autori avanzarono l'ipotesi che si potessero sostituire tutti i concetti del mentalismo con termini obiettivi. Il termine 'ricezione', per esempio, fu adottato al posto di sensazione. Benché altri biologi dell'epoca, come H. S. Jennings, sostenessero che persino il comportamento degli organismi più semplici era troppo complicato per poter essere spiegato col tipo di teoria meccanicistica proposto da Loeb, tuttavia le concezioni obiettive e meccanicistiche del comportamento stavano evidentemente affermandosi (v. Jennings, 1906).

In conclusione, alla fine del XIX secolo fu messa in serio dubbio l'utilità delle indagini sulla coscienza. Il diffondersi della consapevolezza dei limiti insiti nelle teorie mentalistiche e, contemporaneamente, dei vantaggi offerti da un approccio obiettivo al comportamento, portò allo sviluppo del behaviorismo, fra la fine del secolo scorso e gli inizi del secolo attuale.

3. Lo sviluppo del behaviorismo

Il behaviorismo si sviluppò per parecchie ragioni e, di conseguenza, in diverse forme. Gli sviluppi più importanti furono quelli avviati da I. P. Pavlov in Russia e da E. L. Thorndike e J. B. Watson negli Stati Uniti. La maggior parte degli sviluppi successivi della teoria behavioristica prese le mosse direttamente dalle importanti ricerche di questi pionieri. Inoltre, molte, se non la maggior parte, delle più importanti controversie teoriche sorte nell'ambito della psicologia durante questo secolo vertono su questioni sollevate dal behaviorismo nel corso del suo sviluppo. Il primo behaviorismo influenzò profondamente gli sviluppi successivi con i suoi spunti fecondi e stimolanti (v. Krech, 1968). Per valutare il contributo di questi pionieri e capire le dispute suscitate dalle loro opinioni, è necessario riassumere brevemente i punti fondamentali delle loro concezioni.

I. P. Pavlov cominciò i suoi studi sui riflessi condizionati nell'ultimo decennio del XIX secolo. Le prime scoperte furono comunicate nel 1901 e i risultati degli studi condotti nel suo laboratorio furono riassunti nel suo libro *Conditioned reflexes*, pubblicato in inglese nel 1927. Pavlov fu profondamente influenzato dalle idee del fisiologo sovietico I. M. Sečenov che suggeriva di considerare le attività del cervello come riflessi (v. Sečenov, 1935). Pavlov era anche a conoscenza degli sviluppi del pensiero behaviorista in biologia e in psicologia. Ma fino a quel momento erano stati compiuti pochi tentativi a livello sperimentale per studiare l'attività mentale da un punto di vista obiettivo. Pavlov giunse alla conclusione che i tempi erano maturi per

passare all'analisi sperimentale dell'argomento analisi che doveva essere obiettiva quanto quelle effettuate in ogni altra branca delle scienze naturali (v. Pavlov, 1927).

La scoperta più importante di Pavlov fu che, in seguito a un accurato accoppiamento di due diversi stimoli, la risposta normalmente suscitata da uno dei due stimoli può essere suscitata dall'altro. Di conseguenza si possono addestrare dei cani a produrre secrezione salivare quando sentono il rumore prodotto da un metronomo, associando la salivazione, cioè la risposta suscitata dallo stimolo del cibo, al rumore prodotto da un metronomo. Il semplice fatto che i cani potessero essere addestrati non era, ovviamente, nè nuovo nè importante. L'importante era che Pavlov aveva sviluppato un metodo per controllare la formazione di associazioni. Inoltre, l'associazione veniva misurata obiettivamente come risposta comportamentale. Quindi si poterono studiare i riflessi condizionati altrettanto obiettivamente quanto i riflessi incondizionati. A dispetto della prospettiva concettuale, ovvero dell'ideologia, adottata da Pavlov, egli e i suoi allievi furono tentati, in un primo tempo, d'interpretare il condizionamento in termini soggettivi. Nei suoi primi scritti Pavlov, riferendosi all'effetto prodotto dal condizionamento, usò la locuzione 'secrezione psichica'. Uno dei suoi primi allievi, A. N. Snarski, propose d'interpretare i risultati in termini di pensieri, desideri ed emozioni degli animali usati negli esperimenti. Comunque, Pavlov alla fine rifiutò questo tipo soggettivo d'interpretazione e divenne uno dei più accaniti fautori dell'approccio obiettivo allo studio del comportamento. Per Pavlov il comportamento era importante come mezzo per comprendere l'attività cerebrale precisamente i riflessi cerebrali secondo il punto di vista proposto da Sečenov. Pavlov così si esprime "Il riflesso condizionato è un fenomeno comune e assai diffuso. Si tratta, chiaramente, di ciò che noi riconosciamo in noi stessi e negli animali dandogli altri nomi come addestramento, disciplina, educazione, abitudini; tutte queste cose non sono altro che associazioni fatte nel corso dell'esistenza individuale, associazioni fra stimoli esterni definiti e le reazioni relative. Sicché il riflesso condizionato apre al fisiologo la via per studiare una parte considerevole e forse tutta l'attività nervosa" (v. Pavlov, 1957, pp. 147-148).

Pavlov influenzò profondamente lo sviluppo del behaviorismo. I suoi metodi sperimentali fornirono un mezzo per indagare obiettivamente le caratteristiche comportamentali degli animali, che lo sperimentatore poteva finalmente interrogare. Non si può chiedere agli animali se sono in grado di 'vedere' i colori, ma si può cercare di sapere se essi sono in grado di distinguere i colori usando tecniche di condizionamento. Quindi i procedimenti obiettivi sviluppati da Pavlov hanno avuto un'influenza permanente e benefica sugli studi sperimentali del comportamento animale. Le sue tecniche diedero un sostegno metodologico all'esigenza behavioristica di una psicologia obiettiva, e le sue scoperte influenzarono anche, profondamente, la concezione behavioristica. La risposta condizionata venne a essere considerata ben presto, da alcuni behavioristi, un'unità fondamentale di comportamento. L'influenza di Pavlov verrà discussa in dettaglio nei prossimi capitoli.

E. L. Thorndike cominciò i suoi studi sul problem solving negli animali quando era allievo di W. James a Harvard. Pubblicò i risultati dei suoi primi studi fra la fine del XIX e l'inizio del XX secolo. In quelli che forse sono i suoi più noti esperimenti, Thorndike studiò il comportamento di alcuni gattini nell'atto di imparare a scappare da apposite scatole, e giunse alla conclusione che l'apprendimento della risposta corretta si realizzava a mano a mano che le risposte date accidentalmente si riducevano di tentativo in tentativo. In un primo momento egli propose l'ipotesi che l'apprendimento si fondasse su due principi o leggi: la 'legge dell'esercizio' e la 'legge dell'effetto'. Secondo la prima legge, tratta dalla teoria dell'associazione diffusa nel XIX secolo, le risposte già date è probabile che continuino a essere date. In seguito Thorndike ridimensionò l'importanza della legge dell'esercizio. La legge dell'effetto divenne la pietra angolare della sua teoria (v. Thorndike, 1912). In sostanza tale legge affermava che le risposte che producono conseguenze soddisfacenti vengono rafforzate. In altre parole, il legame fra uno stimolo e una risposta è rafforzato dal successo. Come Pavlov (ma contrariamente agli altri behavioristi dell'epoca), Thorndike pensava in termini fisiologici piuttosto che mentalistici. La soddisfazione era definita fisiologicamente come un processo che riguardava meccanismi sinaptici che egli considerava alla base dell'apprendimento. Una soddisfazione era definita behavioristicamente come un qualche cosa che l'animale non evita e spesso cerca anzi di ottenere.

Quindi Thorndike propose una teoria dell'apprendimento i cui elementi principali erano gli stimoli, le risposte e una legge che governava la formazione di connessioni. Per Thorndike la mente era un sistema di connessioni che scopriva i legami esistenti fra situazioni e risposte. La concezione connessionistica dell'apprendimento proposta da Thorndike influenzò profondamente gli studi sperimentali sull'apprendimento degli animali e promosse un ulteriore sviluppo delle teorie behavioristiche. Le concezioni di Thorndike finirono per dominare sia la teoria sia il metodo e furono fonte di molte importanti controversie. Il suo metodo di addestramento degli animali, che fu chiamato 'condizionamento strumentale', dato che il comportamento dell'animale era strumentale al fine di ottenere la ricompensa, fu largamente adottato e condusse allo sviluppo di larga parte dell'attuale tecnica di addestramento degli animali, comprese le procedure di condizionamento operante usate in seguito da B. F. Skinner. Thorndike, quindi, come il suo contemporaneo Pavlov, influenzò sia la metodologia sia la teoria dell'approccio behavioristico in psicologia, allora in via di sviluppo.

J. B. Watson è generalmente considerato il fondatore del behaviorismo. È chiaro tuttavia che le idee behavioristiche si svilupparono come conseguenza di molteplici orientamenti teorici convergenti. Le radici del behaviorismo furono profonde ed estese, e le sue diramazioni assunsero varie forme. Per di più, l'orientamento sul rendimento, tipico del funzionalismo americano procurò al behaviorismo un terreno fertile. Le affermazioni di Watson diedero senza dubbio una coerenza e una direttiva allo sviluppo del behaviorismo. Grazie alla chiarezza delle sue concezioni behavioristiche, nonché al fatto che egli propose il behaviorismo molto esplicitamente, sia come metodo, sia come teoria, Watson ne divenne l'esponente più

autorevole. Nel 1913 egli scrisse: "La psicologia, così come il behaviorista la concepisce, è una branca sperimentale puramente obiettiva delle scienze naturali. Il suo scopo teorico è la predizione e il controllo del comportamento. L'introspezione non costituisce la parte essenziale dei suoi metodi, nè il valore scientifico dei suoi dati dipende dalla prontezza con cui essi si prestano a essere interpretati in termini di coscienza. Il behaviorista, nei suoi tentativi di ottenere uno schema unico per le risposte degli animali, non riconosce una linea di demarcazione fra l'uomo e la bestia. Il comportamento umano, con tutte le sue sottigliezze e complessità, costituisce solo una parte dello schema generale d'indagine del behaviorista" (v. Watson, 1913, p. 158). Evidentemente, questa concezione è in perfetto accordo con quelle dei behavioristi precedenti e contemporanei, compresi Pavlov e Thorndike. Ma l'affermazione di Watson era una sfida esplicita alla psicologia mentalistica del suo tempo: la coscienza non doveva essere il fulcro della ricerca e il comportamento degli animali veniva considerato un legittimo oggetto di studio. Proprio pochi anni prima Watson aveva portato a termine una tesi, sotto la guida del caposcuola funzionalista, J. R. Angell, che trattava del ruolo delle sensazioni cinestetiche nei ratti durante l'esperimento del labirinto. Di conseguenza, l'affermazione fatta nel 1913 rappresentò un chiaro mutamento nelle stesse concezioni di Watson. In articoli e libri successivi, egli sviluppò più estesamente la sua concezione del behaviorismo (v. Watson, 1925), e propose di considerare il comportamento come un insieme di risposte muscolari associate, attraverso il condizionamento, a determinati stimoli. Egli considerò la risposta condizionata come l'unità di comportamento. Tutti i concetti mentalistici furono ridotti a risposte periferiche; il pensiero, per esempio, venne considerato come un discorso subvocale. Egli propose una forma estrema di 'ambientalismo' che sottolineava l'importanza dell'apprendimento e minimizzava il ruolo dell'ereditarietà nello sviluppo. In quella che probabilmente è la sua affermazione più frequentemente citata, sosteneva: "Datemi una dozzina di neonati in buona salute e di sana costituzione, e datemi la possibilità di allevarli a modo mio, e vi garantisco di poter prendere a caso ognuno di loro e addestrarlo a diventare un qualsiasi tipo di specialista - un medico, un avvocato, un artista, un mercante e persino un mendicante e un ladro, indipendentemente dai suoi talenti, dalle sue inclinazioni, tendenze, capacità, vocazioni e dalla razza dei suoi antenati" (ibid., p. 118).

Il behaviorismo di Watson era quindi associazionistico, elementaristico, periferalistico e ambientalistico. Esso fornì un metodo e una teoria completamente behavioristici e del behaviorismo adottò le mete pratiche e concettuali. Come accennato, Watson era interessato al controllo del comportamento. Si deve sottolineare il fatto che questa è una forma speciale di behaviorismo. Le premesse behavioristiche non danno necessariamente un'importanza speciale alle influenze ambientali, nè richiedono necessariamente concezioni periferistiche del comportamento. Inoltre, un'analisi obiettiva del comportamento può limitarsi a una descrizione; non è essenziale, per un approccio behavioristico, dare un rilievo speciale al controllo del comportamento. Quindi, per poter valutare il behaviorismo, si deve distinguere fra behaviorismo come

approccio obiettivo per comprendere il comportamento e i propositi specifici che costituiscono il behaviorismo di Watson. Ciò nonostante, l'importanza della concezione di Watson non deve essere sottovalutata. La sua concezione del comportamento influenzò profondamente la psicologia, sia a livello teorico sia a livello pratico, per parecchi decenni. Il behaviorismo watsoniano fu ben accolto dalla psicologia americana; inoltre, è doveroso sottolinearlo, esso era compatibile con l'ideologia politica e sociale americana dell'epoca.

4. Il behaviorismo: metodo e teoria

Le concezioni di Pavlov, Thorndike e Watson dominarono il pensiero behaviorista in psicologia per parecchi decenni, e, in forma modificata, sono tuttora molto influenti. Il behaviorismo come metodologia fu anche prontamente accettato dagli studiosi del comportamento animale, sia in campo biologico sia in quello psicologico. Il motivo per il quale s'intrapresero accurati studi a livello descrittivo del comportamento animale era l'intrinseco interesse suscitato dall'osservazione delle caratteristiche di tale comportamento. Non era necessario giustificare la ricerca in funzione del problema dell'evoluzione mentale; vale a dire che la ricerca non procedeva intorno a un fulcro 'antropocentrico'. Nell'ambito della biologia lo studio obiettivo del comportamento divenne poi noto come etologia. Studi descrittivo-naturalistici e sperimentali sul comportamento animale furono portati avanti con grande impegno soprattutto in Europa e in Inghilterra. Ai primi studi, fatti in base all'osservazione (v. Fabre, 1879-1903), fecero seguito studi più sistematici sul comportamento di varie specie animali, compresi gli Insetti, i Pesci e gli Uccelli, oltre ai Mammiferi. Nel 1973 tre pionieri dell'etologia, K. von Frisch, K. Lorenz e N. Tinbergen sono stati insigniti del premio Nobel per la medicina e la fisiologia per gli approfonditi studi da essi effettuati sul comportamento sociale degli animali. Seguendo le prime osservazioni di Spaulding e di Heinroth, Lorenz ha studiato la natura dell'imprinting, l'emergere di forme di attaccamento sociale in neonati di animali, in particolare uccelli come anatre e oche (v. Lorenz, 1957). Tinbergen ha studiato il comportamento di animali appartenenti a molte specie diverse, ma forse egli è conosciuto soprattutto per i suoi studi sull'attività di corteggiamento di un piccolo pesce chiamato spinarello (v. Tinbergen, 1951). Von Frisch è famoso per i suoi vasti e brillanti studi sulla comunicazione nelle api.

L'etologia è evidentemente una forma di behaviorismo. Tuttavia, in contrasto con il behaviorismo di Watson e con forme successive di behaviorismo, sviluppate negli Stati Uniti, l'etologia è cresciuta al di fuori di un'impostazione naturalistica, e gli etologi hanno preferito interpretazioni del comportamento che dessero importanza preminente a fattori genetici anziché a fattori ambientali. Gli studi sul comportamento 'istintivo' hanno dominato la ricerca etologica. Ma l'importanza degli studi etologici dipende dall'accuratezza con cui

viene descritto il comportamento, generalmente grazie a osservazioni fatte in ambiente naturale o quasi. Benché vi siano stati alcuni sviluppi dell'etologia negli Stati Uniti, tuttavia le influenze behavioristiche sono state preponderanti negli studi di laboratorio sul comportamento animale - soprattutto negli studi sull'apprendimento e sull'esecuzione di compiti (performance) da parte di animali da laboratorio, come ratti, gatti, cani e scimmie. Sono stati fatti studi approfonditi circa gli effetti di diverse condizioni sperimentali sull'apprendimento e sull'esecuzione di risposte già apprese. Molte ricerche sono state condotte in base a problemi non direttamente connessi con posizioni teoriche. L'interesse si è concentrato sull'indagine delle procedure ottimali per ottenere un apprendimento e un insieme di prestazioni validi. Per esempio, i classici studi di Harlow sull'influenza dell'apprendimento sull'apprendimento successivo, o 'apprendimento ad apprendere', sono nati come sviluppo degli studi precedenti, di carattere descrittivo e ateorico, sull'apprendimento degli animali (v. Harlow, 1949). Altri ricercatori hanno cercato di confrontare le modalità di apprendimento di diverse specie (v. Thorpe, 1963). Sia le procedure di tipo pavloviano sia le procedure ispirate alle concezioni di Thorndike sono state ampiamente usate negli studi sull'apprendimento discriminativo. I metodi behavioristici hanno anche influenzato lo sviluppo d'indagini fisiologiche sul comportamento e le tecniche introdotte dal behaviorismo hanno reso possibile lo studio del controllo neurale del comportamento (v. Beach e altri, 1960). Molti ricercatori hanno studiato gli effetti di lesioni cerebrali, droghe, ormoni e altri fattori sull'apprendimento e sulle capacità di esecuzione di compiti (v. Munn, 1950). Questi studi, pur condotti con metodi behavioristici, furono effettuati per comprendere le basi fisiologiche del comportamento. Alcune ricerche fisiologiche erano collegate con questioni teoriche behavioristiche, ma la maggior parte non lo era. Tralasciando ogni considerazione circa la natura e il destino del behaviorismo come teoria, resta il fatto che i metodi behavioristici rappresentano un suo lascito permanente. Gli stessi tipi di procedure behavioristiche vengono usati dai ricercatori di ogni corrente teorica. La differenza sostanziale consiste nell'interpretazione delle osservazioni fatte.

Quindi, da molti punti di vista, il comportamento è stato ampiamente accettato dagli scienziati, sociologi e biologi del XX secolo come legittimo oggetto di studio, e i metodi behavioristici sono stati universalmente adottati. Negli Stati Uniti, in particolare, il behaviorismo fu anche largamente accettato come teoria o ideologia. Le idee e i fatti presentati da Pavlov, Thorndike e Watson diedero luogo a molte importanti teorie 'neobehavioristiche' del comportamento che ponevano particolarmente l'accento sui principi ambientalistici. Una caratteristica comune a queste teorie neobehavioristiche era l'adesione alle spiegazioni behavioristiche. In generale queste teorie rifiutavano e ignoravano le spiegazioni fisiologiche dando la preferenza a leggi e principi più 'molari'. Ma le singole teorie proposero principi assai diversi e, di conseguenza, diedero luogo a grosse battaglie, sia a livello empirico sia a livello teorico, che si protrassero per parecchi decenni. E, come altre grandi dispute verificatesi nel XX secolo, la battaglia non terminò con vittorie definitive. Si suol dire

spesso che le teorie non vengono scartate, ma soltanto sostituite da teorie migliori. Dato che finora non esiste una teoria generale del comportamento accettata largamente, non deve sorprendere che persino alcuni dei più dubbi principi della teoria di Watson, nonché delle teorie neobehavioristiche, influenzino tuttora la teoria delle scienze del comportamento. Molte delle ricerche condotte dal 1925 al 1960 circa, sono state stimulate dalle teorie neobehavioristiche di E. R. Guthrie, E. Ch. Tolman, C. L. Hull e B. F. Skinner. Per capire e valutare gli orientamenti behavioristici contemporanei, è essenziale esaminare brevemente alcuni dei più importanti principi proposti da questi autorevoli teorici.

Il Guthrie ha proposto quella che probabilmente è la più semplice teoria del comportamento. Per Guthrie l'apprendimento consisteva nell'acquisizione di schemi (patterns) di movimento. Il suo semplice principio sull'apprendimento diceva: "Una combinazione di stimoli che ha accompagnato un movimento, tenderà, ripetendosi, a essere seguita da quel movimento" (v. Guthrie, 1935, p. 26). Questo è behaviorismo associazionistico, ambientalistico, periferalistico nella sua forma forse più pura e più semplice. Guthrie sosteneva che tutti i più importanti fenomeni connessi con l'apprendimento, inclusi il condizionamento pavloviano e l'apprendimento per prove ed errori (v. Thorndike, 1911/2), si sarebbero potuti spiegare facilmente con l'associazione, fatta su un singolo tentativo, di un movimento a uno stimolo. Quindi la contiguità S-R (stimolo-risposta) fu proposta in sostituzione dell'associazione di idee, concetto proprio delle teorie mentalistiche dell'associazione (v. James, 1890). Secondo Guthrie, l'apprendimento si realizza in un singolo tentativo: la ripetizione porta a un miglioramento delle prestazioni semplicemente perché un comportamento adeguato consiste in molti movimenti, ognuno dei quali deve essere associato agli schemi di stimolo (stimulus patterns). Le ricompense influenzano l'apprendimento in quanto conservano le associazioni S-R; esse mutano gli schemi di stimolo e, di conseguenza, garantiscono che l'ultima risposta precedente la ricompensa (che può essere il cibo o la fuga) sarà ridata dall'animale quando si ritroverà di fronte allo stimolo associato a tale risposta.

Guthrie, come molti altri behavioristi, si interessava del controllo del comportamento. Egli sosteneva che il suo principio poteva essere applicato praticamente nel campo dell'educazione - nel mutare gli schemi di comportamento per fronteggiare i disordini del comportamento. Il modo per ottenere un comportamento desiderato consiste nel predisporre la situazione in tal maniera che i segnali ambientali diano luogo al comportamento voluto. Questa opinione di carattere generale è, come vedremo in seguito, simile per alcuni aspetti a quella proposta dallo Skinner: il comportamento viene modellato da circostanze ambientali. Affinché la concezione di Guthrie sia valida è necessario definire accuratamente stimoli e risposte. Il problema della definizione di S e R, proprio di tutte le teorie S-R, sarà discusso dettagliatamente nel prossimo capitolo. La più importante teoria neobehavioristica fu quella proposta dallo Hull in una serie di articoli e di libri (v. Hull, 1943, 1951 e 1952). Come Guthrie, anche Hull sostenne una teoria espressa in termini di stimolo-

risposta. Ma, contrariamente a Guthrie, Hull propose un insieme di principi molto complicati come regole del comportamento. Hull accettò la risposta condizionata di Pavlov come unità o elemento componente di ogni comportamento complesso e accettò la legge dell'effetto di Thorndike come principio fondamentale dell'apprendimento. Quantunque la teoria sia stata sviluppata e sottoposta a modifiche e revisioni, Hull e i suoi allievi si attennero sempre all'opinione che l'apprendimento consistesse nell'acquisizione di abitudini secondo il meccanismo stimolo-risposta e che le conseguenze delle risposte (ricompense o punizioni) fossero essenziali per l'apprendimento. Quindi la concezione di Hull diede luogo a una linea di ricerca centrata su due importanti interrogativi: 1) si può spiegare concettualmente il comportamento, in maniera adeguata, come acquisizione di abitudini S-R? 2) che cosa è un elemento di rinforzo, e, comunque lo si definisca, il rinforzo costituisce una condizione necessaria ovvero sufficiente per l'apprendimento?

Le teorie behavioristiche stimolo-risposta accettarono evidentemente le più importanti affermazioni di Watson. Tali teorie mettevano l'accento sulle spiegazioni behavioristiche in termini di influssi ambientali, ed evitavano l'uso di termini mentalistici. Inoltre, la teoria S-R, in particolare quella di Hull, diede origine a un gran numero di ricerche sperimentali. Essa fu rifinita e ulteriormente sviluppata dai colleghi e dagli allievi di Hull, fra cui, in particolare, N. E. Miller (v., 1959) e K. W. Spence (v., 1937).

Mentre la teoria S-R si stava sviluppando grazie all'opera di Guthrie, Hull e altri, il Tolman proponeva un tipo diverso di teoria del comportamento, una teoria che faceva uso esplicitamente di termini mentalistici. Ma, in accordo con le influenze behavioristiche dell'epoca, i concetti esplicativi mentalistici furono definiti behavioristicamente e operativamente. Tolman rifiutò la 'reazione muscolare' (musclewitchism) periferale di Watson e propose "una nuova formula per il behaviorismo" (v. Tolman, 1922), che poneva in rilievo gli atti del comportamento piuttosto che la risposta come definita da Watson. In scritti successivi egli sviluppò le definizioni behavioristiche di idea, coscienza, emozione, intenzione e percezione, e nel 1932 compendì il suo nuovo behaviorismo nel libro *Purposive behavior in animals and man*. Tolman sosteneva che il comportamento non consistesse in abitudini S-R, ma fosse piuttosto caratterizzato dal fatto di essere 'finalistico'.

L'intenzionalità veniva definita obiettivamente come "persistenza e duttilità relativa a certe mete". Quindi il behaviorismo di Tolman metteva a fuoco la variabilità delle risposte e le risposte stesse come realizzazioni piuttosto che come contrazioni muscolari e secrezioni ghiandolari. Mentre Watson e i teorici neobehavioristi che sostenevano la teoria S-R bandirono i termini mentalistici, Tolman deliberatamente reintrodusse variabili mentalistiche come concetti esplicativi. Aspettative e 'cognizioni' erano le alternative da lui proposte alle abitudini S-R. La sua concezione pose in rilievo fenomeni che era difficile se non impossibile spiegare in termini di condizionamento S-R (v. Deutsch, 1956). Tolman e i suoi allievi condussero una serie di esperimenti che dimostrarono la natura 'finalistica' dell'apprendimento. In una serie di studi condotti nel laboratorio di Tolman, D. Krech dimostrò che il comportamento del ratto in un caso di problem solving non

era costituito da risposte casuali fornite dall'animale. Le risposte erano sistematiche e potevano essere meglio caratterizzate come una verifica di 'ipotesi' (v. Krechevsky, 1932). Quindi se Tolman era chiaramente un behaviorista, la sua teoria era una teoria 'cognitiva' del comportamento. Le sue concezioni rappresentarono la sfida più impegnativa alle opinioni dei teorici S-R suoi contemporanei e hanno influenzato le successive teorie cognitive del comportamento. Tolman dimostrò che una teoria behaviorista non doveva necessariamente essere periferistica o addirittura radicalmente ambientalistica: condusse studi circa le influenze genetiche sulle facoltà di apprendimento e spinse R. C. Tryon a portare avanti studi approfonditi di genetica dell'apprendimento nel ratto (v. Tryon, 1940).

Un'altra forma ancora di behaviorismo fu proposta dallo Skinner in una serie di scritti a partire dal 1930, e in parecchi libri (v. Skinner, 1938, 1957 e 1971). Egli non elaborò una teoria del comportamento, ma piuttosto una proposta relativa al controllo del comportamento. Egli sosteneva che "quando si sia riusciti a realizzare un effettivo controllo sull'organismo, le teorie del comportamento perdono la loro importanza. Per rappresentare e maneggiare variabili importanti, un modello concettuale non serve; noi siamo alle prese con il comportamento stesso" (v. Skinner, 1959). Seguendo Thorndike, Skinner suggerisce che il comportamento sia regolato dal rinforzo. Ma contrariamente a Thorndike egli non propone alcun meccanismo, a parte il principio empirico. La potenza di tale principio è dimostrata dall'efficacia delle ricompense nel determinare il comportamento di altri animali, compresi anche gli uomini, oltre ai ratti e ai piccioni. La legge empirica dell'effetto viene proposta come base di ogni tecnica educativa e per il controllo della cultura. Skinner ha posto esplicitamente in rilievo che tale principio può essere applicato all'acquisizione del linguaggio, alla psicoterapia, all'insegnamento, e ad altri aspetti del comportamento umano. Le concezioni di Skinner esercitano ancora un influsso preponderante sulle scienze del comportamento. Benché abbiano sollevato alcune critiche, esse tuttavia sono state ampiamente accettate.

5. Questioni concettuali inerenti al behaviorismo

Il behaviorismo dal punto di vista teorico si occupa delle cause del comportamento nonché della sua descrizione. Da Watson a Skinner i behavioristi hanno sviluppato un particolare interesse per il controllo del comportamento. In alcune teorie la capacità di tale controllo è considerata come un banco di prova delle spiegazioni fornite dalla teoria stessa. Il controllo del comportamento rappresenta addirittura lo scopo specifico di molte teorie behavioristiche. Negli Stati Uniti, in particolare, il behaviorismo ha sottolineato il ruolo delle esperienze passate nel controllo del comportamento attuale. I behavioristi orientati in senso etologico, d'altronde, pongono l'accento sul ruolo dei processi biologici innati. Ma per tutti i behavioristi, indipendentemente dalle diverse tendenze, l'analisi del comportamento richiede la specificazione delle risposte

comportamentali che si verificano in particolari condizioni di stimolo. Ciò significa che il behaviorismo richiede una definizione precisa dello stimolo che suscita la risposta, nonché della natura della risposta. Inoltre, a meno che si tratti di behaviorismo puramente descrittivo, si devono specificare i principi che determinano la regolarità stimolo-risposta osservata; ogni teoria deve spiegare in qualche modo perché specifiche risposte vengono date in presenza di una specifica stimolazione. Abbiamo già passato in rassegna i tentativi fatti dalle diverse teorie behavioristiche per affrontare tali questioni. Nessuna soluzione proposta si è rivelata adeguata. Le formulazioni stimolo-risposta hanno tutte avuto difficoltà a caratterizzare lo stimolo, la risposta e gli influssi delle esperienze passate. Il problema fondamentale è che la complessità dei processi sensorio-percettivi e del comportamento non si presta facilmente a spiegazioni semplicistiche.

Problemi inerenti alle formulazioni S-R del comportamento. - A livello di buon senso tutti sappiamo che cosa significa stimolo. E tutti possiamo capire che cosa s'intende dire con l'asserzione che un quadrato nero o il suono di un metronomo possono essere usati come stimoli condizionati in un esperimento di condizionamento pavloviano. Ma per effettuare un controllo del comportamento con la necessaria accuratezza, o per capire il comportamento, è necessaria una definizione più precisa dello stimolo. Che cosa intendeva dire Watson con le parole: "in un sistema psicologico completamente elaborato, data la risposta, dev'essere possibile risalire agli stimoli [...]?" (v. Watson, 1913, p. 167). Per un behaviorista periferale, lo stimolo dev'essere l'eccitazione dei recettori sensoriali. Ma gli stimoli si presentano in forma di schemi (patterns), oggetti ed eventi. I fatti fondamentali della costanza percettiva precludono la possibilità di accettare una definizione periferalista dello stimolo. Come mai un oggetto come un quadrato nero suscita una risposta come se fosse uno stimolo costante (o percepito come tale, se è consentito l'uso di una terminologia mentalistica), anche se vengono modificate le condizioni di illuminazione e se lo schema di eccitazione della retina è trapezoidale anziché quadrato? E come mai si risponde al quadrato come se fosse lo stesso stimolo, quando viene presentato a distanze diverse, anche se la dimensione sulla retina varia con la distanza? Come ha fatto notare E. Brunswik, la validità dei segnali prossimali (recettore) per giudicare dimensione e distanza è lungi dall'essere perfetta. La dimensione di un oggetto, come viene proiettato sulla retina, è, per esempio, scarsamente correlata con la dimensione reale, dato che la dimensione sulla retina è determinata anche dalla distanza. Eppure noi siamo capaci di giudicare le dimensioni e le distanze degli oggetti con notevole precisione. In qualche modo noi siamo capaci di utilizzare un'informazione prossimale inattendibile (sensoria periferale) per formare validi giudizi circa le dimensioni e le posizioni degli oggetti che ci circondano. Secondo Brunswik noi elaboriamo attivamente le stimolazioni in modo da ottenere un'accurata rappresentazione dell'ambiente. Dato che ogni segnale periferale usato (come la dimensione sulla retina, la quota nel campo visivo, ecc.) è alquanto inattendibile, Brunswik ha immaginato tale processo di elaborazione come una forma di funzionalismo probabilistico. Lo stimolo è qualcosa in più

della stimolazione di un recettore; l'elaborazione di uno 'stimolo' organizzato sembra coinvolgere un processo d'informazione molto complesso (v. Brunswik, 1955).

L'importanza dei fattori relazionali nella percezione fu sottolineata da C. von Ehrenfels nel XIX secolo e posta in massima evidenza dagli psicologi della forma. Noi riconosciamo immediatamente il motivo di una canzone anche se viene suonata o cantata in chiavi diverse; vale a dire, anche se gli specifici elementi sensori eccitati sono completamente differenti, il motivo viene riconosciuto sino a quando le relazioni fra gli elementi si mantengono costanti entro certi limiti.

Questi fatti hanno messo in imbarazzo le teorie del comportamento basate sul meccanismo periferale S-R. È difficile capire come l'apprendimento possa consistere in una connessione fra uno stimolo e una risposta, se uno stimolo è un oggetto, un evento, o una relazione fra oggetti ed eventi, piuttosto che un'eccitazione di uno specifico recettore. In ultima analisi sembrerebbe che la teoria S-R debba essere meno periferale e debba accettare una definizione di stimolo in termini di sistema nervoso centrale. Gli esperimenti sugli animali indicano chiaramente che la relazione fra stimoli (la dimensione o la luminosità relativa) può essere uno 'stimolo' efficace (v. Köhler, 1929). Tentativi di spiegare sia la capacità di rispondere a relazioni, sia la trasposizione di relazioni, in termini di principi di condizionamento e generalizzazione behavioristici (v. Spence, 1937), non sono stati suffragati da scoperte sperimentali (v. Lawrence, 1963; v. Riley, 1958). È chiaro che le teorie dell'apprendimento devono tener conto di questi fatti riguardanti la percezione (v. Leeper, 1963). Un altro problema ancora è il fatto che noi rispondiamo selettivamente agli stimoli che ci colpiscono. La presentazione di uno stimolo o l'eccitazione dei recettori sensoriali non garantiscono che lo stimolo regolerà il comportamento. Come mai noi siamo in grado di ascoltare selettivamente una voce in mezzo a molte altre voci? Il problema dell'attenzione selettiva ha procurato serie difficoltà alle teorie S-R del comportamento (v. Weinberger, 1971). Inferire lo stimolo dalla risposta e viceversa si è dimostrato un compito assai più difficile di quanto Watson presumesse.

Definire la risposta nell'ambito della formulazione S-R del comportamento si è dimostrato un compito altrettanto arduo. Per Watson le risposte erano contrazioni muscolari e secrezioni ghiandolari. Mentre è vero che le risposte coinvolgono muscoli e ghiandole, un'analisi del comportamento che non vada al di là dei dettagli delle risposte muscolari e ghiandolari dà luogo a una concezione incompleta e superficiale. È strano che le teorie behavioristiche abbiano in pratica ignorato, a eccezione di quella di Guthrie, i particolari delle risposte comportamentali. Negli studi sull'apprendimento fatti su animali da laboratorio, il progresso viene in genere misurato in termini di frequenza, velocità o energia con cui l'animale adatta il proprio comportamento alla realizzazione di attività quali scappare da una gabbia, entrare in un viale bianco, premere una sbarra o correre esclusivamente sul percorso giusto di un labirinto. Sicché le teorie del comportamento hanno posto l'accento sulle realizzazioni piuttosto che sui dettagli delle risposte di un animale. Gli animali possono

ottenere, e in effetti così fanno, la stessa conseguenza rispondendo in diversi modi. Dal punto di vista dell'animale, la risposta non è un modello stereotipato di risposte muscolari, ma piuttosto ciò che deve essere fatto per ottenere un certo risultato. Watson suggeriva che l'abilità dei ratti nel percorrere il labirinto fosse basata sullo sviluppo di una catena di riflessi motori appresi. Gli esperimenti di K. Lashley (v. Beach e altri, 1960) hanno dimostrato l'inadeguatezza di questo tipo di teoria. I ratti potrebbero eseguire la risposta 'corretta' in un labirinto anche se fossero stati sottoposti a un trattamento chirurgico, in conseguenza del quale non fossero in grado di eseguire risposte motorie precise (cioè un intervento chirurgico sul cervello). Il Tolman e i suoi allievi hanno condotto una serie di esperimenti che hanno mostrato che i ratti possono dare la stessa risposta generale in molti modi diversi. Per esempio, i ratti addestrati a camminare attraverso un labirinto nuotano immediatamente lungo il percorso corretto se il labirinto viene allagato. Questi fatti non possono essere spiegati nell'ambito di teorie S-R periferali come quelle proposte da Watson e Guthrie. La natura 'finalistica' dell'apprendimento e dell'esecuzione (performing), messa in evidenza da Tolman, fu la ragione principale dello sviluppo delle concezioni neobehavioristiche di Tolman e Hull e del behaviorismo descrittivo di Skinner. Questi primi esperimenti indicarono chiaramente che una risposta dev'essere considerata come qualcosa di più complesso che non una specifica contrazione muscolare. Ma che cosa viene appreso se la stessa realizzazione può essere ottenuta in modi del tutto diversi - usando diversi muscoli e diversi schemi motori? Le teorie behavioristiche furono costrette ad accettare processi 'centrali' più complessi come causa del comportamento o a diventare meno analitiche nello specificare la natura della risposta. Hull e i suoi allievi giunsero ad ammettere una distinzione (già proposta precedentemente da Tolman) fra apprendimento ed esecuzione (performance) e, pur mantenendo la terminologia behavioristica, proposero che il comportamento potesse essere spiegato tramite variabili intermedie supposte ma non osservate. La teoria S-R divenne la teoria S-O (organismo)-R. La teoria neobehavioristica s'impegnò in gran parte nello specificare i tipi di variabili intermedie che sembravano necessarie per spiegare un comportamento complesso (v. Osgood, 1953). Mentre Tolman e i suoi allievi proponevano variabili intermedie di tipo cognitivo espresse in termini mentalistici (ma definiti behavioristicamente), come 'aspettativa', Hull e i suoi allievi sostenevano spiegazioni che davano importanza primaria alla risposta condizionata considerata come unità fondamentale. Ma, come abbiamo visto, il condizionamento di risposte implicite, come le 'risposte finalistiche anticipatorie frazionate', chiaramente toglie importanza alla 'R' delle teorie behavioristiche S-R. Questi abbellimenti hanno cambiato drammaticamente la teoria del comportamento. Verso la fine degli anni cinquanta, le teorie 'barocche' del neobehaviorismo erano behavioristiche solo in quanto restavano legate a osservazioni del comportamento, a livello di metodo, e all'uso di termini definiti behavioristicamente, nelle loro spiegazioni teoriche. Vale forse la pena di osservare a questo proposito che, poiché a quell'epoca era già possibile parlare di comportamento

'intenzionale' di servomeccanismi come i termostati e persino i missili guidati, non vi sarebbe stata alcuna ragione per non usare tali termini nella descrizione del comportamento degli animali o addirittura dell'uomo. Le teorie behavioristiche, come abbiamo osservato sopra, hanno accentuato il ruolo dell'apprendimento nel controllo del comportamento. Quindi, il compito più importante di tali teorie è consistito nel cercare di spiegare come le esperienze passate influenzino il comportamento presente. Le teorie periferistiche hanno dato una risposta semplice e suggestiva: un comportamento appreso consiste nell'effettuare un collegamento fra stimoli e risposte attraverso il condizionamento. La risposta condizionata divenne l'unità di comportamento. Purtroppo le teorie periferistiche, benché attraenti, non erano capaci di spiegare alcuni dei fatti fondamentali del comportamento. Ma se noi assumiamo una più ampia nozione di stimolo e di risposta, come sembra sia necessario, quali principi governano le associazioni? Come già osservato, Hull accettò la legge dell'effetto di Thorndike come principio governante l'apprendimento. Ma molti teorici, incluso Tolman, misero in dubbio l'assunto che i rinforzi fossero essenziali per l'apprendimento. La questione è: i rinforzi influenzano direttamente l'apprendimento, o agiscono influenzando l'esecuzione di risposte apprese? Il risultato di molti tipi di esperimenti (v. Blodgett, 1929; v. Tolman e Honzik, 1930; v. Thistlethwaite, 1951; v. Thorpe, 1963) indica inequivocabilmente che è necessario distinguere fra l'apprendimento di una risposta (o l'acquisizione di un'informazione) e l'esecuzione di una risposta. Numerosi studi sull'apprendimento 'latente' hanno dimostrato, per esempio, che gli animali possono apprendere risposte che non sono ricompensate. L'apprendimento viene dimostrato con un'esecuzione coronata da successo quando, in un secondo momento, viene introdotta una ricompensa. Studi sul 'precondizionamento sensorio' (v. Brogden, 1939; v. Thompson, 1972) indicano che gli animali imparano prontamente ad associare due stimoli presentati insieme, nello spazio di poche prove: se uno dei due stimoli viene successivamente usato come stimolo condizionato in un esperimento di condizionamento, anche l'altro stimolo sarà capace di suscitare la risposta condizionata. E come sappiamo anche dall'osservazione di esseri umani (in particolare bambini), nonché da numerosi studi sperimentali, gli animali sono in grado di imparare a eseguire risposte semplicemente osservando altri che stanno apprendendole o eseguendole (v. Herbert e Harsh, 1944). Questi tipi di osservazioni sono difficili da interpretare in termini di legge dell'effetto intesa come principio generale del comportamento. Nello stesso tempo essi suggeriscono inequivocabilmente che un rinforzo non è condizione né necessaria né sufficiente per l'apprendimento. La legge dell'effetto sembra essere eventualmente più accettabile come legge relativa all'esecuzione. Per le teorie che insistono sul controllo del comportamento piuttosto che su principi esplicativi, la distinzione non ha importanza: se l'esecuzione è completamente controllata dalle conseguenze delle esecuzioni passate, allora capire le cause di tale influsso non è essenziale. Il problema che nasce da questa concezione è che vi sono molte condizioni sotto cui la legge dell'effetto, come

legge di esecuzione, viene violata. Uomini e bestie non sempre fanno ciò per cui in passato hanno ricevuto una ricompensa. Capire come vengono fatte le scelte è una questione alquanto più complessa.

Un altro problema ancora, collegato tuttavia ai precedenti, è il fatto che l'apprendimento può portare all' 'emergenza' di nuove risposte. Per esempio, si possono addestrare delle scimmie a scegliere un oggetto che differisce da altri due oggetti anche se tutti sono stati ugualmente ricompensati in passato (v. Moon e Harlow, 1955). Il linguaggio è una delle attività specializzate (skills) più complesse che si conoscano. Sapere che un bambino è in grado d'imparare a emettere un suono specifico alla vista di un oggetto non implica la possibilità di presumere che il bambino sarà capace di usare il suono nel contesto di una lingua e saprà le regole fondamentali secondo cui i suoni vanno messi insieme, prima che abbia raggiunto l'età scolare. Skinner (v., 1957) ha proposto, e mirabilmente difeso, la concezione secondo cui il linguaggio viene appreso attraverso il rinforzo delle risposte emesse dal bambino. Cioè egli sostiene che i principi di acquisizione del linguaggio sono quegli stessi principi in base ai quali i ratti premono una leva e i piccioni colpiscono un bersaglio con il becco. Concezioni alternative sull'acquisizione del linguaggio (v. Chomsky, 1959) insistono nel considerare l'apprendimento del linguaggio come l'acquisizione di regole o programmi per generare proposizioni, unita all'acquisizione di parole. È difficile capire come un bambino di quattro anni apprenda le regole del linguaggio, eppure è proprio quello che fa. Un bambino inglese non impara a dire "I eated the apple" ("ho mangiato la mela") attraverso un rinforzo di risposte emesse o per imitazione degli adulti. In qualche modo il bambino impara che la forma regolare del tempo passato si realizza aggiungendo ed alla forma presente del verbo (eat). Sembra che i principi dell'apprendimento e le teorie del comportamento resteranno a uno stadio primitivo finché non saranno capaci di spiegare alcuni di questi semplici ma importanti fatti del comportamento umano.

6. Le radici biologiche del comportamento

In un certo senso è strano che il behaviorismo abbia scelto di porre in primo piano gli influssi ambientali sul comportamento, fin quasi a escludere gli influssi biologici. Dopo tutto è stato Darwin che ha evidenziato la continuità esistente fra l'uomo e gli altri animali, e di conseguenza ha reso accettabile, se non essenziale, lo studio del comportamento animale (v. Petrinovich, 1972). Prima di Darwin, l'uomo veniva considerato diverso dalla bestia sia fisicamente, sia psicologicamente. Dopo il 1900, le teorie behavioristiche trattarono nella stessa maniera ratto e uomo. I behavioristi svilupparono le loro teorie senza preoccuparsi troppo delle differenze fra specie o persino fra individui della stessa specie. Si ricordi il manifesto behavioristico di Watson. *The behavior of organisms* di Skinner si fonda in primo luogo sugli studi condotti su ratti addestrati a premere una leva. È ovvio che si intendeva applicare i principi di tutte le teorie behavioristiche all'uomo non

meno che al ratto. Persino Tolman deduceva i bisogni dell'uomo dalle abitudini dei ratti. Da un punto di vista comportamentale c'era un vantaggio a lavorare con gli animali per ricavare leggi generali. I soggetti umani usano termini mentalistici per descrivere le cause del loro comportamento. Non disponendo di linguaggio verbale, animali come i ratti offrono al behaviorista una minor tentazione di fare inferenze non behavioristiche. L'uso di scoperte basate sugli studi sui ratti offrì un antisettico teorico per le teorie del comportamento in fase di sviluppo.

Prima di sviluppare le sue concezioni behavioristiche, anche Watson si era occupato degli influssi biologici sul comportamento. Prima del 1913 egli studiò il comportamento degli Uccelli alle Tortuga e scrisse: "Per comprendere più esaurientemente la relazione fra abitudine ed ereditarietà in queste risposte, ho preso uccelli neonati e li ho allevati. In tal modo potevo studiare l'ordine di comparsa degli adattamenti ereditari e la loro complessità, e in un secondo momento l'inizio della formazione di abitudini" (v. Watson, 1913, p. 167).

Questo è, naturalmente, proprio l'approccio adottato dagli etologi, che ha portato alla comprensione dell'imprinting e delle modalità di sviluppo delle capacità canore degli Uccelli. Il comportamento si sviluppa come conseguenza di una complessa interazione di influssi biologici e ambientali. Il ruolo di un influsso ambientale sullo sviluppo del comportamento dipende dalla particolare specie cui appartiene l'animale e dallo stadio di sviluppo da esso raggiunto. Ovvero, visto da un'altra prospettiva, lo sviluppo di un comportamento tipico di specie 'geneticamente influenzate' dipende dalla stimolazione ambientale specifica durante le fasi critiche dello sviluppo.

Un ulteriore progresso nello studio del comportamento degli esseri umani e degli animali richiederà una fusione del pensiero etologico e di quello behavioristico. I 'teorici dell'apprendimento' vanno rendendosi conto con sempre maggiore consapevolezza del fatto che esistono limitazioni biologiche che restringono la generalità di leggi o principi di comportamento. Incoraggiati dal successo ottenuto da Skinner nell'addestrare i ratti, K. e M. Breland si misero a usare i principi di Skinner per insegnare agli animali a eseguire esercizi da parco dei divertimenti. In uno scritto intitolato *The misbehavior of organisms*, essi riferirono che il successo ottenuto nell'addestramento di animali come galline, maiali e procioni richiedeva una comprensione del tipo di risposte che gli animali erano o non erano preparati a dare (v. Breland e Breland, 1961). Per esempio, potrebbe darsi il caso che sia impossibile insegnare a un maiale affamato, mediante procedure di condizionamento operante, a dare una risposta che competa con la risposta 'grufolante' data di solito da un maiale affamato. Seligman ha riassunto elegantemente gran parte delle prove che dimostrano l'importanza delle differenze individuali e di specie nelle capacità di apprendimento (v. Seligman, 1970). I ratti, per esempio, imparano presto ad associare determinati sapori con un successivo mal di stomaco, anche se questo sopraggiunge dopo un lungo lasso di tempo, e di conseguenza imparano a evitare i cibi tossici. Invece, hanno grande difficoltà ad associare un sapore con un calcio dato per punizione (v. Garcia e Koelling, 1966). I gabbiani reali imparano

rapidamente a riconoscere i propri piccoli ma non riconoscono le proprie uova. Quando tali fatti vengono accuratamente indagati, diventa chiaro che vi sono numerose prove che l'animale non è una tabula rasa. Le teorie del comportamento dovranno tener conto di questi fatti riguardanti il comportamento stesso. Come ha sottolineato Seligman, "gli animali, incluso l'uomo, imparano alcune cose facilmente, altre a prezzo di grande applicazione, e altre ancora non le imparano affatto. Alcune specie imparano particolari cose meglio di altre cose e meglio di altre specie. Nell'ambito di una specie, alcuni individui sono in grado di imparare particolari cose meglio in un certo stadio di sviluppo che in un altro. Alcune di queste differenze sono determinate da fattori ambientali, altre da fattori evolutivi. È difficile negare tali differenze, ma è facile trascurarle" (v. Seligman e Hager, 1972, p. 463).

7. Il behaviorismo: eredità e prospettive

Il behaviorismo ha influenzato la psicologia a livello teorico e pratico, e altre scienze comportamentali e sociali, per quasi tre quarti di secolo. Alcuni dei suoi influssi sono stati superati, altri ci accompagnano sotto forma di ideologia diffusa e sottile, altri infine sono tuttora da sviluppare. Benché probabilmente non sia ancora il momento giusto per valutare pienamente il contributo del behaviorismo, alcune conclusioni generali sembrano legittime.

Il movimento behaviorista, iniziato fra la fine del secolo scorso e i primi anni del secolo attuale, ha determinato molti influssi positivi. In primo luogo, ed è forse la cosa più importante, il behaviorismo ha aiutato a rendere lo studio del comportamento una legittima impresa scientifica. Il significato, tanto a livello teorico quanto a livello pratico, di tale contributo, difficilmente può essere sopravvalutato. In secondo luogo, nel legittimare lo studio del comportamento, il behaviorismo ha aiutato a liberare psicologia e biologia dal metodo e dalla teoria mentalistici del XIX secolo. Altre correnti contemporanee, incluse la psicologia della forma e la psicanalisi, sono state determinanti in tal senso, ma gli assalti behavioristici erano espliciti e nello stesso tempo vigorosi. In terzo luogo, le teorie behavioristiche hanno stimolato vivamente lo sviluppo di teorie alternative sul comportamento. In quarto luogo, nel sottolineare l'importanza del controllo come obiettivo della scienza, e nello sviluppare metodi oggettivi d'indagine, il behaviorismo ha avuto un'influenza enorme in ambiti scientifici interessati al controllo del comportamento. Le opere dei behavioristi, in particolare di Pavlov, Thorndike e Skinner, hanno portato allo sviluppo di pratiche specifiche nel campo dell'educazione, della riabilitazione e della psicoterapia. Le tecniche di modificazione del comportamento attualmente in voga derivano direttamente dai metodi sviluppati dai primi behavioristi. La dimostrazione di Watson (v. Watson e Raynor, 1920) che a un bambino si potrebbe insegnare, mediante l'uso di procedure di condizionamento, ad aver paura di oggetti indistinti, aprì la via al trattamento di paure, in particolare di fobie, mediante metodi

behavioristici come la desensibilizzazione e il condizionamento opposto. La teoria e i metodi attuali della 'modificazione del comportamento' contrastano vivamente con quelli di concezioni orientate più dinamicamente, come la psicanalisi (v. Breger e McGaugh, 1965).

Comunque le speranze espresse da Watson nel 1913 non si sono realizzate in pieno. Il behaviorismo non è stato capace di liberarsi completamente dalle spiegazioni del comportamento espresse in termini mentalistici. La teoria cognitiva ha registrato incessanti sviluppi e gli scienziati del comportamento continuano a studiare processi come la percezione, la memoria e il pensiero. La maggior parte degli psicologi non è convinta che sia possibile comprendere o controllare il comportamento senza un'indagine sui processi cognitivi centrali. Comunque, è doveroso sottolineare il fatto che il behaviorismo ha imposto un approccio obiettivo allo studio delle attività cognitive e continua a insistere sulla necessità di adeguarsi al principio di parsimonia in sede teorica. Il behaviorismo ha tuttavia mancato di sviluppare una teoria adeguata. Le prime teorie periferistiche erano condannate fin dall'inizio poiché erano troppo semplicistiche. Gli ulteriori sviluppi non presentarono vantaggi rispetto ad altre teorie, nè in quanto a capacità di previsione, nè dal punto di vista del principio di parsimonia. Mentre è un fatto assodato che il comportamento è modellato dall'ambiente, le spiegazioni di come ciò avvenga, in termini di stimoli, risposta e rinforzo, si sono dimostrate inadeguate. I principi meccanicistici proposti erano semplicemente incapaci di spiegare la complessità del comportamento (v. Deutsch, 1956).

Il behaviorismo non ha ancora portato alla comprensione dei principi generali del comportamento, né ci ha fornito la tecnologia per un suo efficace controllo. Sembra probabile che si avranno progressi tecnologici nel controllo del comportamento solo quando, come è già accaduto in altri settori della tecnologia, come l'agricoltura e la medicina, avremo raggiunto una maggiore comprensione delle basi biologiche e della natura dei fenomeni in questione. Probabilmente saremo in grado di rendere l'uomo capace di realizzare il suo potenziale soltanto quando ne sapremo di più su ciò che l'uomo è capace di fare. Avremo una tecnologia efficace soltanto quando le opportunità ambientali saranno accuratamente sintonizzate con le capacità potenziali umane. Abbiamo a disposizione alcuni indizi. Sappiamo che le prime esperienze sono particolarmente importanti nello sviluppo del comportamento sociale. Come ha mostrato il lavoro di Piaget, alcune abilità specifiche (skills) vengono acquisite rapidamente durante specifici periodi dello sviluppo. E noi troviamo facile apprendere alcune abilità specifiche, come il linguaggio, e difficile impararne altre. Si tratta di incapacità di apprendere e di insegnare dovute a deficienze tecniche o a carenza di sintonia fra le tecniche e le disponibilità biologiche?

Se il behaviorismo deve continuare a perseguire lo scopo di realizzare un efficace controllo del comportamento, queste questioni dovranno essere affrontate onestamente. Ma per ottenere ciò, il

behaviorismo dovrà continuare a evolversi, sia come teoria sia come metodo. Resta da vedere se il tipo di behaviorismo che ne risulterà, cercando di conciliare i complessi fenomeni biologici e psicologici, sarà vitale.

Comportamento

Universo del Corpo (1999)

di A. Charles Catania e Accursio Gennaro

Comportamento

Per comportamento si intende in generale il modo in cui un soggetto agisce in determinate situazioni, ponendosi in rapporto con l'ambiente e con le persone con cui è a contatto. Nel linguaggio psicologico viene definito come comportamento il complesso degli atteggiamenti che l'individuo assume in reazione a determinati stimoli ambientali o a bisogni interni, oppure l'attività globale di un soggetto considerata nelle sue manifestazioni oggettive.

sommario: Analisi sperimentale del comportamento. I. Definizione. 2. Filogenesi e ontogenesi. 3.

Comportamento rispondente e comportamento operante. 4. Organizzazione temporale. Disturbi del comportamento. I. Aspetti neurofisiologici. 2. Disturbi della condotta in età evolutiva. 3. Il comportamento come modalità incongrua. □ Bibliografia.

Analisi sperimentale del comportamento

di A. Charles Catania

I. Definizione

L'analisi sperimentale del comportamento è nata con le ricerche condotte da B.F. Skinner, il cui modello è stato definito comportamentismo radicale. Una delle sue caratteristiche è infatti quella di analizzare il comportamento in sé, quale interazione fra l'organismo e l'ambiente, e non come derivazione o indice di un'altra attività, come quella mentale o cognitiva. Un altro aspetto distintivo dell'analisi sperimentale è l'enfasi posta sul modo di comportarsi dei singoli individui. Una procedura sperimentale che abbia effetti ampi e affidabili può essere condotta solo su un numero limitato di soggetti, verificando successivamente i risultati con ricerche allargate. Se un esperimento dà risultati variabili, si cerca di affinare i dettagli della procedura

sperimentale in maniera da identificare le origini di tale variabilità, piuttosto che limitarsi semplicemente ad aumentare il numero dei soggetti e calcolare medie su campioni più ampi. L'analisi sperimentale è quindi definita più dai suoi metodi, i quali consentono la separazione delle varie componenti di un comportamento, che dalla presunta priorità di determinati processi comportamentali.

Alcuni tra i primi approcci della psicologia al problema del comportamento, come il comportamentismo metodologico di J.B. Watson (1919), prendevano in considerazione soltanto i movimenti muscolari e le secrezioni ghiandolari. Ma l'analisi non può limitarsi a simili parametri di tipo fisiologico, in quanto va intesa come comportamento qualsiasi interazione fra un organismo e il suo ambiente, che possa o meno essere misurata in termini di contrazioni muscolari o attività ghiandolari. Pensare, immaginare e porre attenzione sono evidentemente manifestazioni comportamentali, che possono quindi essere oggetto di studio vero e proprio, pur non implicando necessariamente movimento. Un esempio è l'esperimento condotto da G. Sperling e A. Reeves (1980): se una sequenza di lettere e una di numeri vengono fatte scorrere rapidamente accanto a un punto su cui si fissa lo sguardo di un soggetto, questi può spostare la propria attenzione dall'una all'altra sequenza senza muovere gli occhi; se al soggetto viene richiesto di spostare l'attenzione dai numeri alle lettere solo all'apparire di un certo numero, dalla prima lettera che risulta osservata è possibile valutare quanto tempo richieda lo spostamento dell'attenzione. Si tratta, quindi, in questo caso, di un tipo di comportamento misurabile anche in assenza di movimento. Caratteristica del comportamentismo di Watson era anche l'esclusione dalla propria indagine di fenomeni di tipo 'personale', aspetti recuperati invece, quanto meno in modo indiretto, dall'analisi sperimentale contemporanea, che pur riconosce le difficoltà esistenti nell'adozione di un vocabolario comune a proposito di esperienze soggettive, quali i sentimenti, i dolori, le emozioni. Alcuni ricercatori hanno ritenuto che il loro compito principale fosse quello di cercare spiegazioni del comportamento in altri sistemi, come quelli fisiologici, piuttosto che analizzarlo in sé, quale componente essenziale della vita. Un approccio riduzionistico, secondo il quale il comportamento andrebbe compreso facendo riferimento a concetti e variabili propri della fisiologia (Hull 1943), risulta prematuro se non sono comprese a fondo le proprietà del comportamento in sé stesse. Le modifiche comportamentali sono senza dubbio correlate a modifiche nel sistema nervoso, ma il comportamento coinvolge l'intero organismo. Un sistema nervoso che non avesse niente a che fare con gli organi di senso attraverso cui l'organismo entra in contatto con il mondo, o con il sistema motorio con cui agisce, sarebbe di ben scarso interesse. È per questo motivo che il comportamento ha priorità sulla fisiologia, nel senso che non possiamo studiare la fisiologia del comportamento se non conosciamo le proprietà di quest'ultimo.

2. Filogenesi e ontogenesi

Alcuni comportamenti sono istintivi o innati, mentre altri vengono appresi nel corso della vita. Uno degli scopi dell'analisi sperimentale è distinguere fra i comportamenti che derivano dalla storia evolutiva di un organismo (la sua filogenesi) e quelli che derivano dalle esperienze individuali (la sua ontogenesi). Un esempio di comportamento determinato filogeneticamente sono i riflessi, per i quali un particolare stimolo produce una particolare risposta (per es., un colpetto sul tendine patellare provoca una rapida estensione del ginocchio, o una cipolla affettata causa lacrimazione). Va tuttavia notato che non tutti i comportamenti determinati filogeneticamente si attuano in risposta a uno stimolo: alcuni si verificano spontaneamente, come nel caso degli schemi comportamentali del corteggiamento, indotti dai cambiamenti ormonali stagionali anche in assenza di individui dell'altro sesso.

Nel linguaggio comune si fa spesso un uso improprio del termine 'riflesso', per es. quando di un atleta si dice che ha i riflessi pronti. Sebbene alcuni aspetti della coordinazione motoria possano implicare vere e proprie azioni riflesse (come il posizionamento delle gambe per mantenere l'equilibrio), la maggior parte delle azioni caratteristiche degli sport competitivi non richiede azioni riflesse, ossia azioni filogeneticamente programmate indotte da uno stimolo. Piuttosto, esse sono esempi di comportamento operante (v. oltre). Tali azioni fanno parte di uno schema operativo a tre elementi, in cui una risposta si determina in presenza di uno stimolo in quanto produce una particolare conseguenza in quella situazione (i tre elementi dello schema sono lo stimolo, la risposta e le sue conseguenze). Sebbene risposte di questo tipo possano avvenire con tempi di reazione molto brevi, non è corretto in tal caso parlare di 'riflessi pronti', poiché esse derivano in maniera prevalente dalle esperienze individuali, hanno cioè componenti sostanzialmente ontogenetiche.

Questo aspetto può essere chiarito grazie all'esempio classico dell'imprinting (v.), descritto in dettaglio da K. Lorenz (1937): se un anatroccolo appena uscito dal guscio vede sua madre o un altro oggetto in movimento, lo stimolo acquisisce uno speciale significato per l'anatroccolo che comincia a seguire la madre (o l'oggetto in movimento) ovunque essa (o esso) vada. Nei primi studi sull'imprinting si riteneva che lo stimolo in movimento provocasse direttamente la risposta del seguire, ma tale impostazione è stata corretta grazie agli esperimenti di N. Peterson (1960): questi organizzò l'ambiente sperimentale in modo che per continuare a vedere lo stimolo in movimento l'anatroccolo non dovesse seguirlo, così come avviene nell'ambiente naturale, ma dovesse invece restare fermo su una piattaforma o beccare un tasto, e dimostrò che gli anatroccoli imparavano a fare qualsiasi cosa fosse necessaria per mantenere lo stimolo nel proprio campo visivo. L'elemento filogenetico dell'imprinting non è quindi la relazione fra lo stimolo (l'oggetto in movimento) e la risposta del seguire, bensì la capacità di attribuire un significato particolare a uno stimolo visto precocemente. Una volta che ciò sia avvenuto, la relazione fra lo stimolo e il comportamento deriva da una componente ontogenetica, per la quale l'anatroccolo impara quale comportamento può mantenerlo in prossimità dello stimolo. Quindi la risposta corretta alla domanda se un certo comportamento è il risultato della filogenesi o

dell'ontogenesi è che esso, in molti casi, come anche in quello citato, è il prodotto congiunto di entrambe (Skinner 1966).

3. Comportamento rispondente e comportamento operante

Una risposta provocata da uno stimolo è detta comportamento rispondente. Tuttavia, non tutti i comportamenti vengono così indotti, in quanto la risposta può avere altre cause. Di particolare importanza è il tipo di comportamento detto operante, che viene messo in atto a causa delle conseguenze che ha avuto in passato (Skinner 1938). Il comportamento operante è agito più che indotto; esso corrisponde, in linea di massima, a ciò che colloquialmente è chiamato comportamento volontario o 'diretto a uno scopo'. Ne sono esempi manipolare oggetti, parlare, andare da un posto all'altro: con il comportamento operante un organismo interagisce con l'ambiente, non è sospinto qua e là passivamente dagli eventi. L'aver ammesso che il comportamento può verificarsi spontaneamente ed essere condizionato più dai suoi effetti che dalle sue cause ha rappresentato un punto di svolta degli studi, in quanto la critica precedente aveva sostenuto che a ogni risposta comportamentale dovesse corrispondere uno stimolo. Il rifiutare questo assunto non implica che le risposte comportamentali siano prive di causa, ma che se ne possano riscontrare altre oltre agli stimoli immediati. Consideriamo il pianto di un bambino. Il dolore o il disagio fisico possono essere sufficienti a provocarlo, ma il bambino può anche piangere perché sa che così facendo attrae l'attenzione del genitore. Il pianto che deriva dalla capacità di suscitare attenzione è operante piuttosto che rispondente.

Le conseguenze di una risposta possono aumentare o diminuire la frequenza con cui si riproporrà. Per es., la frequenza con cui un ratto affamato abbassa una leva aumenterà se questo provoca la caduta nella mangiatoia di un pezzetto di cibo, mentre diminuirà se il ratto riceve una scossa elettrica. Tali conseguenze vengono chiamate rispettivamente rinforzo e punizione. Se una risposta smette di avere uno degli effetti suddetti, la sua frequenza tornerà ai livelli iniziali. Questo processo, detto estinzione, non va considerato separatamente dal rinforzo; esso dimostra infatti che gli effetti del rinforzo sono temporanei (v. condizionamento). I rinforzi devono essere definiti in relazione alle risposte che determinano (Premack 1971). Quando una risposta è più probabile di un'altra, essa può essere utilizzata per rinforzare quella meno probabile: queste relazioni offrono un criterio comportamentale più che fisiologico per predire l'efficacia di un rinforzo. Uno dei più importanti settori dell'analisi del comportamento è lo studio dei programmi di rinforzo, che specificano quale risposta verrà rinforzata sulla base del numero di risposte, del momento in cui avvengono o della loro frequenza. Questi dati hanno andamenti caratteristici, e possono anche essere combinati in maniere diverse così da produrre dei comportamenti analoghi ai comportamenti umani complessi, basati su fattori quali scelte, preferenza e autocontrollo (Ferster-Skinner 1957). Il comportamento non si definisce sulla base della sua forma, bensì della sua funzione nell'interazione tra l'organismo e il suo ambiente. Come illustrato nell'esempio

del bambino che piange, la funzione di un comportamento è spesso più significativa della sua struttura. Un genitore può essere in grado di distinguere fra il pianto indotto dal dolore e quello che serve ad attirare l'attenzione, e l'importanza di ciò sta nel fatto che i due tipi di pianto hanno funzioni differenti anche se una forma simile. Una risposta indotta da uno stimolo è diversa da una che avviene perché è stata rinforzata. Il rinforzo può essere usato per creare nuove forme di comportamento con una procedura detta modellamento, che consiste nel rinforzare in successione le risposte in modo che si avvicinino sempre più al modello prescelto. Il modellamento assume rilevanza nelle più svariate attività, quali per es. la ginnastica, lo scrivere a mano o il suonare uno strumento musicale, ed è probabilmente utilizzato (anche se solo in maniera intuitiva) da ogni buon insegnante o allenatore. A ogni stadio di una procedura di modellamento alcune risposte vengono rinforzate e altre no. L'aspetto più importante è che i criteri utilizzati per questo rinforzo differenziale che cambia con il procedere del modellamento hanno il fine di approssimarsi sempre più al modello voluto. In tal modo il rinforzo può creare nuove strutture comportamentali.

4. Organizzazione temporale

Il comportamento ha una sua organizzazione temporale, la cui natura è stata al centro di una lunga controversia. Alcune sequenze comportamentali possono essere distinte in diverse componenti, così che ogni risposta produce le condizioni che danno luogo alla successiva. Per es., nell'entrare in una stanza l'abbassamento della maniglia consente l'apertura della porta che a sua volta consente l'ingresso vero e proprio. Una simile sequenza è detta 'catena di risposte' e le sue proprietà sono determinate dall'ambiente (in questo caso dalle caratteristiche della maniglia e della porta).

Alcune sequenze comportamentali sono facilmente riconducibili alle loro componenti unitarie, ma esistono anche sequenze che non possono essere ridotte a catene comportamentali (Lashley 1951). Per es., quando una dattilografa scrive 'il', le due lettere non possono agire da stimolo discriminante per la battitura della lettera successiva, perché nessuna lettera può agire da stimolo discriminante univoco, visto che è sempre possibile continuare in diverse maniere (nel nostro esempio, con 'illusione', 'illogico', o uno spazio bianco e una nuova parola). In alcune sequenze comportamentali ogni risposta produce le condizioni che stimolano la risposta successiva, mentre in altre le risposte avvengono in un certo ordine, senza che ciascuna di esse sia dipendente dalle conseguenze della precedente.

Disturbi del comportamento

di Accursio Gennaro

I. Aspetti neurofisiologici

Il comportamento è caratterizzato da processi biologici e neurofisiologici, da organizzazioni psicologiche individuali direttamente osservabili e da condizioni dell'esperienza, che possono configurarsi in modi manifesti o meno rispetto alle diverse situazioni. Il comportamento è quindi un concetto dimensionale-qualitativo che comprende diversi fattori connessi tra di loro. I disturbi comportamentali non possono che essere compresi secondo una visione il più possibile estesa e generale, che si liberi da un lato dalla rigidità strettamente nosografica e privilegi dall'altro la loro complessità, secondo un'impostazione rigorosa e sistematica.

Nella patologia neurologica questi disturbi rappresentano una categoria univoca che include tutte le alterazioni neurofisiologiche del comportamento, particolarmente traumi cranici, lues cerebrali, tumori cerebrali, vasculopatie cerebrali, epilessia, malattie infiammatorie (Colucci D'Amato-Vizioli 1981). In neurologia vengono spesso considerati congiuntamente i disturbi del comportamento e delle emozioni. Infatti, a esclusione di quelli che dipendono da un basso livello di vigilanza o da un'insufficiente analisi cognitiva della situazione, tutti gli altri disturbi delle condotte sociali o interpersonali possono essere ricondotti a perturbazioni della sfera emozionale (Gainotti 1996).

La localizzazione delle strutture che influenzano il comportamento e le emozioni è ancora approssimativa, ma si fa riferimento soprattutto al sistema limbico con i suoi collegamenti, in particolare con i sistemi motori e del lobo frontale (Bugiani 1996). Il sistema limbico è costituito da un insieme di strutture cerebrali che, agendo in stretta correlazione funzionale, provvedono alla conservazione dell'individuo e della specie. Esso segna il passaggio da una forma di vita basata sul meccanismo riflesso (la risposta indifferenziata allo stimolo e propria della specie) a una forma di vita in cui la risposta è adeguata alle circostanze, alle risorse dell'individuo e all'organizzazione sociale del gruppo per ciò che attiene alla conservazione della specie. La specializzazione e la complessità della risposta limbica si accrescono con l'evoluzione filogenetica, fino a raggiungere il livello che si riscontra nell'uomo, in cui i meccanismi di conservazione sono filtrati dalla funzione corticale. Risulta chiaro che un sistema cerebrale deputato a compiti vitali così rilevanti debba disporre di un effettore capace di attuare le scelte operate: il soma. Il corretto funzionamento di questa macchina assai complessa dipende dalla omeostasi, cioè dall'equilibrato rapporto tra tutte le funzioni vitali (l'apporto energetico, i processi metabolici splancnici a questo connessi, ivi comprese le adeguate funzioni cardiaca e respiratoria ed endocrina), e dalla possibilità di acquisire esperienza. È grazie a questa condizione che il soma è in grado di operare in funzione delle scelte limbiche. Solo nell'uomo il sistema limbico si completa e acquisisce la componente corticale di eminente significato soppressorio (di dominio e regolazione sulle strutture più antiche). La verifica delle predizioni che i modelli interpretativi consentono nell'ambito neurofisiologico è in grande espansione, ma tuttora in fase preliminare. Attualmente non è plausibile pensare che i disturbi del comportamento determinati dalla patologia neurologica rinviino a una sede neuroanatomica

precisa; più probabilmente, lesioni poste in parti diverse della rete neurale che sottende aspetti diversi della sfera emozionale possono determinare disturbi specifici del comportamento emozionale (Gainotti 1996).

2. Disturbi della condotta in età evolutiva

Con disturbi della condotta, si indica una patologia più ristretta rispetto ai disturbi del comportamento, e limitata all'età dello sviluppo (infanzia, fanciullezza e adolescenza). Si tratta di una persistente modalità di condotta in cui i diritti fondamentali degli altri vengono violati. I soggetti con tali disturbi sono crudeli con le persone e gli animali, sono i primi ad aggredire e tendono a distruggere le cose altrui. Spesso evitano di andare a scuola, mentono, rubano. Possono arrivare a casi estremi, come per es. furti con scasso e aggressione generalizzata. Il disturbo della condotta è più grave del disturbo oppositivo-provocatorio, in cui i diritti degli altri e le norme vengono rispettati.

Tra le manifestazioni associate, sono comuni l'uso e l'abuso di farmaci, alcol e tabacco e un comportamento sessuale precoce e disordinato. L'autostima è solitamente bassa e il rendimento scolastico è inferiore alla media. Sono frequenti come diagnosi aggiuntive il disturbo da deficit di attenzione con iperattività e quelli specifici di sviluppo. Il decorso di queste alterazioni della condotta è variabile; le forme gravi tendono a persistere nell'età adulta come disturbo antisociale di personalità o come comportamento antisociale nell'adulto, che si distingue perché vi è un funzionamento sociale adeguato, pur nel persistere di attività illegali. Le ipotesi dominanti relative alle condotte antisociali fanno riferimento a un deficit del sistema cognitivo connesso con l'impulsività o con il malfunzionamento di specifiche abilità di pianificazione e di autocontrollo. Per impulsività si intende la tendenza ad agire senza pensare e pianificare, anche se tale definizione è controversa. Alcuni studiosi di genetica del comportamento interpretano l'impulsività come una caratteristica del temperamento ereditata tramite il patrimonio genetico. Un'altra definizione del termine è stata data in funzione della scarsità del controllo comportamentale. Secondo alcune teorie esistono due sistemi comportamentali fondati biologicamente: il sistema di inibizione comportamentale e quello di attivazione comportamentale. Sono definiti impulsivi i soggetti che presentano uno squilibrio tra i due sistemi; tendono a eludere gli effetti della punizione e mostrano una particolare sensibilità ai premi (Pastorelli 1994).

Fondamentali, in vista del raggiungimento dell'autocontrollo, sono le figure genitoriali, le quali forniscono le condizioni di apprendimento della capacità di valutazione, di risoluzione dei problemi, di contenimento e di concentrazione.

3. Il comportamento come modalità incongrua

L'organizzazione globale del comportamento tende a una continua integrazione che coinvolge una varietà di processi psichici propri della personalità dell'individuo. In questo senso, da un lato, i disturbi del

comportamento possono configurarsi in senso strettamente sintomatico, con diversi quadri clinici in cui la patologia si caratterizza per vari livelli di gravità (dalla sintomatologia nevrotica a quella relativa ai problemi dell'identità e della scissione dell'identità); dall'altro tali disturbi, pur non declinandosi in una patologia specifica, rappresentano dei fattori perturbanti che possono alimentare una condizione conflittuale. In questa prospettiva, che tiene conto del comportamento globale e quindi della personalità, è fondamentale considerare il ruolo delle determinanti inconscie che rendono ragione di comportamenti inadeguati. La matrice di tali disfunzionalità risiede nella natura delle prime esperienze, nel modo in cui esse sono state interiorizzate, nella particolare traiettoria evolutiva che, segnando l'itinerario della vita psichica, viene poi significativamente a incidere sulle manifestazioni comportamentali del soggetto.

La nostra esperienza è regolata da rappresentazioni inconscie e implicite che modulano lo sviluppo (Eagle 1987) e l'emergere o meno di determinati comportamenti. Spesso sono le parti implicite della nostra organizzazione individuale che, mantenendosi a un livello inconsapevole o di bassa consapevolezza, possono attivare processi dissonanti che possiamo sperimentare in maniera conflittuale. In queste condizioni è molto probabile che il comportamento possa emergere attraverso manifestazioni contrassegnate da palesi incongruenze, per es. reazioni umane esagerate e deformate suscettibili di provocare stati di inquietudine, di malessere e di sofferenza. Ciò che è implicito, quindi, costituisce una costante del comportamento ed esercita una forte pressione sul soggetto, la cui reazione dipende dalla natura e dal significato di quel che è sommerso, dalle risorse individuali e da contesti ambientali specifici. L'incongruenza rappresenta una determinante costitutiva del comportamento; in certe condizioni l'individuo 'normale' può perdere temporaneamente l'adeguata organizzazione del suo comportamento o sentirsi sopraffatto da eventi incontrollabili che generalmente riesce a gestire. Il comportamento può essere così frequentemente soggetto a processi instabili: mentre la loro persistenza può innescare particolari disturbi, la loro elaborazione può determinare nuovi elementi di organizzazione che portano a un nuovo e diverso equilibrio comportamentale. L'analisi di tali processi ci porta a riconoscere, come ha chiarito J.B. Rotter (1955, 1972), la necessità di prevedere il comportamento sulla base delle condizioni esterne soggettivamente percepite. In tale ottica, la sua previsione è dovuta alla direzionalità, all'intenzionalità e alla motivazione, che mettono in luce come esso sia un potenziale e non una semplice reazione osservabile. Il 'potenziale di comportamento' concerne la probabilità che un comportamento si verifichi in una data situazione, considerata e calcolata in termini di rinforzo. Anche i bisogni sono delle potenzialità in quanto sottendono e modulano le aspettative-mete del soggetto. Ciò determina un'ampia variabilità circa le espressioni del comportamento. Quello fortemente disadattivo e molte forme di disagio psichico si configurano come le risultanti di aspettative e mete irrealistiche che impediscono l'accessibilità alla soddisfazione e al rinforzo.

Secondo la teoria dell'apprendimento cognitivo-sociale di impronta costruttivista (Mischel 1968, 1990, 1993; Bandura 1986, 1994), l'incongruenza del comportamento può essere analizzata attraverso il modo in cui si organizza il sistema di elaborazione dell'esperienza. Di tale sistema è fondamentale la capacità di autoregolazione che consente all'individuo di motivare sé stesso attraverso obiettivi e standard interni, di darsi delle prescrizioni e di operare una valutazione della propria condotta. L'autoregolazione si riferisce alla pianificazione, alle regole, alle norme autodeterminate che le persone applicano a sé stesse quando mettono in atto il comportamento. Quest'ultimo appare regolato non tanto dalle sue conseguenze immediate ma da quelle attese, e perciò dalla capacità che il soggetto ha di rappresentare un ventaglio di conseguenze possibili, abbracciando una dimensione temporale che comprende il passato e innumerevoli rappresentazioni del futuro. La gran parte del comportamento umano è regolata non dai rinforzi esterni ma dagli effetti che le proprie valutazioni hanno sugli stessi soggetti che le esprimono, sotto forma di soddisfazione di sé, di autoapprovazione, di autocriticismo (Caprara-Gennaro 1994). L'ambiente, la persona e il suo comportamento sono il risultato di un'interazione multipla (reciproco determinismo). Quando il sistema di autoregolazione e i processi di autovalutazione sono inadeguati, la relazione della persona con l'ambiente può essere permeata da comportamenti incongrui che influenzano e a loro volta risultano influenzati dal complesso rapporto persona-ambiente-comportamento. Tale processo apporta variazioni significative rispetto alla percezione della realtà, di sé stessi e della propria condotta. Pensieri di tipo ansiogeno, per es., non contengono solo dubbi circa sé stessi e le proprie capacità, ma possono provocare una distorsione del comportamento e del contesto specifico. Ciò mette in primo piano la difficoltà di attivare processi di autoregolazione in grado di sostenere la motivazione personale. Il comportamento, in tal senso, oltre che inadeguato, può sovente essere ostacolato nella sua espressione o può cristallizzarsi in modi che bloccano le aspettative della persona secondo forme autopunitive o inibitorie, che impediscono il naturale protendersi nella realtà. In particolare, i comportamenti gravemente disfunzionali derivano da processi di autovalutazione e di autoregolazione fortemente inefficaci che minano alla base tutto il sistema motivazionale dell'individuo.

Comportamenti Collettivi

XXI Secolo (2010)

di **Andrea Cavagna, Irene Giardina**

Comportamenti collettivi

L'autorganizzazione nelle scienze naturali ed economico-sociali

Chiunque abbia avuto l'occasione di assistere alle evoluzioni in volo di un gruppo di storni non può che essere rimasto affascinato da tale meraviglioso e paradigmatico esempio di

comportamento collettivo animale. Questi uccelli, raggruppati in enormi stormi che possono contare sino a centinaia di migliaia di individui, compiono al tramonto evoluzioni complicatissime, dando prova di una sorprendente coordinazione. Spesso, queste evoluzioni sono causate dal tentativo del gruppo di sfuggire a un predatore in caccia; altre volte sembra che non vi sia un motivo apparente e che il fenomeno sia causato dal puro piacere degli uccelli di danzare nel cielo. La sensazione più forte per un osservatore è quella dello stormo come entità a sé stante, dotata di vita e intelligenza propria; qualcosa di fondamentalmente diverso (e superiore) rispetto alla semplice somma delle sue parti, ovvero gli uccelli. È proprio questa impressione che ci porta a volte a parlare di intelligenza collettiva del gruppo e, nello stesso tempo, a domandarci quale sia l'origine di tale intelligenza.

In realtà, come vedremo, il comportamento collettivo è il risultato di semplici regole, che sono allo stesso tempo strettamente individuali e locali: ogni uccello interagisce solo con gli individui a lui vicini nello spazio, senza avere nessuna cognizione della struttura globale del gruppo. Per es., ogni uccello cerca di allineare la propria direzione del moto a quella dei vicini e questa tendenza locale all'allineamento si propaga da uccello a uccello, generando la coordinazione collettiva che tanto stupisce l'osservatore. È più appropriato, dunque, parlare di comportamento collettivo, piuttosto che di intelligenza collettiva. Quello che di veramente intelligente troviamo in questi fenomeni sono le regole di comportamento dei singoli individui, capaci di generare una tale efficace coordinazione a livello di gruppo. Queste regole sono state plasmate dall'evoluzione e sono dunque ottimizzate per garantire le maggiori probabilità di sopravvivenza e la maggiore adattabilità.

Un secondo aspetto rilevante è che spesso nell'evoluzione di uno stormo di uccelli non c'è alcun controllo centralizzato, quale potrebbe essere quello indotto da un leader. Tutte le decisioni del gruppo (come un cambio di direzione o l'atterraggio) vengono determinate collettivamente attraverso un meccanismo di amplificazione di una fluttuazione locale. Per es., se un certo numero di uccelli, superiore a una determinata massa critica, cambia direzione all'improvviso, attraverso le regole di comunicazione locale questa fluttuazione si diffonde all'interno dello stormo, dando luogo a un cambio di direzione globale. Questo fenomeno di coordinamento decentralizzato, basato sull'applicazione scrupolosa di regole di comportamento locali, è chiamato autorganizzazione (Camazine, Deneubourg, Franks et al. 2001). Quello degli storni, dunque, è un tipico caso di comportamento collettivo autorganizzato.

Il fenomeno dell'autorganizzazione non è certo limitato agli storni, ed è anzi molto diffuso nel regno animale (*Animal groups in three dimensions*, 1997; Krause, Ruxton 2002). A parte varie specie di uccelli che formano stormi più o meno grandi, è notevole il caso dei pesci che formano enormi banchi con caratteristiche di autorganizzazione simili a quelle degli uccelli, anche se con proprietà morfologiche alquanto differenti. Sardine, aringhe e merluzzi sono tutte specie gregarie che possono formare gruppi coesi dal movimento molto coordinato. Uccelli e pesci danno luogo a evoluzioni straordinarie soprattutto per la

loro possibilità di muoversi liberamente in tre dimensioni. Tuttavia, si verificano numerosi casi di comportamento collettivo anche tra gli animali terrestri che si muovono in due dimensioni. È questo il caso di molti grandi mammiferi, come zebre e bufali. Spesso in gruppi più ridotti di pesci e uccelli, e con una minore fluidità di manovra dovuta alla presenza di impedimenti terrestri, questi animali hanno una dinamica autorganizzata non troppo dissimile da quella descritta sopra: sotto l'influsso di uno stimolo esterno, tipicamente un predatore, il gruppo si muove in modo coordinato, massimizzando la probabilità di fuga dei suoi membri. Anche in tale caso, la coordinazione discende da regole di comportamento puramente locali seguite dagli individui. Il comportamento collettivo animale, inoltre, non è certo limitato ai Cordati. Esempi straordinari vengono anche dagli sciami di insetti, quali moscerini e locuste, e dalle dinamiche collettive degli insetti sociali, in particolare dalle api e dalle formiche (Camazine, Deneubourg, Franks et al. 2001). L'enorme differenza in termini evolutivi fra Cordati e Artropodi, che hanno una radice evolutiva comune solamente nel fatto di essere entrambi Animalia, dimostra quanto il comportamento collettivo abbia origini profonde e generali.

Ampliando la prospettiva, ci rendiamo conto che il comportamento collettivo autorganizzato è diffuso anche nel contesto dei fenomeni sociali ed economici, sebbene in questo caso non sempre la coordinazione raggiunta sia all'altezza di quella osservata negli animali. Esempi notevoli sono i fenomeni di affollamento, in cui imponenti masse di individui devono evacuare una regione confinata (per es., dopo un concerto, o in grandi manifestazioni di piazza); il traffico pedonale e automobilistico; gli applausi alla fine di un concerto e la hola messicana dei tifosi sportivi; ma anche fenomeni collettivi più squisitamente sociali, come la formazione di trend e flussi di opinione, gli effetti di herding (dall'inglese herd «gregge») e la creazione di bolle speculative nei mercati finanziari. In molti di questi esempi, come nel caso dei gruppi animali, ogni individuo agisce sulla base di un'informazione puramente locale e molto limitata, senza avere alcuna nozione del comportamento del gruppo. Ovviamente, gli esseri umani sono entità individuali molto più complesse di un insetto, un uccello o un pesce, e dotate di abilità cognitive superiori. In condizioni di forte sollecitazione e stress esterni, tuttavia, è ragionevole ipotizzare che un essere umano utilizzi delle capacità molto elementari, ma ad alta reattività, rinunciando a un'elaborazione strategica che renderebbe più lenta la propria azione. Sotto tale ipotesi è naturale aspettarsi che le regole di interazione fra gli individui non siano troppo dissimili da quelle usate nei gruppi animali e che, dunque, il comportamento collettivo derivante abbia alcuni aspetti analoghi.

Nonostante un comune contesto generale, certi problemi di origine economica e sociale presentano una maggiore complessità di analisi, per due motivi importanti. Innanzi tutto, il concetto di spazio in cui il comportamento collettivo ha luogo è radicalmente diverso. Nel caso animale lo spazio fisico gioca un ruolo fondamentale e la nozione di vicinanza fisica è essenziale nella definizione delle regole di interazione fra individui. Tipicamente, il legame e la tendenza imitativa sono forti tra individui fisicamente vicini, deboli tra individui lontani. Una situazione analoga si ritrova nei fenomeni di panico e, in una certa misura, nel traffico automobilistico e pedonale. In generale però gli esseri umani hanno

metodi più sofisticati di comunicare e stringere relazioni, e la rete delle interazioni sociali rilevanti non necessariamente è basata sulla distanza fisica.

Pensiamo, per es., ai mercati finanziari: anche qui la tendenza all'imitazione degli altri individui è molto forte; tuttavia, lo scambio di informazioni che lega fra di loro individui differenti non è limitato dalla vicinanza fisica dei medesimi, anzi le informazioni sono mediate e indirette, solitamente veicolate dall'andamento stesso dei prezzi, dai mass media e da Internet. In secondo luogo, come abbiamo visto, nei gruppi animali le regole di interazione sono abbastanza semplici, eppure in grado di spiegare il comportamento collettivo nel suo complesso. Nel caso sociale-economico, ciò può essere altrettanto vero in alcune circostanze, come, per es., nei fenomeni di affollamento e panico, laddove gli individui reagiscono velocemente (e dunque semplicemente) a una situazione di stress. In generale però, accanto ad atteggiamenti imitativi e a inclinazioni più irrazionali, possono convivere strategie decisionali più ponderate che sfruttano appieno la complessità cognitiva degli esseri umani che le prendono. Inoltre, la stessa scala temporale su cui le scelte avvengono è spesso molto più lunga di quella animale, rendendo possibile l'uso di un'ampia gamma di comportamenti. A seguito di ciò, il comportamento collettivo del sistema è determinato da regole di interazione più complesse e di più difficile modellizzazione. L'imitazione degli altri individui rimane un fattore fondamentale, ma di volta in volta è complicato individuare con precisione che cosa venga imitato e con quale meccanismo. Inoltre, un ruolo fondamentale viene sempre giocato dall'individualità umana che, in ogni momento, può prescindere da un mero meccanismo imitativo per scegliere una strategia personale basata su processi razionali di elaborazione delle informazioni. I mercati finanziari sono un esempio di tale coesistenza di regole comportamentali diverse: meccanismi imitativi si verificano sicuramente e sono all'origine delle tanto temute bolle speculative, durante le quali gli operatori finanziari comprano solo basandosi sul fatto che molti altri lo fanno, spingendo in tal modo il prezzo sempre più in alto. Tuttavia, l'analisi dei fondamentali economici e la presenza di strategie più razionali di copertura dal rischio possono prendere il sopravvento contribuendo a un riequilibrio dell'andamento dei prezzi. Nel caso animale, invece, questo non accade mai: è proprio la strettissima osservanza delle regole di comportamento, e dunque di imitazione dei vicini, che garantisce la coordinazione necessaria a scappare dal predatore. Ciò deriva anche dalla diversa origine del meccanismo imitativo. Nei raggruppamenti animali esso proviene da processi evolutivi per supplire alle carenze cognitive degli individui (che non saprebbero altrimenti coordinarsi) e garantire con la vita di gruppo una migliore attuazione di funzioni biologiche fondamentali (ricerca del cibo, reazione a predatori ecc.). Nei sistemi sociali, invece, esso sopraggiunge quando, per qualche motivo (paura, panico, eccesso di informazioni, fretta), gli individui rinunciano a utilizzare quelle abilità superiori che normalmente caratterizzano la loro condotta. Infatti, la pedissequa imitazione degli altri può avere effetti nefasti, come la creazione di ingorghi, folle e bolle speculative. Questa differenza fra i due casi ci deve mettere in guardia sul pericolo di generalizzare eccessivamente le analogie tra contesti molto differenti fra loro.

Infine, quale ultimo contesto in cui i fenomeni collettivi giocano un ruolo assai importante

va ricordata la fisica, e in particolare la fisica dei materiali. L'analisi dei fenomeni collettivi in fisica va ben al di là dello scopo di questo lavoro, tuttavia è importante menzionare tale ambito per almeno due motivi. Innanzi tutto, la fisica è stata la prima disciplina (ben prima di biologia e scienze sociali) a fornire una prova quantitativa di come un comportamento collettivo possa emergere da regole di interazione locali, senza necessità di un coordinamento centralizzato. In sintesi, la fisica ha formulato e descritto quantitativamente i primi fenomeni di autorganizzazione. L'esempio più lampante è quello dei fenomeni magnetici: la tendenza dei singoli spin (i momenti magnetici dei singoli atomi) ad allinearsi nella medesima direzione dei propri vicini dà luogo (a bassa temperatura) a una magnetizzazione globale spontanea, anche in assenza di campo magnetico esterno. Dal disordine può nascere l'ordine, come frutto di semplici meccanismi 'imitativi' di entità estremamente elementari (gli spin). In secondo luogo, la fisica ha avuto un ruolo importante perché diversi modelli e teorie del comportamento collettivo, sia animale sia sociale, sono fortemente ispirati a modelli matematici formulati originariamente per descrivere fenomeni fisici. Lo stesso concetto di interazione fra individui, quale, per es., l'attrazione fra uccelli entro uno stormo al fine di mantenere la coesione, è spesso modellato usando il concetto fisico di forza. Oppure, la tendenza ad allineare la propria velocità a quella dei propri vicini è matematicamente descritta da equazioni molto simili a quelle usate nei sistemi magnetici che servono per studiare l'allineamento fra diversi spin.

Comportamento collettivo e autorganizzazione sono dunque fenomeni diffusissimi in natura, presenti a vari livelli disciplinari, dalle scienze fisiche a quelle biologiche e sociali, e per questo il loro studio richiede un metodo fortemente interdisciplinare. Ogni campo ha le sue specifiche competenze e tende a formulare domande diverse a seconda del diverso contesto scientifico. Soltanto un approccio integrato fra le varie discipline permette di avere una visione completa e unitaria del problema.

L'analisi empirica

Il dato empirico deve sempre essere al centro dello sviluppo dell'analisi scientifica, e il campo del comportamento collettivo non fa eccezione. L'osservazione empirica quantitativa è essenziale per definire accuratamente il fenomeno studiato, per stimolare teorie atte a spiegare tale fenomenologia e, infine, per fare da test di consistenza delle teorie stesse. Nessuno schema teorico, né modello numerico, per quanto affascinante e verosimile, può dirsi corretto fintanto che non è stato validato da un robusto paragone con i dati empirici e sperimentali. È dunque sorprendente che lo studio del comportamento collettivo animale sia ancora molto carente dal punto di vista empirico, soprattutto per ciò che riguarda i gruppi animali che si muovono in tre dimensioni (uccelli, pesci, insetti volanti). Rovesciando in maniera per certi versi inaccettabile il paradigma scientifico, questo campo ha assistito a una proliferazione di teorie, e soprattutto di modelli numerici, in quasi completa assenza di dati empirici con cui confrontare il risultato di tali teorie e modelli. In queste condizioni, non era possibile selezionare il modello più appropriato alla descrizione di un certo sistema: a parte alcune proprietà molto generali, che potevano

essere validate da semplici osservazioni qualitative, la gran parte delle predizioni quantitative dei modelli non poteva essere in alcun modo verificata. Così il giudizio sulla correttezza di un dato modello per il volo degli stormi di uccelli si basava prevalentemente sulla capacità dello stesso di riprodurre gruppi qualitativamente simili a quelli osservati e registrati, per es., da un filmato video. Anche se è evidente che la riproduzione di un moto coeso è condizione necessaria per definire un buon modello di moto collettivo e autorganizzato, è altrettanto evidente che questa non è affatto una condizione sufficiente per poter affermare che il modello in questione è quello appropriato. Esistono, infatti, numerosissime quantità che possono essere calcolate e per cui modelli differenti fanno predizioni differenti. Soltanto il paragone con le medesime quantità misurate sui dati empirici può dire l'ultima parola sulla validità di un modello teorico.

Per quale motivo, dunque, l'analisi empirica è stata così a lungo trascurata? Vi sono due motivi principali, strettamente interconnessi. Il primo è di origine sostanzialmente tecnica. Per comprenderlo occorre riflettere innanzi tutto su quali siano le grandezze fondamentali con cui realizzare un'accurata analisi empirica del comportamento di un gruppo. Interessano sicuramente le proprietà globali del gruppo, come la sua forma, la sua velocità e le caratteristiche del suo moto. Ma anche la sua struttura, ossia come i vari individui sono organizzati al suo interno e come si muovono l'uno rispetto all'altro. Per potere quantificare tali proprietà occorre conoscere, istante per istante, la posizione e la velocità di ciascun individuo. Tuttavia, ricostruire la posizione spaziale di ogni singolo individuo all'interno di un enorme gruppo di animali molto coeso è tecnicamente assai difficile. Quando poi si ha a che fare con grandi gruppi di animali in tre dimensioni (3D), il compito è stato a lungo considerato impossibile. Per tale motivo, la maggior parte delle osservazioni empiriche (effettuate sugli uccelli in volo) e degli esperimenti di laboratorio (su banchi di pesci in acquari) era limitata a gruppi di pochi individui, qualche decina al massimo (Animal groups in three dimensions, 1997).

Il fatto di avere a disposizione dati soltanto su gruppi molto piccoli rappresenta il secondo grosso limite di gran parte dell'analisi empirica realizzata finora. Innanzi tutto, infatti, non è detto che i meccanismi di coordinazione presenti in gruppi così piccoli siano gli stessi delle aggregazioni ben più grandi presenti in natura. Inoltre, l'analisi dei dati operata su sistemi piccoli soffre di seri problemi legati alla bassa statistica. In un gruppo di pochi elementi, la maggior parte degli individui è localizzata sul bordo del gruppo e non all'interno. Ma gli individui sul bordo hanno proprietà statistiche alterate, proprio perché non sono completamente circondati da altri individui; tali proprietà, inoltre, dipendono dalla forma del bordo, una quantità variabile da gruppo a gruppo e nel tempo. Gli individui sul bordo alterano, dunque, la misura di molte osservazioni aggiungendo un condizionamento fittizio dovuto alla forma, e devono essere esclusi da una seria analisi statistica. Per piccoli gruppi questo significa avere pochi individui 'interni' al bordo su cui operare le misure, che risultano pertanto estremamente imprecise e fluttuanti (Cavagna, Giardina, Orlandi et al. 2008b).

L'incapacità nel produrre dati in 3D su larga scala ha dunque limitato lo sviluppo dello

studio del comportamento collettivo degli animali per più di quarant'anni. Per capire meglio l'origine del problema, e come è stato finalmente risolto, è necessario fare una breve panoramica delle tecniche sperimentali impiegate. Il mezzo tecnico di indagine più ampiamente usato nello studio dei gruppi di animali è naturalmente la fotografia, prima su pellicola e oggi digitale. Il problema dell'analisi fotografica, tuttavia, è che riduce una scena tridimensionale a una proiezione bidimensionale (2D), con conseguente perdita di informazione. Per fortuna, sono note svariate tecniche per ricostruire le caratteristiche in 3D di una scena a partire da singole proiezioni 2D.

I primi tentativi furono fatti nel caso dei pesci usando la tecnica delle ombre: una luce posta sopra la vasca in laboratorio faceva in modo che ogni individuo proiettasse un'ombra sul fondo della vasca. Dalla distanza fra pesce e ombra misurata sulla fotografia, era possibile ricostruire la posizione 3D dell'individuo. Anche se il metodo delle ombre è piuttosto funzionale, la tecnica di gran lunga più utilizzata ed efficace è la stereoscopia: la scena viene fotografata contemporaneamente da diverse posizioni. Misurando la distanza relativa del soggetto sulle singole immagini, è possibile ricavare la sua posizione 3D (Hartley, Zisserman 20032). La stereometria è una tecnica nota, utilizzata in numerosi campi, dalle rilevazioni topografiche alle ricostruzioni di oggetti d'arte. Dunque perché la sua applicazione al comportamento collettivo in biologia crea dei problemi? Al fine di ricavare la posizione 3D di un individuo, è necessario rintracciare prima la sua posizione su tutte le immagini stereografiche, nel caso più semplice due, foto destra e foto sinistra. È essenziale dunque trovare la corrispondenza fra le due immagini dello stesso individuo nelle due foto. Se immaginiamo ora di avere due individui, A e B, è fondamentale non associare all'immagine dell'individuo A sulla foto sinistra l'immagine dell'individuo B sulla foto destra, altrimenti la ricostruzione 3D fallisce completamente. Questa confusione è facilmente evitabile quando gli individui nella foto sono pochi e chiaramente distinguibili l'uno dall'altro. Sfortunatamente questo è esattamente l'opposto del caso tipico riscontrato in biologia, in cui si hanno enormi gruppi (diverse migliaia) di individui del tutto simili l'uno all'altro. In questo caso risolvere il problema della corrispondenza con mezzi convenzionali diventa proibitivo. I pochi studi esistenti affrontavano il problema della corrispondenza semplicemente usando l'occhio umano. È dunque evidente come non fosse possibile ricostruire la posizione di gruppi più numerosi di poche decine di animali. Inoltre, considerato che la corrispondenza andava fatta per diverse centinaia di fotografie scattate nel tempo, il procedimento era di fatto proibitivo. Tecniche diverse dalla stereoscopia non erano esenti da questo limite: anche il metodo delle ombre (così come metodi simili) ha il problema di far corrispondere un individuo alla sua ombra, e ciò è egualmente molto difficile in gruppi densi di animali.

La soluzione del problema è stata individuata solo di recente (Ballerini, Cabibbo, Candelier et al. 2008; Cavagna, Giardina, Orlandi et al. 2008a) e ha determinato una svolta nello studio quantitativo del comportamento collettivo. Nonostante gli algoritmi di ricostruzione 3D siano molto complessi e sfruttino tecniche non banali di meccanica statistica, ottimizzazione e computer vision, l'idea fondamentale che vi sta dietro è invece molto semplice: mentre è complicato far corrispondere singoli individui, che sono praticamente

identici sulle diverse immagini stereoscopiche, è molto più semplice trovare la corrispondenza fra i pattern, o arrangiamenti di punti, disegnati da piccoli gruppi di individui. Una volta che la corrispondenza fra i pattern è stabilita, è banale far corrispondere fra loro i vertici dei pattern, ovvero gli individui. Questa tecnica è stata sviluppata e usata con successo per la prima volta nel caso degli stormi di uccelli e ha permesso di ricostruire le posizioni di singoli individui all'interno di gruppi formati da diverse migliaia di uccelli. Paragonato al risultato dei precedenti studi, questo è un progresso di due ordini di grandezza. Nei prossimi anni il medesimo metodo verrà applicato probabilmente ai pesci e agli insetti, consentendo migliori test dei modelli teorici e portando lo studio dei fenomeni collettivi 3D a una piena maturità scientifica.

Un discorso a parte riguarda invece i numerosissimi esperimenti effettuati negli ultimi vent'anni su gruppi di insetti sociali, e in particolare su api e formiche (Camazine, Deneubourg, Franks et al. 2001). In questo caso le colonie hanno strutture sociali piuttosto complesse, con una sofisticata organizzazione e ripartizione del lavoro, in cui ogni singolo individuo può svolgere diversi ruoli nel corso della propria vita. Vi sono però alcune circostanze in cui il comportamento collettivo manifestato è frutto di meccanismi semplici che possono essere descritti con modelli elementari e verificati in maniera chiara con appropriati esperimenti. L'esempio delle formiche è uno tra i più paradigmatici. Quando le formiche scout (esploratrici) in cerca di cibo finalmente trovano qualcosa, sulla via di ritorno al formicaio rilasciano un segnale chimico, il feromone, per segnalare la strada verso la sorgente di cibo. Le altre formiche, quando trovano il segnale, cominciano anch'esse a seguire il percorso, rilasciando a loro volta feromone e rafforzando ulteriormente il tracciato. Anche questo processo di rinforzo, come la dinamica imitativa negli uccelli, è strettamente locale nello spazio: la probabilità che una formica confluisca in una traccia feromonica in un determinato punto è stabilita dalla quantità di feromone presente in quel punto e, dunque, dalle formiche che da quel punto sono passate. Anche in questo caso l'effetto che ne risulta è globale, vale a dire l'instaurazione di un tracciato che conduce tutte le formiche dal formicaio al cibo. Rispetto agli uccelli notiamo che l'interazione tra gli individui del gruppo è in questo caso indiretta, poiché una formica 'comunica' alle altre l'informazione rilevante (la strada da seguire) non direttamente ma attraverso il segnale chimico. Il volo degli uccelli è, invece, un esempio di comunicazione diretta, poiché ogni individuo guarda direttamente i propri vicini per decidere la direzione in cui volare.

Per verificare i vari aspetti del meccanismo di arruolamento delle formiche attraverso il feromone i ricercatori hanno realizzato svariati esperimenti in laboratorio. In questo caso, infatti, considerate le piccole dimensioni degli animali, è possibile tenere intere colonie sotto controllo e nelle condizioni desiderate. Uno dei setup sperimentali più praticati è quello del doppio percorso: vi sono due diversi percorsi che conducono da una piazzola, dove viene posizionato il formicaio all'inizio dell'esperimento, a una stessa placca di cibo. Le prime formiche che escono dal formicaio scelgono ognuno dei due percorsi con eguale probabilità e, dopo avere raggiunto e scoperto il cibo, cominciano a rilasciare feromone lungo la via del ritorno. In seguito però entra in gioco il meccanismo di attrazione

feromonica e le altre formiche sceglieranno con maggiore probabilità il percorso con maggiore segnale chimico. Se i due percorsi sono di eguale lunghezza, la quantità di feromone su ciascuno di essi dipende da quante tra le prime formiche, per puro caso, hanno scelto l'uno piuttosto che l'altro: se inizialmente qualche formica in più è andata a destra, vi sarà un leggero sbilanciamento a favore del percorso di destra. Tale sbilanciamento è però sufficiente per catalizzare l'instaurarsi di un tracciato stabile: le nuove formiche che escono dal formicaio, infatti, andranno anch'esse a destra, rilasciando nuovo feromone e rafforzando il segnale già esistente.

Questo processo, in cui una fluttuazione iniziale (in questo caso nella quantità di feromone) è amplificata da un meccanismo imitativo, è un aspetto classico dell'autorganizzazione. Quando i due percorsi sono uguali ciascuno dei due ha la stessa probabilità di ospitare il tracciato seguito dalle formiche. E difatti, se si eseguono molti esperimenti, in media la metà delle volte esse scelgono il percorso di destra, l'altra metà quello di sinistra. Altrettanto istruttivo è l'esperimento in cui i percorsi hanno lunghezza diversa. A causa della maggiore distanza da percorrere, l'accumulo di feromone sul braccio più lungo è inizialmente minore e ciò è sufficiente a catalizzare il flusso di formiche sul percorso più breve: in questo caso, se l'esperimento viene ripetuto più volte, il tracciato si instaura sistematicamente nello stesso percorso.

Questo esempio mostra un aspetto estremamente interessante dei processi collettivi autorganizzati. Grazie a un meccanismo locale e decentralizzato, dunque economico in termini di gestione e trasferimento dell'informazione, il gruppo riesce a coordinarsi compiendo scelte ottimali per l'intera colonia, come la selezione della strada più breve per raggiungere l'obiettivo. Vi sono molti altri contesti in cui, con dinamiche analoghe, un insieme di individui riesce a compiere compiti complessi (Camazine, Deneubourg, Franks et al. 2001). Un altro esempio è dato dalla peculiare struttura spaziale dei cimiteri di formiche, in cui i corpi delle formiche morte, inizialmente distribuiti su regioni piuttosto vaste, vengono efficacemente concentrati in un numero ridotto e omogeneamente disposto di cumuli. Dopo alcune osservazioni, i ricercatori hanno capito che le formiche che si occupano della raccolta dei corpi tendono a depositarli in punti con una già alta concentrazione di cadaveri. Da qui è nata l'ipotesi che la probabilità di depositare un cadavere in un certo punto è tanto maggiore quanto più alta è in quel punto la concentrazione di corpi. Per testare questa ipotesi, sono stati realizzati alcuni esperimenti in cui i cadaveri sono stati inizialmente distribuiti a caso in un'arena circolare cui hanno poi avuto accesso le formiche 'becchino'. Come ci si aspettava, la disposizione e la grandezza finale dei cumuli rispecchiavano la dinamica sopra descritta. Anche in questo caso è in gioco un meccanismo di amplificazione delle fluttuazioni: i cumuli si creano, infatti, in quei punti dove per caso vi è una maggiore concentrazione iniziale di corpi rispetto ai dintorni. Altri esempi si hanno nelle api (le famose 'danze' con cui le api segnalano e arruolano compagne verso regioni ricche di polline) e negli scarafaggi (il modo in cui si ripartiscono in un numero finito di rifugi ombreggiati).

Alcuni meccanismi studiati negli insetti sono presenti anche in animali superiori (i percorsi

segnati dalle grosse mandrie di mammiferi) e riguardano pure comportamenti umani (si pensi alla struttura dei sentieri nei parchi urbani o alla distribuzione dei flussi di traffico nella rete stradale). Lo studio empirico dei fenomeni collettivi in ambito sociale presenta anche aspetti diversi. Le dinamiche di folla e panico sono più simili alle dinamiche imitative di gruppo presenti nei vertebrati. Esse si svolgono però in due dimensioni, e per questo motivo normali tecniche video-fotografiche sono sufficienti per uno studio quantitativo completo. Non sussiste dunque il grandissimo problema tecnologico che ha afflitto l'analisi in tre dimensioni e di cui abbiamo parlato in precedenza. A tale proposito vale la pena di ricordare il caso, ampiamente studiato, dell'enorme flusso di fedeli islamici in pellegrinaggio verso La Mecca, viaggio che si svolge ogni anno e che purtroppo dà spesso luogo a terribili incidenti. Lo studio quantitativo delle immagini catturate dalle telecamere a circuito chiuso della sorveglianza ha permesso ai ricercatori di validare modelli numerici, i quali a loro volta hanno permesso di identificare strategie tese alla minimizzazione del rischio di incidenti. Anche le dinamiche di applauso, simili per certi aspetti a fenomeni di sincronizzazione presenti anche negli insetti (si pensi alle lucciole), possono essere studiate con registrazioni ai concerti e un'appropriata analisi del segnale audio.

In fenomeni sociali più complessi, come nella formazione di flussi di opinione e nei mercati economici e finanziari, le dinamiche imitative non avvengono nello spazio fisico, bensì in uno spazio astratto determinato dal tipo di decisione operata dagli individui del gruppo sociale in esame. Per es., nel caso di un mercato finanziario, gli agenti possono vendere e/o comprare titoli finanziari e la dinamica rilevante è quella dei prezzi e delle transazioni finanziarie. In tale contesto, i problemi maggiori non riguardano soltanto la raccolta dei dati in sé, ma anche la loro qualità e accessibilità. Per molto tempo, per es., le transazioni finanziarie non sono state disponibili al pubblico o lo sono state solo in parte e ad alto costo. In generale, comunque, da quando i dati finanziari hanno cominciato a essere registrati con sistematicità e resi disponibili, a pagamento o addirittura gratuitamente, si è assistito a una vera e propria rivoluzione nel campo dell'analisi empirica e nell'approccio anche teorico al funzionamento dei mercati. Tali analisi sono state a lungo praticate esclusivamente nell'ambito delle banche d'affari, dunque con ben determinate finalità e in un contesto improntato a una tradizione metodologica ben precisa. L'approccio multidisciplinare che ha, invece, caratterizzato le analisi più recenti, in cui agli economisti e ai matematici si sono affiancati in modo preponderante anche i fisici statistici, ha rivelato nuovi aspetti prima trascurati (Voit 20053). Per es., una delle assunzioni fondamentali di molte analisi teoriche riguarda l'andamento nel tempo della variabile prezzo. Gli incrementi del prezzo in un dato intervallo di tempo sono spesso modellizzati come variabili gaussiane: la probabilità P che il prezzo cresca nell'intervallo δt di una quantità δX è data da $P(\delta X) = \exp(-a\delta X^2)$, dove a è una costante legata alla volatilità del mercato su scala δt . Tale ipotesi garantisce condizioni matematiche relativamente semplici e permette di elaborare teorie di matematica finanziaria piuttosto complesse. Soltanto negli ultimi anni un'analisi empirica sistematica dell'andamento dei prezzi ad alta frequenza ha rivelato che, su scale temporali non grandi, l'ipotesi gaussiana è tutt'altro che valida. In particolare, la probabilità di avere grandi incrementi di prezzo è

notevolmente sottostimata dal modello gaussiano, con serie conseguenze per una corretta valutazione dei rischi di investimento.

In generale, un notevole sforzo è stato dedicato a caratterizzare empiricamente le proprietà statistiche del prezzo (di un'azione, obbligazione, indice o qualsiasi altro titolo finanziario), ossia quelli che vengono chiamati in gergo fatti stilizzati dei mercati finanziari: come sono distribuiti gli incrementi del prezzo; come l'incremento a un dato istante sia correlato all'andamento del mercato in un altro istante; come i prezzi di titoli diversi (o settori diversi del mercato) siano tra loro correlati; come certe sorgenti di informazione possano influenzare il comportamento del mercato (Mantegna, Stanley 2000).

Vi è poi un'altra circostanza, relativamente recente, che ha definito l'orizzonte futuro della ricerca empirica in questo campo. Molti mercati finanziari (anche se non tutti) hanno ormai adottato un funzionamento quasi esclusivamente elettronico: ciò significa che l'accoppiamento tra offerta e domanda e la conseguente realizzazione di transazioni finanziarie non sono effettuate da un'apposita figura professionale (il market maker dei mercati finanziari tradizionali), bensì da un programma informatico. Questo garantisce una più accurata registrazione delle transazioni (e dunque una più efficace analisi empirica dei prezzi). Soprattutto, sono ormai disponibili all'analisi anche i libri degli ordini (order books) piazzati dagli investitori (anche quelli che non vengono poi realizzati dando origine a transazioni): ciò rappresenta un'informazione molto importante sulla dinamica delle opinioni e ha permesso di indagare in maniera più approfondita il meccanismo di formazione dei prezzi.

Modelli teorici

Dopo questa breve panoramica sulle tecniche di analisi empirica, vorremmo adesso soffermarci sui modelli teorici che sono stati sviluppati per descrivere i fenomeni collettivi e per comprendere il meccanismo di autorganizzazione del gruppo.

Il caso dei gruppi animali è quello in cui il processo imitativo è senza dubbio il meccanismo preponderante ed è sufficiente, da solo, a spiegare il comportamento di gruppo. I modelli teorici (spesso chiamati modelli ad agenti, o agent based models) specificano il comportamento di ciascun individuo, assumendo per esso regole dinamiche basate sulle osservazioni e su ipotesi comportamentali ragionevoli. Formalmente, ciò significa che per ogni membro del gruppo viene scritta un'equazione matematica che descrive come l'individuo si muove nello spazio, date le interazioni che esso ha con i suoi compagni. Per es., nel caso di pesci e uccelli, ogni individuo si muove seguendo tre regole base: non avvicinarsi troppo ai vicini per evitare collisioni; non allontanarsi troppo dai vicini, per non perdere coesione; muoversi nella direzione media in cui si muovono i vicini, per coordinarsi con essi. Queste tre regole sono codificate da altrettanti diversi contributi nell'equazione che descrive come la direzione del moto di un dato animale cambi tra un istante e quello successivo. Il primo contributo è modellizzato come una forza repulsiva a corto raggio, che sposta l'individuo in direzione opposta agli individui a esso troppo vicini.

Il secondo contributo corrisponde, invece, a una forza attrattiva che agisce su scale più grandi e tende a riavvicinare l'individuo ai suoi vicini se esso si allontana troppo. Infine, il terzo è un contributo di allineamento che orienta la velocità dell'individuo lungo la direzione di moto media dei suoi vicini. Questi tre elementi, repulsione a corto raggio, attrazione e allineamento, sono gli ingredienti fondamentali per tutti i modelli di moto aggregato in uccelli, pesci, insetti e mammiferi. Come già sottolineato nell'introduzione, queste regole sono locali nello spazio, in quanto ogni animale subisce l'influenza solo di alcuni vicini e non di tutti gli individui del gruppo. Ogni modello differisce però nel modo specifico in cui le regole vengono implementate, perché modelli diversi si riferiscono a sistemi diversi (per es., uccelli piuttosto che pesci), ma soprattutto perché il ricercatore può avere opinioni differenti sul comportamento esatto degli animali cui il modello si riferisce.

A tale proposito, una variabile molto importante consiste nel modo in cui vengono selezionati i vicini con i quali un dato individuo interagisce. Molti modelli adottano 'zone' di interazione, ossia regioni spaziali attorno all'individuo focale: questo considera soltanto i vicini che si trovano all'interno di tali zone per decidere il proprio spostamento successivo. Alcuni modelli, invece, ipotizzano che ogni vicino eserciti una forza (di repulsione, attrazione o allineamento) dipendente dalla distanza fra individui e che decade su una ben definita scala spaziale, scala che gioca in tal caso lo stesso ruolo dell'estensione della zona di interazione presente negli altri modelli. Comunque, la maggior parte dei modelli assume un concetto di interazione tra individui che dipende dalla distanza nello spazio (o attraverso una dipendenza funzionale o con zone discrete). Tale ipotesi è senz'altro ragionevole (si pensi, per es., che questo è quanto succede per tutte le interazioni tra corpi e particelle in fisica). Come vedremo, però, essa non è corretta nel contesto del comportamento collettivo animale.

In un modello ad agenti si ha dunque un'equazione dinamica per ogni singolo individuo; tale equazione ne specifica il movimento nello spazio e nel tempo. L'insieme globale di equazioni che ne deriva è troppo complesso per una risoluzione matematica esatta. Tali modelli vengono dunque studiati attraverso simulazioni numeriche, ossia ogni equazione viene codificata in un algoritmo, implementato poi da un computer, il quale simula in tal modo una popolazione artificiale di individui che obbediscono alle regole di moto date. Lo studio numerico dei modelli ha fornito risultati importanti. Essi hanno provato che a partire da regole locali di interazione fra gli individui è possibile ottenere un comportamento collettivo non banale, fornendo dunque una dimostrazione qualitativa, ma solida, di uno dei concetti portanti della teoria dell'autorganizzazione. Per quel che riguarda predizioni più quantitative, esse ovviamente dipendono dai dettagli del modello, dal modo specifico in cui le varie regole sono implementate e dal valore dei vari parametri in gioco (per es., la grandezza della zona di interazione, quanto pesano i vicini in base alla loro distanza, quanto conta la forza di attrazione rispetto a quella di allineamento ecc.). La maggior parte degli studi teorici è stata infatti dedicata a esplorare le varie possibilità, provando a cambiare leggermente le regole e i parametri, per vedere quali diverse tipologie di moto aggregato si potevano ottenere, in termini di forma, dinamica di gruppo

e struttura interna (Couzin, Krause 2003). Purtroppo, data la mancanza di dati empirici, tali analisi teoriche, seppur interessanti a livello speculativo, sono rimaste a lungo puro esercizio teorico. Come abbiamo visto nel paragrafo precedente, solo recentemente sono stati realizzati alcuni studi empirici su gruppi molto grandi. Ciò ha consentito una più concreta valutazione dei modelli esistenti, almeno per quei gruppi di animali su cui sono state effettuate le osservazioni empiriche. L'analisi quantitativa dei dati di osservazione ha permesso, infatti, di misurare un enorme numero di grandezze di tipo sia morfologico (forma, volume, densità del gruppo), sia strutturale (posizioni relative degli individui; distanza minimale fra individui e zona di repulsione; presenza di eventuali anisotropie angolari nella distribuzione degli individui). Moltissime di queste misurazioni non trovano riscontro nei risultati dei modelli teorici attuali, il che mostra chiaramente come l'analisi teorica, svincolata dal supporto empirico, si sia sviluppata in modo eccessivamente autoreferenziale. La sfida che i modelli teorici di moto collettivo di gruppi di animali dovranno affrontare in futuro sarà ridefinire le regole di interazione fra individui al fine di riprodurre correttamente i risultati empirici.

Nel caso degli insetti sociali, d'altro canto, come abbiamo visto si hanno numerosi risultati sperimentali, ed è possibile dunque costruire modelli semplificati adattati al contesto sperimentale utilizzato. Per es., laddove interessa conoscere la ripartizione di formiche su due diversi possibili percorsi, è possibile scrivere un'equazione molto semplice per il flusso di formiche su ogni percorso. Tale equazione formalizza il meccanismo di arruolamento già descritto, assumendo che la probabilità che il traffico su un dato percorso aumenti, cresce al crescere della concentrazione feromonica. In questo esempio, come in molti altri contesti sperimentali, il modello è sufficientemente semplice da poter essere risolto matematicamente, e il numero di parametri molto limitato. Dunque modello e risultati sperimentali sono stati paragonati, fornendo spiegazioni teoriche quantitative e convincenti dei fenomeni osservati. Per es., i ricercatori hanno ipotizzato nel modello una ben precisa legge di aumento della concentrazione del feromone all'aumentare del flusso di formiche, e poi hanno verificato tale legge e misurato i suoi parametri attraverso misure empiriche.

In campo sociale si hanno moltissimi modelli, anche di tipo molto diverso, a seconda del fenomeno considerato. Abbiamo già accennato al caso del traffico, per cui sono usati modelli molto simili, anche se in generale più complessi, a quelli usati per gli insetti sociali. In linea di massima tuttavia possiamo affermare che anche per sistemi sociali ed economici le novità teoriche più interessanti riguardano lo sviluppo di modelli ad agenti (Helbing 2001; Voit 20053). Gran parte della comprensione dei fenomeni di affollamento, per es., è stata ottenuta creando modelli ad agenti con opportune regole comportamentali per gli individui e simulando la dinamica collettiva su computer (Helbing, Farkas, Vicsek 2000). L'approccio è molto simile a quello operato nei gruppi animali ma, ovviamente, le regole sono di tipo diverso e rispecchiano i fattori che sono in questo caso rilevanti, come, per es., l'esistenza di una direzione privilegiata di fuga (un varco, un'uscita, una strada laterale), la presenza di forze di frizione dovute agli altri individui, la presenza di ostacoli. L'analisi numerica di questi sistemi artificiali ha permesso di individuare quali siano i

meccanismi di rallentamento e occlusione spesso in atto quando ci sono grossi affollamenti. Un esempio paradigmatico è l'effetto 'più veloce è più lento' (faster is slower) che subentra nei fenomeni di panico da fuga, a causa dell'impazienza crescente di uscire da un luogo confinato. I ricercatori hanno mostrato quantitativamente che quando gli individui cercano di raggiungere grandi velocità di fuga gli effetti di frizione dovuti agli scontri e l'intasamento aumentano, rallentando di fatto la dinamica collettiva. Ciò aumenta i tempi di attesa e dunque l'ansia di fuga degli individui, i quali a quel punto cercano di scappare ancora più velocemente, rallentando ulteriormente la dinamica in un pericoloso circolo vizioso.

Il caso dei mercati finanziari è forse uno dei più complessi e dei più interessanti. L'approccio dei modelli ad agenti non è affatto nuovo in economia; l'attenzione per le scelte individuali e per come esse determinino a livello collettivo l'andamento di un mercato o di una collettività è anzi uno degli aspetti principali della microeconomia e della teoria dei giochi. Tuttavia, l'economia tradizionale ha operato in passato assunzioni ben precise sul comportamento umano: l'agente classico della teoria dei giochi è un individuo perfettamente razionale e dalle illimitate capacità di calcolo, in grado di valutare correttamente le conseguenze delle proprie azioni e di quelle altrui. Inoltre, tutti gli individui sono equivalenti e dotati di eguali abilità, condizione che permette spesso di considerare un solo agente 'rappresentativo' e di risolvere matematicamente il problema in esame. Tale paradigma dell' 'agente razionale' è ovviamente inadeguato a descrivere situazioni complesse come, per es., i mercati finanziari, in cui gli agenti sono spesso irrazionali, hanno pochissimo controllo sull'immensa mole di informazioni e variabili in gioco e, soprattutto, seguono strategie di investimento ben differenziate. Recentemente, dunque, è cresciuto l'interesse teorico verso modelli di agenti in cui questi elementi, prima trascurati, fossero opportunamente modellizzati (Voit 20053). Tali modelli adottano una prospettiva quasi opposta rispetto alla teoria dei giochi. Gli agenti non sono perfettamente razionali e le scelte casuali sono ampiamente contemplate; non usano strategie deduttive, ma operano adattativamente, adeguando nel tempo la propria condotta all'evolversi della situazione complessiva; essi sono infine eterogenei e seguono strategie diverse l'uno dall'altro. Tali modelli, data la loro complessità, sono prevalentemente studiati attraverso simulazioni numeriche, anche se in alcuni casi è possibile scrivere equazioni efficaci trattabili matematicamente.

In generale, le regole seguite da ogni agente prevedono strategie di investimento che dipendono dall'andamento del prezzo, da variabili individuali (ricchezza, propensione al rischio ecc.) e da variabili stocastiche (irrazionalità). Il prezzo è a sua volta determinato dalle azioni di tutti gli individui e dalla percentuale relativa di venditori e compratori. Ogni giocatore è influenzato indirettamente dagli altri (e dunque interagisce con essi) attraverso il prezzo, anche se possono sussistere ulteriori reti dirette di comunicazione. I modelli possono essere più o meno complicati. Modelli minimali in cui gli agenti operano semplici scelte tra un numero limitato di azioni sono utili per comprendere il processo di formazione dell'azione aggregata a partire da quelle individuali. Nei modelli più complessi, invece, ulteriori equazioni specificano come l'azione aggregata determini il prezzo e il

meccanismo di bilanciamento tra offerta e domanda. In questo contesto è possibile, per es., studiare il meccanismo di formazione delle bolle speculative e che cosa ne influenza crescita ed esaurimento. Variando le regole individuali e i valori dei parametri, si possono affrontare domande importanti e cercare di capire quali siano i fattori microscopici che determinano le proprietà statistiche dei prezzi rilevate dalle analisi empiriche.

Origine della coesione

Per gli animali, vivere e muoversi in gruppo presenta notevoli vantaggi di sopravvivenza, e non è possibile comprendere in maniera esaustiva tali fenomeni prescindendo dalla loro funzione biologica. Il vantaggio più evidente del far parte di un gruppo è legato alla migliore capacità di affrontare attacchi predatori. Ciò avviene per svariate ragioni: innanzi tutto ogni individuo si trova circondato da numerosi suoi simili, diminuendo in tal modo la probabilità di essere catturato. Si ha, dunque, un effetto di diluizione del rischio. Inoltre, un gruppo coeso, e che si muove rapidamente, cambiando forma, densità e direzione, confonde il predatore, il quale non riesce a focalizzare l'attenzione su un individuo specifico, e per questo è molto meno efficace nell'attacco. Infine, la dinamica imitativa permette di trasferire velocemente l'informazione riguardante la presenza del predatore, garantendo all'intero gruppo una prontezza di reazione maggiore di quella che potrebbe avere un individuo isolato.

È evidente che la capacità del gruppo di mantenere la coesione ha forti conseguenze sulle probabilità di sopravvivenza dei singoli e, dunque, deve essere stata modellata da un profondo meccanismo evolutivo. Inoltre, date le condizioni altamente perturbate in cui di norma il gruppo si muove (presenza di predatori, fenomeni meteorologici, ostacoli fisici ecc.), è lecito domandarsi quale sia il meccanismo alla base di una tanto robusta coesione. In altre parole: in che modo l'evoluzione ha plasmato le regole di comportamento al fine di garantire la massima coesione e dunque la sopravvivenza del gruppo? L'analisi dei modelli teorici esistenti, purtroppo, non aiuta a rispondere a questa domanda. Infatti, la resistenza del gruppo a una perturbazione esterna è proprio fra quei risultati che gli attuali modelli non sono in grado di riprodurre. Non c'è da sorprendersi, dunque, se la risposta a tale domanda (qual è l'origine della coesione) sia venuta dalle più recenti e avanzate analisi empiriche, piuttosto che dai modelli teorici.

Analizzando le proprietà strutturali di grandi gruppi di storni in volo, si è scoperto che ogni uccello interagisce in media con un numero fisso di vicini (7), a prescindere dalla loro distanza (Ballerini, Cabibbo, Candelier et al. 2008). Questo risultato è in contraddizione con l'ipotesi adottata dalla stragrande maggioranza dei modelli, secondo cui ogni individuo interagisce solo con gli animali entro una certa distanza fisica da esso: se questo fosse vero, il numero di individui interagenti con un determinato animale sarebbe grande in un gruppo ad alta densità, e piccolo in un gruppo a bassa densità. L'analisi empirica, invece, mostra il contrario: il numero di individui con cui ogni animale interagisce è sempre lo stesso, indipendentemente dalla densità. Questo tipo di misura della distanza, basata sul numero piuttosto che sulla distanza in metri, è anomala nel contesto della fisica

(le interazioni fondamentali sono tutte basate sulla distanza metrica), ma è comune in altri contesti. Possiamo pensare, come esempio tipico, al modo in cui valutiamo le distanze quando usiamo la metropolitana: non è in base alla distanza in metri fra il punto di partenza e quello di arrivo che calcoliamo la lunghezza di un percorso, ma in base al numero di fermate intercorrenti. Oppure, in una rete informatica, è il numero di nodi fra due computer che conta, non la distanza in metri. Tuttavia, anche se ci sono casi in cui è naturale adottare una distanza basata sul numero, non è a priori chiaro perché questa debba essere la scelta giusta per uno stormo di uccelli in volo. Quello che si è scoperto è che proprio una tale interazione basata sul numero è la chiave per garantire la coesione del gruppo.

Le perturbazioni esterne, come l'attacco di un predatore, causano non solo dei cambiamenti di forma del gruppo, ma soprattutto delle forti variazioni di densità, e dunque della distanza tipica fra gli individui: uno stormo si espande e si contrae di continuo al fine di sfuggire all'attacco di un falco. In queste condizioni un'interazione fra individui basata sulla normale distanza fisica non sarebbe adeguata a mantenere la coesione. Infatti, non appena la distanza fra un individuo e i suoi vicini diventasse maggiore del raggio fisico di interazione, quell'individuo 'evaporerebbe' dal gruppo e la coesione sarebbe persa, a scapito della sicurezza degli individui. Al contrario, con una interazione basata sul numero, questo problema non sussiste: la forza del legame fra individui diversi è la medesima, indipendentemente dalla loro distanza, e dunque anche dall'intensità della perturbazione esterna. In questo modo la coesione è garantita. Recentissime simulazioni numeriche supportano in pieno questa conclusione: quando un modello standard, che utilizza l'interazione basata sulla distanza fisica, viene modificato in modo che utilizzi un'interazione basata sul numero, si osserva che la coesione del gruppo diventa enormemente più solida e stabile. Questo è un caso tipico di come la sinergia fra dato empirico e modello teorico porti a risultati molto soddisfacenti.

Come abbiamo visto, la chiave della coesione del gruppo è un'interazione basata sul numero, piuttosto che sulla distanza. In particolare, per gli storni, questo numero è pari a 7: ogni individuo interagisce solo con i suoi primi 7 vicini. L'interpretazione più probabile di questo fenomeno è che si tratti di un limite cognitivo degli uccelli, ovvero che 7 sia il numero più grande di individui con cui uno storno può interagire senza confondersi. Questa interpretazione è confermata dal fatto che i piccioni possono distinguere insieme di diversa numerosità soltanto fino a un certo numero di oggetti. Tale soglia, sopra la quale le capacità di distinzione numerica decadono, è proprio 7. In altre parole, mentre è possibile per l'uccello distinguere 3 da 4, oppure 5 da 6, diventa impossibile distinguere 8 da 9 o 10 da 11. La linea di confine sta proprio nel numero 7. Alla luce di questa interpretazione cognitiva, la capacità degli animali di mantenere una forte coesione del gruppo sarebbe profondamente radicata nelle funzioni cognitive degli animali stessi. Questo dimostra come le modellizzazioni teoriche che riducono gli animali a semplici entità fisiche, prive di caratterizzazioni complesse, debbano sempre essere valutate con la massima cautela.

La necessità di un approccio interdisciplinare

Desideriamo terminare questa panoramica mettendo di nuovo in luce l'importanza di un approccio interdisciplinare allo studio dei fenomeni collettivi. Nel 20° sec. le varie discipline interessate all'autorganizzazione e al comportamento collettivo hanno proceduto in ordine sparso, con priorità e metodi completamente differenti. Biologi, etologi, fisici, ingegneri ed economisti per più di mezzo secolo hanno considerato i fenomeni collettivi come specifici del loro particolare campo di indagine. A causa di questo, molti degli studi condotti in passato sono stati nel migliore dei casi parziali, nel peggiore decisamente inconcludenti. I problemi insorti in passato a causa di questa carenza di integrazione fra diverse discipline sono numerosi: l'approccio eccessivamente qualitativo dell'analisi etologica, quasi mai supportata da una serie di adeguati strumenti quantitativi, che invece discipline quali la fisica e la matematica avrebbero potuto offrire; la quasi totale assenza di dati empirici, dovuta al fatto che tecnologie essenziali all'analisi sperimentale erano da ricercarsi al di fuori dei confini della biologia; la formulazione da parte della fisica di domande a volte del tutto irrilevanti dal punto di vista etologico e biologico; l'incapacità dell'ingegneria (per es., come nel caso della robotica) di ispirarsi a paradigmi biologici altamente funzionali; una certa tendenza delle scienze esatte (matematica e fisica) a descrivere il problema in maniera eccessivamente riduzionista, procedendo per semplificazioni esagerate, spesso ingiustificate; il ritardo delle discipline economico-sociali nel rendersi conto dell'importanza delle eterogeneità e dei fenomeni casuali, così ovvi invece in fisica. L'elenco potrebbe continuare a lungo, tanti sono i limiti delle singole discipline quando si tratta di studiare un problema intrinsecamente multidisciplinare.

Con l'avvento del nuovo secolo questa situazione si è completamente modificata. Biologi, fisici, matematici ed economisti hanno iniziato a occuparsi ognuno di fenomeni collettivi presenti nel campo dell'altro, e questo sta arricchendo in maniera formidabile questo argomento. In particolare, l'integrazione fra discipline quali la fisica e l'ingegneria da un lato (essenziali per l'analisi empirica e per la messa a punto di strumenti di indagine quantitativa) e la biologia e l'economia dall'altro (fondamentali per sintetizzare e stigmatizzare le domande e gli aspetti più rilevanti dei fenomeni collettivi) ha già portato a nuovi, fecondi risultati. Questa tendenza alla interdisciplinarietà incontra ovviamente anche alcune riluttanze: è naturale che all'interno di ogni campo ci siano delle sacche di resistenza che tendono a sfruttare rendite di posizione, piuttosto che a spendere energie e risorse per aprirsi a metodi di indagine nuovi. Inoltre, non è sempre facile trovare scienziati che siano egualmente esperti di molti settori differenti, i quali possano giudicare in modo limpido la qualità di una ricerca interdisciplinare. A causa di questo può diventare a volte difficile distinguere ricerche di valore da semplici accumulazioni di tematiche sconnesse, senza vera ragione d'essere. Tuttavia, il processo di integrazione è ormai inarrestabile, ed è facile prevedere che in futuro, anche nel campo dei fenomeni collettivi e dell'autorganizzazione, la differenza, per es., fra un fisico e un biologo si sfumerà sempre di più, fino a diventare sostanzialmente inesistente.

GENI E AMBIENTE NELLO SVILUPPO DEL COMPORAMENTO

XXI Secolo (2010)

di Igor Branchi

Geni e ambiente nello sviluppo del comportamento

Cenni storici

Il fenotipo di un organismo, il complesso delle sue caratteristiche morfologiche e funzionali, è determinato dall'influenza reciproca tra i geni (ovvero il genotipo) e l'ambiente in cui esso cresce e vive. Tale concetto risale ai primi anni del 20° sec., quando Archibald Garrod, un medico inglese, in collaborazione con William Bateson, biologo inglese, studiò alcune famiglie i cui membri presentavano gravi anomalie del metabolismo. Egli ne identificò la causa in un'alterazione genetica che impediva all'organismo di effettuare specifiche reazioni chimiche. Inoltre Garrod osservò come le conseguenze negative associate a questa alterazione potevano essere evitate modificando la dieta del paziente, ossia prescrivendogli di non assumere sostanze che non era in grado di metabolizzare. Tali studi dimostrarono per la prima volta come, a seconda del patrimonio genetico dell'individuo, l'ambiente – in questo caso la dieta – determini il fenotipo – ovvero lo stato di salute del paziente. Nonostante queste ricerche, l'importanza dell'influenza reciproca tra geni e ambiente nel determinare le traiettorie di sviluppo di un organismo fu trascurata per un lungo periodo e, durante il secolo scorso, due diverse posizioni si sono confrontate senza trovare una conciliazione. La prima sosteneva che i geni determinano lo sviluppo di un organismo, mentre la seconda attribuiva tale ruolo all'ambiente.

In realtà, tale disputa era vivace già da secoli, anche se non si parlava di geni e ambiente ma di innato e appreso, e personaggi illustri nel campo della scienza e della filosofia avevano sostenuto l'una o l'altra posizione. Per es., il filosofo John Locke nel 17° sec. credeva che le esperienze avessero un ruolo predominante nella formazione dell'individuo. Al contrario, Charles Darwin nel 19° sec. riteneva che l'educazione e l'ambiente incidessero poco e che la maggior parte delle caratteristiche dell'individuo fosse innata. Durante la seconda metà del 20° sec. questo dibattito, che prese il nome di nature vs nurture (ovvero inclinazione naturale contro educazione), vide l'affermazione della fazione che sosteneva l'idea del determinismo genetico, in base alla quale ogni aspetto della fisiologia e del comportamento poteva essere prevalentemente imputato all'azione di uno specifico gene. Come conseguenza, i media cominciarono a

riportare notizie riguardanti l'identificazione di questo o quel gene specifico responsabile di uno dei tanti aspetti della natura umana, come l'omosessualità o la felicità. Dall'ultima decade del 20° sec., la comunità scientifica – e più lentamente l'opinione pubblica – sta riscoprendo i risultati ottenuti da Garrod e non crede più a una contrapposizione netta, ritenendo semmai che sia i geni sia l'ambiente partecipino nel determinare le traiettorie di crescita che danno forma all'individuo. Oggi si parla infatti di nature via nurture, ossia natura attraverso l'educazione (Bateson, Martin 1999; Ridley 2004).

Fattori genetici

Da secoli, anche quando non si possedevano le attuali e relativamente ampie nozioni di genetica postmendeliana, vengono prodotti – mediante metodi tradizionali di selezione – animali e vegetali che nel genoma hanno specifiche combinazioni di geni. In particolare, allevatori e coltivatori sanno che determinate caratteristiche fenotipiche possono essere riprodotte nella nuova generazione incrociando individui che presentano le caratteristiche di interesse. Grazie a questo metodo, sono state allevate e selezionate specie di animali domestici o da reddito dalle caratteristiche fisiche o comportamentali considerate utili. Per es., sono stati selezionati il cane da pastore perché è abile a obbedire ai comandi del proprietario e a gestire il gregge e il cane da caccia perché, quando individua la preda mediante l'olfatto, ne segue la traccia fino a stanarla. La controprova che tali caratteristiche comportamentali sono dovute a fattori genetici deriva dal fatto che queste si perdono quando la razza viene incrociata con altre.

Anche nella specie umana i fattori genetici esercitano un effetto che, sebbene raramente determinante, risulta forte e pervasivo. Tra i pochi esempi di come i geni possano determinare il fenotipo umano in modo più o meno diretto, uno riguarda la fenilchetonuria. Questa patologia appartiene alla classe, menzionata in precedenza, delle gravi anomalie del metabolismo. In particolare, un individuo che soffre di fenilchetonuria ha ereditato da entrambi i genitori una forma modificata del gene che codifica l'enzima in grado di degradare la fenilalanina, un amminoacido assai comune nella dieta. Ciò provoca un accumulo di fenilalanina nell'organismo che, oltre un certo livello, risulta tossica, compromettendo lo sviluppo del cervello e causando un ritardo mentale. Quindi, chiunque sia portatore di questa anomalia genetica svilupperà la patologia. Solo nel caso in cui questa sia diagnosticata precocemente e venga somministrata una dieta priva di fenilalanina, l'individuo non si ammalerà. Questo però rappresenta un caso di modulazione dell'effetto genico da parte dell'ambiente, argomento di cui si tratterà diffusamente nei prossimi paragrafi. A eccezione delle patologie appena menzionate, le prove dell'influenza dei fattori genetici sul comportamento nella specie umana sono

quasi esclusivamente indirette. Al fine di valutare tale influenza, anche nel caso di tratti comportamentali particolarmente complessi, si possono utilizzare le tecniche della genetica quantitativa.

Genetica quantitativa

La genetica quantitativa persegue lo scopo di chiarire quanto le differenze individuali siano dovute ai geni oppure all'ambiente, senza tuttavia fornire dettagli su quali geni o fattori ambientali siano responsabili di tali differenze (Plomin, DeFries, McClearn, McGuffin 20004). In questi studi sono utilizzati prevalentemente due tipi di ricerche: quella su individui adottati e quella su individui gemelli.

Le adozioni creano coppie di individui con una data percentuale di geni in comune che non condividono lo stesso ambiente, o almeno lo stesso ambiente postnatale, perché nel caso dei gemelli, anche se separati subito dopo la nascita, essi hanno condiviso un ambiente comune per i primi nove mesi dopo il concepimento, ossia il grembo materno. Lo studio di tali coppie permette di stimare il contributo genetico alle somiglianze all'interno di una data famiglia. Le adozioni creano anche coppie di individui geneticamente non imparentati che condividono lo stesso ambiente familiare. In questo secondo caso, si potrà descrivere il contributo ambientale alle somiglianze all'interno della famiglia. Per chiarire, si prenda in considerazione uno studio condotto su genitori e figli: essi condividono sia i geni (in questo caso, il 50%) sia l'ambiente. Nel caso di un'adozione, si potranno distinguere genitori 'genetici' e genitori 'ambientali'. I primi saranno quelli che danno in adozione i propri figli e condividono con questi i geni, mentre i secondi saranno i genitori che ricevono figli in adozione e condividono con loro l'ambiente. Confrontando i genitori al contempo 'genetici' e 'ambientali' con quelli solo 'ambientali' e/o solo 'genetici', si potrà dedurre l'influenza genetica su un dato tratto fenotipico. Per es., nel caso in cui la correlazione, ovvero la somiglianza, per un dato tratto sia maggiore tra genitori 'genetici' e figli rispetto a quella tra genitori 'ambientali' e figli, si potrà desumere che l'influenza genetica è superiore a quella ambientale. Il paradigma sperimentale che si usa nelle adozioni, basato su genitori 'genetici' e 'ambientali', può essere sfruttato anche nel caso dei fratelli, che potranno anch'essi essere definiti 'genetici' oppure 'ambientali'.

Tali studi hanno permesso di osservare in che modo geni e ambiente partecipino nel dare forma a tratti complessi, come nel caso di una data risposta comportamentale. Per es., la capacità cognitiva generale sembra avere una correlazione simile se si considerano genitori 'genetici' e figli oppure genitori 'ambientali' e figli.

Il secondo approccio per studiare l'influenza dei geni sul comportamento nella specie umana è il confronto tra gemelli. In questo caso, la natura ha fornito ai ricercatori delle condizioni perfette per un esperimento genetico. Infatti, i gemelli nati dallo stesso ovulo (gemelli monozigoti o identici) sono dei cloni naturali, ovvero condividono il 100% dei geni, quindi, se i fattori genetici sono importanti nel determinare un dato tratto fenotipico, gli individui gemelli risulteranno più simili di quanto possano esserlo parenti di primo grado, come i fratelli, che condividono il 50% dei geni. In realtà, è possibile utilizzare un confronto ancora più efficace di quello tra gemelli monozigoti e fratelli allo scopo di distinguere il contributo di geni e ambiente, ovvero quello tra gemelli monozigoti e gemelli dizigoti o fraterni (nati da due ovuli diversi). Questi ultimi, come i fratelli, hanno il 50% dei geni in comune ma, come i gemelli monozigoti, condividono l'ambiente di vita fin dal concepimento, permettendo quindi, rispetto ai gemelli monozigoti, di escludere le influenze dovute alla condivisione dell'ambiente intrauterino. Lo studio dei gemelli, come quello sulle adozioni, è risultato molto utile per analizzare l'influenza relativa di geni e ambiente, soprattutto su tratti assai complessi come quelli riguardanti il comportamento e le malattie comportamentali. In questo modo, per es., è stato possibile valutare come il rischio di sviluppare la schizofrenia sia del 17% se si ha un gemello dizigote malato, ma salga al 48% nel caso di un gemello monozigote malato, suggerendo una forte influenza genetica per quanto riguarda la vulnerabilità a questa patologia.

I due metodi, delle adozioni e dei gemelli, possono essere combinati al fine di raggiungere una capacità di analisi maggiore, come nel caso dello studio dei gemelli monozigoti cresciuti in ambienti diversi in seguito ad adozione. In questo caso, ipotizzando che un dato comportamento dipenda esclusivamente dai geni, i gemelli adottati si comporteranno nello stesso modo, mostrando una correlazione pari a 1. Invece, se il comportamento dipende dai geni solo per il 50%, i gemelli monozigoti mostreranno una correlazione per quel comportamento pari a 0,50 e così via. In tutti gli studi, la correlazione, ovvero la similitudine, per lo stesso tratto comportamentale tra due gemelli non ha mai raggiunto il valore 1, dimostrando come i geni non determinino per intero come si è fatti ed evidenziando l'importanza delle esperienze e dell'ambiente.

Al fine di valutare la dimensione degli effetti genetici nel determinare un dato tratto, si usa l'indice di ereditabilità, detto anche, più semplicemente, ereditabilità, che misura la proporzione della varianza fenotipica tra individui dovuta alla varianza genetica. Tale parametro genetico ha un valore ben preciso e stimabile, compreso tra 0 e 1. Per meglio comprendere l'ereditabilità, si cita l'esempio del calcolo di questo indice per la statura di una data popolazione. La statura è chiaramente influenzata da fattori sia genetici (le caratteristiche dei genitori) sia ambientali (per es., la dieta) e l'ereditabilità si valuterà considerando quanto la differenza di altezza tra gli individui sia da attribuire a variazioni genetiche rispetto alla variazione totale (genetica e

ambientale). Più il valore dell'ereditabilità si avvicina a 1, maggiore è la porzione di varianza fenotipica spiegata dalla varianza genetica. Quindi, se le differenze di statura dipendessero solo dai geni l'ereditabilità sarebbe pari a 1. Al contrario, nel caso le differenze fossero dovute interamente a fattori ambientali, l'ereditabilità sarebbe pari a 0. Nel caso della statura, il valore dell'ereditabilità cambia da popolazione a popolazione, ma in linea di massima oscilla tra 0,6 e 0,9, indicando che il contributo genetico è preminente, sebbene l'ambiente (in particolare, l'alimentazione durante le prime fasi della vita) abbia anch'esso un'influenza rilevante. Altri esempi di ereditabilità, valutata attraverso numerosi studi di genetica quantitativa, sono quelli del quoziente intellettivo, la cui stima oscilla tra 0,3 e 0,7, oppure quelli riguardanti il livello di socievolezza, timidezza, emotività o attività, che presentano un indice di ereditabilità variabile tra 0,2 e 0,5.

È importante sottolineare come l'ereditabilità e la correlazione per un dato tratto comportamentale siano due misure ben distinte. Per meglio capire tale differenza, si prendano in esame, per es., due parenti di primo grado come genitore e figlio e si ipotizzi che essi siano simili per un dato tratto comportamentale al 50% e quindi che il valore della correlazione sia pari a 0,5. In questo caso, l'ereditabilità, che tiene conto non solo della varianza fenotipica, ma anche di quella genetica, avrà un valore pari a 1. Infatti, l'ereditabilità è indicata dal rapporto tra il valore della correlazione – in questo caso pari a 0,5 – e la percentuale dei geni in comune, ovvero il 50%, che può essere indicato come 0,5. Concludendo, è bene ribadire che l'ereditabilità si riferisce al contributo genetico alle differenze individuali all'interno di una data popolazione in un dato momento, e non al fenotipo di un singolo individuo.

Fattori ambientali

I fattori ambientali possono essere definiti come tutte le influenze non dipendenti da fattori genetici, comprendenti gli eventi prenatali e quelli biologici non genetici che si verificano dopo la nascita come, per es., le malattie e l'alimentazione (Plomin, DeFries, McClearn, McGuffin 20004).

Come detto in precedenza, i geni influenzano profondamente la costituzione fisica e il comportamento. Lo studio dell'intelligenza misurata con il metro impreciso del quoziente intellettivo insegna che due gemelli monozigoti risultano simili, due fratelli mostrano una similitudine minore e due perfetti estranei hanno una correlazione pari a zero. Riassumendo, più aumentano i geni in comune più è simile il quoziente intellettivo. Quindi, i geni intervengono nel dare forma a quest'ultimo. Tuttavia, una serie di considerazioni mette in evidenza come anche l'ambiente e le esperienze siano fondamentali. Infatti, il quoziente intellettivo sta crescendo, generazione dopo generazione, molto rapidamente nella popolazione: ben tre punti per decade. Le

cause di questo rapido cambiamento dell'intelligenza umana sono ambientali. Le nuove generazioni vivono in ambienti sempre più stimolanti e vengono nutrite sempre meglio. Questo permette un maggiore sviluppo delle capacità e del quoziente intellettivi. Tutto ciò dimostra, dunque, come le esperienze educative, alimentari, sociali, emotive – soprattutto durante i primi anni di vita – influenzino profondamente i tratti comportamentali.

In effetti si è consapevoli dell'enorme importanza dell'esperienza legata all'educazione e alla cultura. Se si pensa alla lingua parlata, agli usi alimentari, al modo di curare la prole di ciascuna comunità risulta chiaro che come si è fatti dipende in larga parte dalle esperienze. È importante però sottolineare che i fattori ambientali rilevanti per lo sviluppo non riguardano esclusivamente l'istruzione e l'educazione, perché anche altri eventi, come il rapporto con i genitori o i traumi in età precoce, possono determinare le risposte comportamentali da adulti. La possibilità di stabilire un legame con una figura di riferimento è riconosciuta come un fattore chiave per lo sviluppo della persona. Infatti, l'impossibilità di formare tale legame nella prima infanzia è associata ad alterazioni neuroendocrine e comportamentali permanenti. In particolare, come mostrato da Michael Rutter del King's college di Londra, l'assenza di un legame con una figura di riferimento nella prima infanzia compromette seriamente la capacità di adattamento sociale. Tale compromissione sembra essere dipendente dalla fase di crescita e proporzionale alla durata del periodo di deprivazione. Durante l'infanzia esiste infatti un periodo critico (v. oltre) che assicura l'apprendimento delle abilità sociali. Se in tale periodo si vive una situazione di isolamento, anche parziale, dagli altri, le competenze sociali adulte saranno inadeguate. I risultati sull'importanza delle cure materne durante i primi anni di vita sono stati confermati da una serie di studi di neuroendocrinologia. Questi studi, condotti tra gli altri da Megan Gunnar dell'Università del Minnesota, dimostrano come, alla fine del loro primo anno di vita, gli individui che non hanno ricevuto livelli adeguati di cure materne mostrano elevati livelli di cortisolo, un ormone prodotto dall'organismo, in seguito a esposizione a eventi stressanti. Tale aumento rappresenta un fattore di vulnerabilità a malattie psichiatriche come la depressione maggiore (Rutter, Moffitt, Caspi 2006).

Programmazione e ipotesi mismatch

La crescente rilevanza riconosciuta ai fattori ambientali, durante le prime fasi di vita, nella formazione della fisiologia e del comportamento di un individuo ha spinto alcuni ricercatori a ipotizzare che il verificarsi di una discordanza (mismatch) tra le caratteristiche dell'ambiente precoce e di quello adulto possa essere alla base dell'insorgenza di una vulnerabilità per diverse malattie.

In base a questa ipotesi, avanzata tra gli altri da Peter Gluckman dell'Università di Auckland in Nuova Zelanda, Mark Hanson dell'Università di Southampton in Gran Bretagna e da Patrick Bateson del King's college di Cambridge, sempre in Gran Bretagna, l'ambiente precoce influenza in modo così marcato le traiettorie di sviluppo dell'individuo che egli risulta adattato e idoneo, da un punto di vista metabolico e/o comportamentale, in maniera specifica a quel tipo di ambiente. Infatti, nella storia della specie umana, sebbene gli uomini abbiano colonizzato territori dalle caratteristiche ambientali molto diverse, quasi sempre gli individui crescono nel territorio in cui poi vivranno da adulti. Quindi, da un punto di vista evolutivo, un adattamento all'ambiente di crescita risulta estremamente vantaggioso perché prepara ad affrontare quello in cui ci si troverà una volta adulti. Tuttavia, può accadere che i due ambienti non coincidano, facendo sì che l'individuo non sia adattato all'ambiente della vita adulta.

È stato ipotizzato che tale discordanza sia alla base dell'insorgenza di un certo numero di patologie, e in particolare di quelle caratterizzate da una disfunzione metabolica. Per es., se un organismo riceve un apporto nutritivo limitato durante le fasi precoci dello sviluppo, crescerà in modo da avere, da adulto, un basso metabolismo che gli permetterà di affrontare un ambiente simile a quello di sviluppo, ovvero caratterizzato da scarse risorse nutritive. Tuttavia, nel caso egli sia esposto a un ambiente ricco di risorse nutritive, avrà difficoltà a gestire, da un punto fisiologico e comportamentale, una dieta ipercalorica, presentando una maggiore vulnerabilità a patologie caratterizzate da una disfunzione metabolica, come per es. il diabete, che in tempi recenti stanno divenendo sempre più comuni, soprattutto nella società occidentale (Gluckman, Hanson 2008).

Influenza reciproca tra geni e ambiente

Come descritto in precedenza, da alcuni lustri è evidente che considerare natura e ambiente due fattori separati e indipendenti propone un approccio semplicistico e, soprattutto, errato. È infatti ormai chiaro come lo sviluppo del sistema nervoso centrale e del comportamento dipenda da entrambi i fattori e, in particolare, da come questi si influenzano reciprocamente in termini sia di correlazione sia di interazione (Rutter, Moffitt, Caspi 2006).

Correlazioni e interazioni

La correlazione tra geni e ambiente nasce dal fatto che i primi condizionano le risposte individuali a specifici stimoli ambientali, e ciò avviene principalmente mediante due distinti meccanismi.

Il primo è la sovrapposizione tra l'effetto dei geni e quello dell'ambiente nel dare forma a un individuo. Infatti i genitori, oltre a trasmettere ai figli i propri geni, forniscono loro l'ambiente di crescita. Quindi la correlazione è dovuta a tale sovrapposizione, per cui i genitori che trasmettono ai propri figli geni associati a una data risposta comportamentale li fanno crescere in contesti ambientali che tendono a stimolare tale risposta. Per es., i genitori che sono affetti da psicopatologie o da problemi legati alla dipendenza dall'alcol o dalle droghe, da un lato potrebbero possedere, e quindi trasmettere, geni che aumentano la vulnerabilità a tali malattie, ma dall'altro, spesso non riescono con successo nel loro ruolo di educatori, in quanto fanno crescere i propri figli in un ambiente poco formativo. Come descritto nei paragrafi precedenti, le tecniche di genetica quantitativa riescono a identificare il contributo di ciascuno dei due fattori.

Il secondo meccanismo alla base della correlazione geni-ambiente è legato al fatto che gli individui scelgono l'ambiente in cui vivere, e che tale scelta è in parte dovuta al corredo genetico. Si ipotizzi, per es., che un individuo abbia dei geni che creano una predisposizione verso la timidezza e una limitata socievolezza. In conseguenza di ciò, tale individuo tenderà a vivere in un ambiente socialmente poco stimolante, esacerbando la propria naturale tendenza all'isolamento. Simile sarebbe la condizione di un individuo geneticamente dotato di talento per una determinata attività, come quella matematica, musicale oppure atletica. Questo individuo dedicherà più tempo e maggiore dedizione a tale attività, con un ulteriore sviluppo di questa inclinazione. Quindi, sebbene i geni giochino un ruolo primario nella scelta dell'ambiente di crescita e, in generale, di vita, sarà la combinazione degli effetti di entrambi i fattori a determinare il comportamento caratteristico di un dato individuo.

Nel caso dell'interazione, un primo meccanismo con il quale geni e ambiente si influenzano reciprocamente è quello per cui i primi creano la condizione affinché si verifichino dei cambiamenti, ma la direzione di questi ultimi è data dall'ambiente. Usando gli esempi descritti in precedenza relativi al talento per una data attività si può facilmente intuire come, sebbene una persona possieda i geni che predispongono a spiccate capacità musicali, queste ultime non saranno mai sviluppate se l'individuo non avrà la possibilità di venire a contatto con uno strumento o con un ambiente musicale appropriato. Per assurdo, si può ipotizzare che probabilmente il talento di Wolfgang Amadeus Mozart non si sarebbe mai palesato se fosse cresciuto in una famiglia priva di ogni istruzione musicale, invece di avere un padre musicista, in quanto, nonostante fosse 'geneticamente' molto portato per la musica, non avrebbe avuto qualcuno idoneo a istruirlo in questo campo.

Negli ultimi anni, è stato identificato un ulteriore meccanismo che determina l'interazione tra geni e ambiente, tale per cui le esperienze sono in grado di esercitare un'azione diretta sull'attività dei geni. Fino a pochi anni fa si riteneva che le condizioni ambientali non potessero indurre cambiamenti nella struttura dei geni e nel loro livello di espressione. Effettivamente la sequenza del DNA (DeoxyriboNucleic Acid), ossia l'ordine delle coppie di basi, che codifica l'informazione ereditaria necessaria per la costruzione di un organismo, non può essere modificata in dipendenza dell'ambiente, mentre può esserlo l'espressione genica (per i meccanismi molecolari alla base di tale fenomeno, v. oltre). Per meglio illustrare questo fenomeno si può segnalare l'esempio di come le esperienze negative durante le prime fasi dello sviluppo siano in grado di alterare il livello di espressione di geni chiave nel controllo dell'attivazione dell'asse ipotalamo-ipofisi-surrene alla base della risposta allo stress. In particolare, Michael Meaney, dell'Università McGill di Montreal in Canada, ha mostrato come traumi precoci modifichino l'espressione genica in modo tale da rendere l'asse più reattivo, quando i soggetti sono esposti a eventi stressanti, creando così una vulnerabilità per la psicopatologia (Jablonka, Lamb 2005). In generale, l'interazione non è dovuta unicamente alla sovrapposizione o meno di determinati assetti genetici e specifiche condizioni ambientali, ma i due fattori si influenzano in modo diretto e bidirezionale, modificandosi reciprocamente.

Norma di reazione

Come si è visto, un genotipo non dà luogo a un'unica traiettoria di sviluppo e quindi a un unico fenotipo, ma l'ambiente interviene nel modulare tale traiettoria, rendendo il numero di fenotipi che si possono originare da un genotipo teoricamente pari a infinito. L'insieme delle diverse possibili traiettorie di sviluppo, che variano in modo complesso e imprevedibile a seconda del variare dell'ambiente, è definito norma di reazione. Tale concetto presenta diverse implicazioni di fondamentale importanza nello studio delle basi genetiche del comportamento. Innanzi tutto, la caratterizzazione di un dato genotipo è strettamente dipendente dall'ambiente di studio; in secondo luogo, è errato supporre che il genotipo e l'ambiente contribuiscano in modo cumulativo a dare forma al fenotipo; e, infine, il contributo relativo di ciascun fattore non può essere quantificato.

Uno degli esperimenti più noti per descrivere la norma di reazione in modo esaustivo, citato spesso da Richard Lewontin, dell'Università di Harvard, autorevole genetista e autore di fama mondiale, è stato condotto con una pianta della specie *Achillea millefolium*. In particolare, sette esemplari sono stati divisi in tre parti, usate come talee. La prima è stata piantata a livello del mare, la seconda oltre i 3000 m di altitudine e la terza, infine, a un'altitudine intermedia di 1400 metri. Le talee, ovvero dei cloni uguali al 100% da un punto di vista genetico, si sono sviluppate in maniera assai diversa alle tre altitudini, e nessuna delle 7 piante originarie ha prodotto

sempre la pianta più alta o quella più bassa. Questo risultato illustra chiaramente che non è possibile prevedere quale genotipo possa produrre la miglior crescita, senza specificare l'ambiente in cui tale sviluppo avverrà.

Risultati analoghi sono stati ottenuti studiando il comportamento di ratti di laboratorio. Due ricercatori, Roderick M. Cooper e John P. Zubek, alla fine degli anni Cinquanta del secolo scorso studiarono due linee di ratto, generate incrociando tra loro, rispettivamente, gli individui più abili e quelli meno abili. Tale allevamento selettivo aveva permesso di ottenere una linea di animali estremamente abile a trovare la via di uscita in un labirinto e un'altra che invece presentava grandi difficoltà nello svolgere lo stesso compito. Poiché i ratti delle due linee venivano allevati in ambienti identici, si è dedotto che le differenze nel comportamento fossero da imputare unicamente a differenze genetiche (R.M. Cooper, J.P. Zubek, *Effects of enriched and restricted early environments on the learning ability of bright and dull rats*, «Canadian journal of psychology», 1958, 12, 3, pp. 159-64). Tuttavia, quando i ratti delle due linee vennero allevati in ambienti fisicamente e socialmente impoveriti o arricchiti, la differenza nelle prestazioni tra queste sparì, indicando che l'ambiente può modulare questa risposta comportamentale, determinata dai geni, in modo profondo e imprevedibile (Lewontin 1998).

Fattore temporale: le finestre di opportunità

La convinzione secondo cui un bambino o una bambina o, più in generale, un individuo di qualsiasi specie animale all'inizio della sua vita possa essere considerato un adulto in miniatura è profondamente errata. In base a tale idea riduzionista, si può ipotizzare che qualcosa che fa bene in una certa dose a un adulto, se somministrata a una dose proporzionalmente ridotta fa bene anche a un neonato o a un bambino. Ciò non solo è inesatto, ma può avere conseguenze anche gravi, in quanto la fisiologia di un organismo durante le prime fasi dello sviluppo è, per molti aspetti, sostanzialmente diversa da quella di un adulto. Patrick Bateson, per illustrare questo concetto in modo chiaro, riporta il caso della metamorfosi di un bruco in una farfalla o di un girino in una rana, mettendo così in evidenza i profondi cambiamenti a cui un individuo va incontro nel corso della vita. Anche nella specie umana vi sono dei momenti in cui avvengono cambiamenti importanti, sebbene la metamorfosi non sia altrettanto vistosa (*Discontinuities in development and changes in the organization of play in cats*, in *Behavioral development*, ed. K. Immelmann, G.W. Barlow, L. Petrinovich, M. Main, 1981, pp. 281-95).

Il processo di sviluppo, quindi, implica cambiamenti più o meno sostanziali, i quali sono indotti e prendono forma in base all'influenza reciproca tra geni e ambiente. È importante però sottolineare che questi

cambiamenti non avvengono in modo uniforme durante l'intero arco di vita, ma esistono finestre temporali, definite periodi critici, in cui essi possono e/o devono avvenire. L'infanzia, per es., è un periodo in cui le esperienze esercitano una grande influenza sull'individuo ed è pertanto un periodo di grande plasticità. Grazie a questa, il cervello ha la capacità di cambiare la propria struttura e funzione in base agli stimoli che l'ambiente gli fornisce.

Periodo critico

Il periodo critico è quello durante il quale l'esperienza risulta essenziale per il corretto sviluppo di un dato circuito o di un insieme di circuiti neurali, ovvero un insieme di neuroni interconnessi che controllano una data funzione, come, per es., la vista o la risposta emotiva. Durante il periodo critico tali circuiti saranno sensibili all'arrivo di stimolazioni prodotte dalle esperienze per continuare a svilupparsi in modo appropriato. Tali stimolazioni provocano un'attività neurale e fanno sì che un preciso schema di connessioni tra cellule nervose sia selezionato per far parte del futuro cervello adulto. Gli altri schemi, che invece non vengono stimolati, verranno persi con la crescita (fenomeno chiamato pruning «potatura»).

I periodi critici sono quindi delle finestre temporali, che si aprono e si chiudono, caratterizzate da particolare sensibilità alle esperienze. In queste fasi, una data esperienza è necessaria per completare il corretto sviluppo di specifici circuiti neurali e, di conseguenza, dei comportamenti che da essi dipendono. Terminati questi periodi, che hanno una differente durata per le diverse funzioni, l'esperienza non avrà più lo stesso effetto. Quindi, se i circuiti cerebrali non sono stati indotti o stimolati in modo appropriato durante queste finestre di opportunità, sarà difficile recuperare.

L'esistenza di periodi critici è messa in evidenza da come si acquisisce larga parte delle capacità. Un esempio classico è il linguaggio. L'apprendimento linguistico avviene durante l'infanzia e la fanciullezza. Si parla come madrelingua quella forma idiomatica con cui si è venuti a contatto durante i primi anni di vita. In seguito, durante l'adolescenza e la fase adulta, si può apprendere una seconda lingua, ma non si è in grado di parlarla come la madrelingua. Nella maggior parte dei casi si manifesta sempre una scioltezza limitata e un accento che tradisce le origini linguistiche. Un altro esempio della plasticità che contraddistingue il cervello durante i primi anni di vita è la capacità di recupero rispetto all'ambliopia (l'occhio pigro), che comporta una diminuzione dell'acutezza visiva. Se si interviene durante il periodo critico, una stimolazione appropriata dell'occhio meno efficiente permette il recupero di una corretta funzionalità visiva.

Dati recenti suggeriscono che anche tratti comportamentali assai complessi, ritenuti quasi indipendenti dalle esperienze precoci, sono invece influenzati dall'ambiente in cui si è cresciuti. Un programma nato nel 1995 negli Stati Uniti, chiamato Head start e mirato a migliorare le condizioni di crescita delle persone più disagiate, aveva lo scopo di aumentare il quoziente intellettivo esponendo i bambini a un ambiente ricco di stimoli durante la fase di vita prescolare. Però, nonostante le grandi aspettative, i dati raccolti molti anni dopo sugli individui 'arricchiti', ormai adulti, sono apparsi in un primo momento assai deludenti: nessuno o pochi miglioramenti del quoziente intellettivo erano stati indotti dall'arricchimento. Tuttavia, una più accurata analisi dei dati, in un secondo momento, ha messo in evidenza come, sebbene il quoziente intellettivo non fosse stato influenzato, altri aspetti del comportamento, legati maggiormente alla vita sociale ed emotiva, fossero sensibilmente migliorati. Infatti questi individui, rispetto a quelli non esposti all'arricchimento, conducevano una vita di coppia più stabile e duratura e più raramente andavano incontro al divorzio, avevano una cerchia di amici più ampia, riuscivano a inserirsi nella vita lavorativa con maggiore successo e più raramente commettevano azioni illegali. In altre parole, queste persone sembravano essere in possesso di competenze emotive e sociali più elaborate, che permettevano loro una migliore integrazione sociale e affettiva.

L'importanza dell'ambiente precoce nel dare forma alle competenze emotive e sociali dell'adulto è stata evidenziata anche in individui cresciuti in condizioni di forte deprivazione sociale ed emotiva (come in alcuni orfanotrofi dell'Unione Sovietica e dei Paesi dell'Europa dell'Est prima della caduta del muro di Berlino). Questi individui, da adulti, presentavano problemi comportamentali, ancora una volta concernenti soprattutto la sfera cognitiva ed emotiva. Tali problemi sono stati in parte risolti dall'adozione, ma solo se avvenuta in un momento sufficientemente precoce.

Nel loro insieme, queste ricerche hanno evidenziato che un ambiente ricco di stimoli durante l'infanzia è fondamentale per sviluppare appropriate competenze sociali e che l'effetto dell'ambiente è prevalente durante una finestra temporale che si sovrappone ai primi anni di vita. È opportuno comunque sottolineare come, sebbene i periodi critici siano presenti prevalentemente durante l'infanzia, anche da adulti si possono acquisire nuove abilità. Nell'età adulta però l'apprendimento avviene con maggiore difficoltà e in maniera più grossolana rispetto all'infanzia. È stato ipotizzato infatti che la differenza tra l'infanzia, e quindi il momento in cui si vive in un periodo critico, e l'età adulta non concerne la qualità dell'apprendimento, ma piuttosto la sua velocità.

In conclusione, gli esempi appena forniti sui periodi critici mettono in evidenza come quello temporale sia un fattore chiave nel determinare la dinamica dell'interazione tra geni e ambiente. L'effetto di una data interazione, infatti, dipenderà non solo dalla presenza di un certo assetto genetico e dal verificarsi di una specifica condizione ambientale, ma anche dal momento in cui, durante l'intero arco della vita, questi eventi vengono a interagire.

Influenza tra geni e ambiente nello sviluppo delle patologie

Tale influenza gioca un ruolo chiave nell'insorgenza e nella progressione della maggior parte delle malattie. La direzione e l'intensità di un effetto clinico associato a una data variante genetica cambiano al variare dell'ambiente. In altre parole, il rischio genetico per la malattia, anche grave, si modifica a seconda dell'ambiente. Di conseguenza, un individuo può ereditare una predisposizione per una malattia, anche molto grave, ma potrebbe non svilupparla mai perché non viene esposto a un certo fattore ambientale scatenante. Tale concetto è stato ben illustrato dalla metafora coniata da Judith Stern dell'Università di Davis in California (UC Davis): «I geni caricano l'arma, ma è l'ambiente a tirare il grilletto».

La probabilità di insorgenza di una data malattia è strettamente associata al rischio ambientale e le conseguenze di quest'ultimo variano notevolmente da individuo a individuo. Per es., in seguito all'esposizione a un rischio, indipendentemente dalla sua gravità, alcuni individui soffriranno per le gravi conseguenze, mentre altri risulteranno quasi o completamente illesi. Ciò avviene perché la malattia si manifesta solo nel caso in cui si verifica una data interazione tra geni e ambiente. Per meglio chiarire questo concetto è bene citare un esempio: l'esposizione a una dieta particolarmente ricca per un lungo periodo di tempo può portare alcuni individui, ma non altri, a sviluppare il diabete mellito di tipo 2. Questa patologia è caratterizzata da un'anormalità nella produzione ed efficacia dell'ormone insulina, che rende l'organismo incapace di mantenere il livello di glucosio del sangue al di sotto di un certo valore. Nell'insorgenza di questa malattia, il fattore genetico è ciò che determina le differenze individuali nella vulnerabilità, mentre l'esposizione a una dieta ricca è il fattore ambientale che può indurre lo stato patologico. Ne consegue che entrambi i fattori devono essere presenti affinché il diabete si manifesti. Questa situazione riguarda comunque una larga parte delle malattie che si sviluppa grazie alla combinazione di geni di suscettibilità e fattori di rischio ambientale. Per es. patologie come il cancro o le malattie neurodegenerative insorgono quando un individuo possiede nel proprio genoma determinati geni di suscettibilità e viene esposto a condizioni quali il fumo, le sostanze psicoattive, le infezioni o l'assenza di attività sportiva.

I fattori genetici alla base di una suscettibilità individuale a una data patologia non sono solo quelli presenti dalla nascita ed ereditati dai genitori. Come descritto in precedenza, l'ambiente, in particolar modo quello sperimentato durante i periodi critici delle prime fasi dello sviluppo, è in grado di variare l'attività di un gene modificando profondamente il suo livello di espressione. Di conseguenza, la suscettibilità a una data patologia potrebbe non essere ereditata, ma insorgere a causa di determinate esperienze verificatesi durante periodi critici che hanno modificato sostanzialmente il livello di espressione genica. È stato infatti dimostrato che eventi traumatici avvenuti durante l'infanzia cambiano in modo permanente l'attività di geni chiave per il funzionamento cerebrale, come nel caso dei geni che permettono la sintesi delle neurotrofine (una classe di molecole scoperte dal premio Nobel Rita Levi-Montalcini), creando una vulnerabilità per la psicopatologia. È infatti noto come i traumi infantili possano incidere sul processo di crescita anche con conseguenze assai gravi, creando i presupposti per una maggiore vulnerabilità alla depressione. In particolare, è stato osservato che più alto è il numero di traumi subiti, maggiore è la vulnerabilità (Caspi, Moffitt 2006).

Studi su modelli animali

Questi studi hanno permesso di definire meglio il ruolo dell'influenza reciproca tra geni e ambiente nello sviluppo di un organismo; per es. hanno contribuito a illustrare come la presenza di un polimorfismo, ovvero l'esistenza di diverse forme di un dato gene (chiamate alleli), ognuna caratterizzata da una diversa efficienza funzionale, interagisca con l'ambiente nel dare forma al fenotipo. Inoltre le ricerche di base stanno contribuendo a delucidare i meccanismi molecolari all'origine di questo fenomeno (Meaney 2001; Suomi 2006; Branchi 2009).

Numerosi lavori di importanza storica che hanno contribuito a descrivere l'interazione tra geni e ambiente sono stati condotti sulle scimmie della specie *Macaca rhesus* dal gruppo di ricerca diretto da Stephen J. Suomi, del National Institute of Child Health and Human Development, uno dei National Institutes of Health statunitensi. Tali lavori, condotti sia in laboratorio sia sul campo, hanno messo in evidenza le differenze comportamentali presenti in una popolazione di macachi. Per es., il 5-10% degli individui della popolazione studiata esibisce un comportamento impulsivo pronunciato e ridotte competenze sociali. Queste differenze nel comportamento sono state associate a variazioni nei livelli di acido 5-idrossindolacetico (5-HIAA, 5-HydroxyIndoleAcetic Acid), un metabolita del neurotrasmettitore serotonina, e, di conseguenza, sono state associate a modifiche nel metabolismo della serotonina stessa. In particolare, macachi che mostrano bassi livelli di 5-HIAA esibiscono alti livelli di aggressività e viceversa. Questi cambiamenti neurochimici sono stati a loro volta associati al polimorfismo del gene per il trasportatore della serotonina (5-HTT, 5-HydroxyTryptamine-Transporter), per

cui gli individui che portano la forma corta (s, short) del gene per 5-HTT, che conferisce una bassa efficienza nella trascrizione e quindi nella espressione del gene, hanno livelli più bassi di 5-HIAA ed esibiscono un'aggressività più pronunciata rispetto agli individui portatori dell'allele lungo (l, long). È importante notare come tale associazione tra polimorfismo genico e comportamento in età adulta sia lineare soltanto se si considerano gli individui deprivati della madre o cresciuti da una madre che trascura la prole. Invece, nel caso di individui cresciuti da una madre che cura e accudisce la prole, il polimorfismo del gene per 5-HTT non condiziona più il comportamento adulto e tutti gli individui esibiscono bassi livelli di aggressività e alti livelli di affiliazione. Tali risultati mostrano in modo chiaro l'esistenza di un'interazione tra il gene per 5-HTT e l'ambiente di crescita (ovvero il livello di cure materne) per cui, a seconda della forma allelica presente in un individuo, l'ambiente può influenzare il fenotipo comportamentale adulto.

Anche studi condotti sul topo di laboratorio hanno dato un contributo importante alla descrizione di come geni e ambiente si influenzano reciprocamente; per es. è stato dimostrato come giovani topi di tre diverse linee murine, ognuna con determinate caratteristiche genetiche, se cresciute in diversi laboratori di ricerca, e quindi in diversi ambienti, si sviluppano in modo tale per cui non vi è una linea che risulta sempre la più esplorativa, o la più timorosa e così via (J.C. Crabbe, D. Wahlsten, B.C. Dudek, *Genetics of mouse behavior. Interactions with laboratory environment*, «Science», 1999, 284, 5420, pp. 1670-72). Benché questi studi avessero lo scopo principale di mettere in mostra la difficoltà di replicare un determinato dato in diversi laboratori, hanno fornito, anche se in modo indiretto, un chiaro esempio di interazione tra geni e ambiente.

Ulteriori ricerche hanno utilizzato animali geneticamente modificati. Sebbene i primi studi di questo tipo non fossero stati pensati specificamente per descrivere l'interazione tra geni e ambiente, essi hanno fornito delle prove indirette: per es., una serie di lavori condotti dal gruppo di ricerca di Hans-Peter Lipp del Neuroscience center di Zurigo su un modello murino della malattia di Alzheimer, al fine di comprendere le basi biologiche della patologia. Gli animali utilizzati erano geneticamente modificati per una proteina che gioca un ruolo chiave nell'insorgenza della patologia, la proteina β -APP (β -Amyloid Precursor Protein). Nel primo lavoro, i ricercatori hanno descritto come i topi portatori della manipolazione, una volta adulti, esibissero capacità di apprendimento e memoria significativamente ridotte rispetto ai controlli. In un secondo lavoro, mirato a comprendere se tali effetti insorgessero durante le prime fasi dello sviluppo, gli sperimentatori hanno sottoposto gli animali a una serie di test comportamentali. Tali esami, oltre a misurare il profilo neurocomportamentale fornivano ai soggetti sperimentali un'importante forma di stimolazione ambientale. Inaspettatamente il secondo studio, non replicò il risultato ottenuto in precedenza sugli individui adulti. Al fine di spiegare quest'apparente discrepanza, i ricercatori di Zurigo hanno ipotizzato che la stimolazione

durante la fase di sviluppo avesse appiattito la differenza di apprendimento e memoria tra topi mutanti e quelli di controllo. Questa ipotesi è stata confermata in un terzo esperimento, in cui è stato dimostrato che la mutazione genetica interagisce con l'ambiente di crescita nel dare forma alle abilità cognitive degli animali geneticamente modificati. Quindi, nel loro complesso, questi studi hanno evidenziato che gli effetti della manipolazione del gene per la proteina β -APP dipendono dall'ambiente di crescita.

Altri studi hanno mostrato interazioni fra geni e ambiente che si verificano durante la vita adulta. Per esempio, topi knockout (ovvero topi in cui un dato gene è stato reso inattivo) per una subunità del recettore N-metil-D-aspartato (NMDA) del glutammato, uno dei principali neurotrasmettitori chimici del sistema nervoso centrale, presentano una chiara incapacità ad apprendere un compito di discriminazione di due oggetti, uno familiare e uno non familiare. Questo tipo di incapacità scompare quando i topi knockout vengono esposti a un ambiente arricchito per un periodo di circa un mese e mezzo.

I topi geneticamente modificati sono stati utilizzati anche come modelli per lo studio delle basi biologiche delle malattie di tipo neurologico. L'utilizzo di questi modelli ha chiaramente mostrato il ruolo cruciale giocato dall'ambiente nell'insorgenza e nella progressione di queste patologie. Nel caso di modelli murini geneticamente modificati della malattia di Huntington, in cui l'espressione del gene della proteina huntingtina è stata alterata, gli animali sviluppano alterazioni comportamentali e vanno incontro a una neurodegenerazione nell'ambito di specifiche aree cerebrali. Questi effetti possono essere neutralizzati, o almeno rallentati significativamente, tramite l'esposizione a un ambiente arricchito. È importante sottolineare che i risultati ottenuti con studi su modelli animali sono stati successivamente confermati da studi epidemiologici condotti su esseri umani, in cui veniva evidenziato il ruolo dell'ambiente nel modulare l'effetto clinico della mutazione della huntingtina (Nithianantharajah, Hannan 2006).

Nel caso dei disordini psichiatrici, l'influenza reciproca tra geni e ambiente nel dare forma alla patologia è caratterizzata da un alto grado di complessità. Di conseguenza lo studio di queste malattie in modelli animali è estremamente impegnativo e, fino a ora, pochi studi hanno affrontato questa problematica. Tra questi, uno studio recente ha mostrato come una linea murina in cui è stato inattivato il gene della fosfolipasi C1 manifesti una serie di deficit comportamentali che presentano un'omologia funzionale con quelli dei pazienti schizofrenici, solo se gli animali sono esposti a determinate condizioni ambientali (McOmish, Burrows, Howard et al. 2008). Un altro studio ha evidenziato il ruolo dell'interazione tra geni e ambiente durante le fasi postnatali precoci nel determinare alterazioni nella capacità di rispondere allo stress. In particolare, topi knockout per il recettore dell'ormone di rilascio della corticotropina, a seconda dell'ambiente di crescita

(ovvero la deprivazione o meno della madre per lunghi periodi di tempo), mostrano un'alterazione dell'attività dell'asse ipotalamo-ipofisi-surrene che è stato ipotizzato essere alla base della vulnerabilità a disordini psichiatrici, come la depressione maggiore (Schmidt, Oitzl, Müller et al. 2003).

In conclusione, è importante notare che lo studio su modelli animali degli effetti dell'interazione tra geni e ambiente pone le basi per l'identificazione di target molecolari che potranno essere utilizzati nello sviluppo di agenti terapeutici innovativi, in grado di migliorare i sintomi di una data patologia, anche riproducendo o potenziando gli effetti benefici degli stimoli ambientali stessi (Nithianantharajah, Hannan 2006).

Meccanismi molecolari

Come detto in precedenza, recentemente è stato osservato che le esperienze possono modificare profondamente il livello di attività dei geni, ovvero quanto sono espressi. L'influenza dell'esperienza e dell'ambiente in generale sull'attività dei geni è definita effetto epigenetico, in quanto produce una modifica dell'attività di un gene senza cambiare le istruzioni contenute nel DNA. I meccanismi molecolari che permettono alle esperienze di influenzare l'espressione dei geni sono molteplici. Tra questi, forse quello maggiormente caratterizzato consiste nella modificazione della struttura della cromatina, ovvero del complesso costituito dalla molecola di DNA e da diversi tipi di proteine attorno alle quali quest'ultima è avvolta, tra le quali gli istoni sono da considerare le principali. La struttura della cromatina è particolarmente compatta in quanto deve permettere alle molecole di DNA presenti in una cellula di essere contenute nel nucleo: il DNA di una cellula umana, che se fosse 'svolto' avrebbe una lunghezza complessiva di oltre 2 m, viene così a essere contenuto in pochi millesimi di millimetro.

L'organizzazione del DNA in cromatina non ha solamente una funzione di impacchettamento, ma anche di regolazione di processi cellulari come la trascrizione. Infatti, il primo passo per l'espressione dei geni, che consiste nella produzione di proteine a partire dalle informazioni in essi contenute, è la trascrizione, ossia il trasferimento dell'informazione dal DNA all'RNA (RiboNucleic Acid). Affinché questo trasferimento si compia la macchina molecolare deputata alla trascrizione dovrà accedere all'informazione codificata nella molecola di DNA e leggerla. Tuttavia, tale informazione può essere difficilmente fruibile nel caso in cui la struttura della cromatina sia così compatta da risultare inaccessibile. Dunque la cromatina, a seconda della sua struttura, che dipende da una serie di modifiche chimiche concernenti prevalentemente gli istoni, determina se un gene sarà espresso ad alti o bassi livelli. Negli ultimi anni, diversi gruppi di ricerca hanno dimostrato che le esperienze, e in particolare quelle vissute durante l'infanzia, sono in grado di modificare la struttura della

cromatina o il livello di metilazione di un gene, alterandone così l'espressione per lunghi periodi di tempo. Quindi, a seconda delle esperienze e dell'ambiente in cui si è cresciuti o si vive, i geni saranno più o meno attivi, non solo influenzando direttamente il funzionamento del cervello e il comportamento, ma anche indirettamente creando il presupposto per diverse forme di interazione tra geni e ambiente (Tsankova, Renthal, Kumar et al. 2007).

Conclusioni

Occorre ricordare come ancora oggi, purtroppo, l'importanza delle variabili legate all'esperienza, dette epigenetiche, nella modulazione dell'espressione genica siano sottovalutate sia in ambito sperimentale sia a livello medico. L'idea di un determinismo genetico, ovvero di una pressoché totale determinazione delle caratteristiche degli organismi da parte dell'informazione genetica, è ancora molto diffusa, sebbene un numero crescente di studi descriva il ruolo di primo piano dell'influenza reciproca tra geni e ambiente nello sviluppo di un individuo. Al fine di ottenere risultati scientifici significativi, in particolar modo nel campo dello studio del comportamento e delle malattie neurologiche e psichiatriche, un approccio basato sulla consapevolezza del ruolo di primo piano giocato dall'interazione tra geni e ambiente permetterà un'analisi approfondita ed esaustiva (Bateson, Martin 1999; Ridley 2004; Rutter, Moffitt, Caspi 2006).

ANSIA, DEPRESSIONE, STRESS

XXI Secolo (2009)

di Umberto Galimberti

Ansia, depressione, stress

Ansia

Il termine ansia è spesso assimilato a quello di angoscia perché la distinzione terminologica è reperibile solo nelle lingue di origine latina. In tedesco esiste infatti l'unico termine Angst e in inglese l'unico termine anxiety. Il termine Angst è solitamente tradotto dagli psicoanalisti con angoscia e dagli psicologi con ansia. Gli psichiatri preferiscono parlare di ansia in riferimento ai soli aspetti psichici di questa emozione, mentre impiegano il termine angoscia quando in concomitanza si hanno manifestazioni somatiche talvolta particolarmente vistose. C'è inoltre chi considera l'angoscia come uno stadio più grave dell'ansia, e chi mantiene tra le due parole una rigorosa distinzione perché interpreta l'ansia come una condizione fisiologica e

psicologica in sé non anormale e in alcuni casi utile per il conseguimento di un obiettivo, e l'angoscia come l'espressione nevrotica o psicotica dell'ansia. Dalle premesse consegue la necessità di una trattazione congiunta dell'ansia e dell'angoscia, con l'attenzione rivolta a precisarne le varianti negli ambiti dove sono particolarmente marcate.

Filosofia

Angoscia è una parola la cui tradizione filosofica si può far risalire a Søren Kierkegaard, il quale l'ha impiegata per designare la condizione dell'uomo nel mondo. A differenza della paura che è un indispensabile meccanismo di difesa che scatta in presenza di un pericolo determinato, l'angoscia non si riferisce a nulla di preciso e di determinato, ma, secondo il parere di Kierkegaard, designa quello stato emotivo dell'esistenza umana che non è una realtà, ma una possibilità, nel senso che l'uomo diventa ciò che è in base alle scelte che compie e alle possibilità che realizza. Ovviamente è di ogni possibilità tanto la possibilità-che-sì quanto la possibilità-che-no, per cui l'uomo è sempre esposto alla nullità possibile di ciò che è possibile, quindi alla minaccia del nulla.

Se nel possibile tutto è possibile, come peraltro scrive Kierkegaard, essendo l'esistenza umana aperta al futuro, l'angoscia è strettamente connessa all'avvenire, che è poi quell'orizzonte temporale in cui l'esistenza si realizza: «Per la libertà, il possibile è l'avvenire, per il tempo l'avvenire è il possibile. Così all'uno come all'altro, nella vita individuale, corrisponde l'angoscia» (Begybet Angest, 1844; trad. it. Il concetto dell'angoscia, 1965, p. 113). Il passato può angosciare in quanto si ripresenta come futuro, cioè come una possibilità di ripetizione. Una colpa passata, per es., genera angoscia se non è veramente passata, perché in questo caso genererebbe soltanto pentimento. L'angoscia è legata a ciò che è ma può anche non essere, al nulla connesso a ogni possibilità, ma siccome l'esistenza è possibilità, l'angoscia è il tarlo del nulla nel cuore dell'esistenza.

Nella filosofia contemporanea il tema dell'angoscia è stato ripreso da Martin Heidegger in questi termini: «Col termine angoscia (Angst) non intendiamo quell'ansietà (Ängstlichkeit) assai frequente che in fondo fa parte di quel senso di paura che insorge fin troppo facilmente. L'angoscia è fondamentalmente diversa dalla paura. Noi abbiamo paura sempre di questo o di quell'ente determinato, che in questo o in quel determinato riguardo ci minaccia. La paura di... è sempre anche paura per qualcosa di determinato. [...] Nell'angoscia, noi diciamo, 'uno è spaesato'. Ma dinanzi a che cosa v'è lo spaesamento e cosa vuol dire quell'uno? Non possiamo dire dinanzi a che cosa uno è spaesato, perché lo è nell'insieme. Tutte le cose e noi stessi affondiamo

in una sorta di indifferenza. Questo, tuttavia, non nel senso che le cose si dileguano, ma nel senso che nel loro allontanarsi come tale le cose si rivolgono a noi. Questo allontanarsi dell'ente nella sua totalità, che nell'angoscia ci assedia, ci opprime. Non rimane nessun sostegno. Nel dileguarsi dell'ente, rimane soltanto e ci soprassale questo 'nessuno'. L'angoscia rivela il niente. [...] Che l'angoscia sveli il niente, l'uomo stesso lo attesta non appena l'angoscia se n'è andata. Nella luminosità dello sguardo sorretto dal ricordo ancora fresco, dobbiamo dire: ciò di cui e per cui ci angosciavamo non era 'propriamente' niente. In effetti il niente stesso, in quanto tale, era presente» (Was ist Metaphysik?, 1929; trad. it. in Segnavia, 1987, pp. 67-68).

Karl Jaspers distingue una 'duplice angoscia': quella dell'esserci (Dasein) e quella dell'esistenza (Existenz). La prima è l'angoscia dell'uomo che non può nascondersi che ad attenderlo al termine della vita c'è la morte, di fronte alla quale sono possibili due atteggiamenti: o la disperazione o la rimozione con conseguente banalizzazione della vita; la seconda è quella dell'uomo che si è reso conto che la sua esistenza è un'apertura al senso che ha come sua ultima espressione l'implosione di ogni senso in occasione della morte. Rispetto alla prima forma di angoscia «dove la vita sembra perdersi angosciosamente nel vuoto», nella seconda forma «la morte esistenziale, di fronte alla morte biologica, finisce col portare alla più completa disperazione, per cui sembra che non sia possibile altra vita se non quella che si snoda tra l'oblio e l'illusione di un vuoto non-senso» (Philosophie, 1933; trad. it. 1978, pp. 702-03).

Psicoanalisi

Il concetto di angoscia è fondamentale nella teoria psicoanalitica di Sigmund Freud, che ne fornisce una spiegazione psicogena rispetto alle teorie somatogene della precedente psichiatria che attribuiva l'angoscia al cattivo funzionamento del sistema neurovegetativo. Due sono le date significative per l'elaborazione di questo concetto: il 1895 anno in cui Freud distingue la nevrosi d'angoscia dalla nevrastenia da un lato e dall'isteria dall'altro, e il 1925 in cui distingue l'angoscia di fronte a una situazione reale, l'angoscia automatica e il segnale d'angoscia.

La nevrosi d'angoscia (Angstneurose) si distingue sul piano sintomatico dalla nevrastenia, dove non si evidenziano stati di attesa ansiosa, accessi di angoscia o suoi equivalenti somatici, mentre sul piano eziologico va distinta dall'isteria che è una nevrosi di transfert, laddove invece la nevrosi d'angoscia è una nevrosi attuale, nel senso che non è determinata da conflitti dell'età infantile, ma da conflitti attuali riconducibili all'accumulazione di tensione sessuale somatica. Tale tensione, per insufficienza di elaborazione psichica, non riesce a legarsi ad alcun contenuto rappresentativo e perciò si traduce direttamente in sintomi somatici quali

vertigini, dispnea, disturbi cardiaci, sudori, o in sintomi fobici senza la possibilità di leggerli un sostituto simbolico della rappresentazione rimossa.

A parere di Freud la nevrosi d'angoscia ha in comune con l'isteria «una specie di conversione, solo che nell'isteria si tratta di eccitamento psichico che segue una via sbagliata la quale conduce esclusivamente al campo somatico, mentre nella nevrosi d'angoscia si tratta di tensione fisica che è incapace di trovare uno sfogo psichico, e conseguentemente si mantiene nel canale fisico. I due processi si combinano con enorme frequenza» (Briefe an Wilhelm Fliess 1887-1904, 1986; trad. it. 1986, p. 105). Incontrano frequentemente nella nevrosi d'angoscia le donne vergini, le donne astinenti, le donne sottoposte a coito interrotto o riservato, e le donne in climaterio che non trovano appagamento corrispondente all'accentuarsi del bisogno sessuale. Sempre secondo Freud vanno incontro alla nevrosi d'angoscia gli uomini astinenti, coloro che interrompono bruscamente abitudini masturbatorie, e quanti praticano il coito interrotto o riservato.

L'angoscia reale (Realangst) è un concetto introdotto da Freud nel 1925 in riferimento all'angoscia che nasce da un pericolo esterno che agli occhi del soggetto appare come una minaccia reale. Come tale l'angoscia reale va distinta dalla nevrosi d'angoscia, dove la minaccia non è esterna ma di origine pulsionale. Ciò non impedisce una contaminazione delle due forme d'angoscia come nei casi in cui, scrive Freud: «il pericolo è conosciuto e reale, ma l'angoscia di fronte a esso è smisuratamente grande, più grande di come, a nostro giudizio, dovrebbe essere» (Hemmung, Symptom und Angst, 1925; trad. it. in Opere, 10° vol., 1967-1993, p. 311); in secondo luogo: «la pretesa pulsionale spesso diventa un pericolo (interno) per l'unico motivo che il suo soddisfacimento porterebbe con sé un pericolo esterno, e dunque perché questo pericolo interno ne rappresenta uno esterno» (p. 313).

L'angoscia automatica (Automatische Angst) si manifesta, secondo Freud, quando il soggetto non riesce a dominare e neppure a scaricare un afflusso di eccitazioni troppo numerose o troppo intense di origine interna o esterna. Si tratta quindi di un difetto delle difese dell'Io che in tal modo, come dice Freud, si conferma come unica sede dell'angoscia.

Il segnale d'angoscia (Angstsignal) è invece un dispositivo azionato dall'Io in presenza di un pericolo allo scopo di evitare l'angoscia automatica. Il segnale d'angoscia riproduce in modo attenuato la reazione d'angoscia vissuta precedentemente in una situazione traumatica consentendo di mettere in azione le opportune misure di difesa. A questo proposito, scrive Freud: «Quando l'individuo entra in una nuova situazione di pericolo, può facilmente diventare inopportuno per lui rispondere con uno stato d'angoscia (che

è la reazione a un pericolo più antico) anziché trovare la reazione adeguata al pericolo presente. La rispondenza allo scopo ricompare tuttavia quando la situazione di pericolo viene riconosciuta come imminente e segnalata mediante la crisi d'angoscia. L'angoscia può allora essere vinta immediatamente con mezzi più appropriati. Si distinguono dunque subito due modi in cui l'angoscia può manifestarsi: l'uno, inopportuno, durante una nuova situazione di pericolo; l'altro, opportuno, per segnalare e prevenire una tale situazione» (pp. 282-83).

L'isteria d'angoscia (*Angsthysterie*) detta anche angoscia fobica, va tenuta distinta dalla nevrosi d'angoscia perché, a differenza di quest'ultima che si traduce direttamente in sintomi somatici, l'isteria d'angoscia viene sottoposta a un lavoro psichico che lega l'angoscia a luoghi o persone verso cui si ha una sorta di fobia e ciò perché evocano risposte aggressive o sessuali, o perché in grado di rappresentare la punizione di un impulso vietato. La difesa nell'isteria d'angoscia si manifesta mediante l'angoscia stessa che consente all'Io di evitare la situazione, oppure mediante la proiezione di un pericolo istintuale interno su un pericolo percepibile all'esterno. Queste soluzioni sono state illustrate da Freud in *Il piccolo Hans* (*Analyse der Phobie eines fünfjährigen Knaben*, 1908; trad. it. in *Opere*, 5° vol., 1967-1983) e in *L'uomo dei lupi* (*Aus der Geschichte einer infantilen Neurose*, 1914; trad. it. in *Opere*, 7° vol., 1967-1983).

L'angoscia di castrazione (*Kastrationsangst*) è invece centrata sul fantasma della castrazione che nel maschio è avvertita come una minaccia per il suo desiderio di possedere la madre, mentre nella bambina è sentita come una menomazione che essa cerca di negare, compensare o riparare. Detta angoscia, nella teoria freudiana, segna la fine del complesso edipico.

Altre forme d'angoscia sono state evidenziate dagli sviluppi successivi della psicoanalisi in base ai rispettivi impianti teorici di riferimento. Così Otto Rank parla di angoscia di separazione come ripresa dell'esperienza traumatica della nascita. Questo concetto è recuperato da Michael Balint nell'accezione di angoscia primaria che si manifesta quando la libido investita sulla madre, restando inutilizzata per l'assenza di questa, si converte in angoscia. Tale è, per es., l'angoscia che il bambino prova quando è al buio, quando è solo, quando è in presenza di volti sconosciuti invece di quello noto e desiderato della madre.

L'angoscia primaria non va confusa con l'angoscia di base di cui parla Karen Horney nell'ambito della psicologia interpersonale, dove il sentimento di solitudine e di impotenza, avvertito nei confronti di un mondo potenzialmente ostile, è ricondotto al rapporto non gratificante del bambino con i suoi genitori. Seguendo la sua ipotesi che, rispetto a Freud, anticipa l'epoca della conflittualità psichica rintracciandola nel periodo

preedipico, Melanie Klein ha messo in relazione l'angoscia depressiva dove la sensazione «che siano distrutti gli oggetti buoni, e l'Io con loro, o che essi siano in uno stato di disintegrazione, viene collegata con gli sforzi disperati e continui di salvare questi oggetti buoni sia interni sia esterni» (A contribution to the psychogenesis of manic-depressive states, 1935; trad. it. in Scritti 1921-1958, 1978, p. 304), con l'angoscia persecutoria relativa alle minacce che il bambino sente incombenti. A questo proposito, scrive la Klein: «Ritengo che questa distinzione sia di grande valore tanto sul piano teorico quanto su quello pratico. Si tenga dunque presente che l'angoscia persecutoria attiene prevalentemente all'annientamento dell'Io e che l'angoscia depressiva attiene prevalentemente al male inferto dagli impulsi distruttivi del soggetto ai suoi oggetti d'amore interni ed esterni» (On the theory of anxiety and guilt, 1948; trad. it. in Scritti 1921-1958, 1978, pp. 444-45).

Psicologia analitica

A differenza di Freud, Carl Gustav Jung ritiene che non ogni forma d'angoscia abbia una base pulsionale, perché esiste anche un'angoscia come tentativo di evitare oppure di richiamare l'attenzione dell'individuo su uno stato di cose indesiderabile. Ne consegue, scrive Jung, che: «Se l'Io è effettivamente il 'luogo dell'angoscia', come dice giustamente Freud, e lo è fino a quando non ha ritrovato 'padre' e 'madre', Freud è messo in scacco dalla domanda di Nicodemo: 'Può egli ritornare per la seconda volta nel ventre di sua madre e venir partorito?'» (Der Gegensatz Freud und Jung, 1929; trad. it. in Opere, 4° vol., 1969-2007, p. 363). In realtà Jung non ha affrontato in maniera adeguata i procedimenti difensivi impiegati dall'Io per controllare l'angoscia, da un lato perché ha stabilito una perfetta equivalenza tra Io e coscienza e questo non gli ha consentito di prendere in considerazione le parti inconse dell'Io che fanno i conti con l'angoscia, dall'altro perché, a suo parere, il contenuto specifico di un complesso ha sempre un significato personale, e quindi non si lascia rubricare nelle classificazioni dell'angoscia ordinate da Freud.

James Hillman considera l'angoscia «la via regia per smantellare le difese paranoiche [...] che sono tanto più forti quanto più ci si difende dal panico istintuale» (An essay on Pan, 1972; trad. it. 1977, p. 74). Seguendo l'etimologia che vuole il termine panico derivato da Pan, dio del corpo, dell'istinto, della masturbazione, dello stupro e del panico che cadenzava il ritmo della danza tragica, dove la violenza del piacere si accompagnava all'angoscia dell'incubo, Hillman scrive che «essere senza paura, privi di angosce, invulnerabili al panico, significa perdita dell'istinto, perdita della connessione con Pan» (p. 73). L'angoscia allora non è più solo un meccanismo psicologico di difesa o una reazione inadeguata a una sensazione di pericolo, ma ciò che ci mette in contatto con «le regioni dell'esistenza elementare, con l'animalità inquietante che ci abita» (pp. 68-69).

Psichiatria

In questo ambito si è soliti usare il termine ansia per denotare uno stato affettivo per così dire puro, e il termine angoscia per indicare uno stato d'ansia con una componente somatica che di solito si concreta in un senso di oppressione toracica. Naturalmente questo non è l'unico sintomo corporeo, perché lo stato di angoscia può comportare manifestazioni neurovegetative, biochimiche, endocrine e, infine, comportamentali che si traducono in una accelerazione dell'attività cardiaca, in disturbi vasomotori, in disturbi respiratori, in disturbi della muscolatura striata e varie altre manifestazioni ancora.

Normalmente l'ansia agisce da pungolo allo scopo di risolvere un problema o per eliminare una minaccia. Da questo punto di vista, se i livelli d'ansia risultano troppo bassi si ha un'esecuzione subottimale, se invece sono troppo elevati si ha un declino del rendimento. La presenza dell'ansia provoca una risposta comportamentale che ha l'obiettivo di ridurla ristabilendo in tal modo l'omeostasi psichica dell'individuo. Quando è patologica l'ansia è considerata, dal punto di vista psichiatrico, come un sintomo e non come una malattia a sé, pertanto può essere presente in qualsiasi malattia psichiatrica o organica, spesso come segno prodromico.

Nella depressione, per es., è presente un atteggiamento ansioso per le convinzioni deliranti di indegnità, di colpa e di imperdonabili peccati, mentre nella schizofrenia questo atteggiamento può presentarsi nelle fasi acute per l'insorgenza di allucinazioni o di deliri terrificanti. Infine, nei soggetti che presentano una forma cronica di ansia sono frequenti altri sintomi come la difficoltà ad addormentarsi, sonno non ristoratore e con incubi, fino all'evoluzione in malattia psicosomatica. In ambito psichiatrico si è soliti distinguere diverse forme di ansia.

La nevrosi d'ansia è un quadro psicopatologico di base che può recedere spontaneamente o evolvere in quadri più strutturati come la nevrosi fobica, l'ipocondria, la depressione, o arricchirsi di disturbi psicosomatici. Alla base si riscontra una debolezza dei meccanismi di difesa che non riescono a contenere l'ansia che si manifesta in uno stato permanente di inquietudine. Il soggetto vive in una condizione penosa di incertezza, di dipendenza dagli altri, dominato da un bisogno continuo di rassicurazioni con tratti di prepotenza dovuti agli aspetti immaturi della sua personalità. Nella storia di queste persone emergono situazioni infantili di abbandono, mancanza d'amore che hanno impedito una soddisfacente maturazione della personalità. L'evolversi della nevrosi d'ansia dipende frequentemente da fattori esterni il cui carattere favorevole o sfavorevole ne condiziona decorso e gravità.

L'ansia d'attesa si avverte nell'imminenza di un'azione come il parlare, lo scrivere, il dormire, il doversi presentare ad altre persone, il prepararsi a un incontro sessuale. Victor Emil Frankl, che si è occupato in modo particolare di questo tipo d'ansia, ha scritto che «l'ansia realizza ciò che teme. Si potrebbe dire con un aforisma che mentre il desiderio è il padre di un certo pensiero, la paura è la madre dell'evento malattia. Spesso la nevrosi insorge nel momento in cui l'ansia da attesa pervade la malattia» (Theorie und Therapie der Neurosen, 1956; trad. it. 1978, p. 125). Dal punto di vista terapeutico l'ansia d'attesa si riduce, secondo Frankl, o vietando l'azione ansiogena, o invitando il paziente a immaginare proprio le situazioni che maggiormente teme e, sopprimendo l'obbligo di fare certe specifiche cose, creare le premesse perché possano essere eseguite in modo del tutto volontario e senza ansia.

L'ansia da situazione è un'ansia fobica che la psicoanalisi rubrica tra le forme dell'isteria d'angoscia, e la psichiatria tra le forme ossessive. Alla base delle ansie da situazione, come la fobia di essere osservati, di essere brutti, di emanare un cattivo odore, ci sono meccanismi di difesa contro impulsi esibizionistici, per cui ci si punisce fobicamente del desiderio di mostrare il proprio eccitamento sessuale. A sua volta l'esibizionismo è un mezzo di compensazione di complessi di inferiorità più profondi, e la nevrosi insorge quando falliscono i tentativi di compenso.

L'ansia fluttuante è uno stato di tensione apprensiva e di inquietudine che nasce dalla sensazione di non essere all'altezza dei propri compiti oppure dei ruoli che si devono assumere nella complessità con cui le società si vanno via via evolvendo, rendendo meno disponibili risposte comportamentali semplici ed efficaci come potevano essere reperite nelle società più semplici del passato. In una società complessa, dove il controllo delle variabili crea una serie di sottosistemi al cui interno si accrescono e si precisano le leggi di selezione, si richiedono agli individui una maggior mobilità e una maggior informazione per selezionare gli ambiti in cui potersi inserire senza andare incontro a pericolose frustrazioni. Tutto ciò crea negli individui quell'ansia fluttuante rispetto al sistema sociale dato e alla sua complessità dove ogni singolo soggetto gioca sia la propria identità sia la propria libertà.

Psicologia

L'interesse della psicologia per l'ansia si è sviluppato dopo quello della psicoanalisi e ne resta per la gran parte dipendente. La differenza più significativa riguarda il metodo: se la psicoanalisi guarda all'ansia in una prospettiva esplicativa, la psicologia la guarda da un punto di vista descrittivo, e la definisce in termini operativi. Con un condizionamento progressivo causato da stimoli si osservano e si misurano le reazioni

d'ansia, nonché l'ampiezza e l'intensità. Attraverso queste misurazioni John Broadus Watson è giunto alla conclusione che la differenza tra paura e ansia, frequentemente ribadita sul piano filosofico e psicoanalitico, non ha riscontro su base sperimentale dove le concomitanti fisiologiche e i fenomeni generali di reazione simpatica, come l'accresciuta frequenza del respiro e del battito del polso, l'aumentata pressione sanguigna, la sudorazione delle mani, la dilatazione delle pupille e la secchezza della bocca, sono pressoché identiche.

Questo non rilevamento della differenza dipende evidentemente dal metodo sperimentale adottato che, rivelandosi idoneo a misurare fatti, non è in grado di cogliere una differenza che si colloca sul piano dei significati. Tale limite della metodologia psicologica comportamentista è stato ben evidenziato da Jean-Paul Sartre secondo il quale: «La psicologia, intesa come scienza di certi fatti umani, non può fungere da punto di partenza, perché i fatti psichici che incontriamo non sono mai primi. Essi sono, nella loro struttura essenziale, reazioni dell'uomo al mondo, presuppongono dunque l'uomo e il mondo e non possono acquisire il loro vero senso se in via preliminare non sono state esplicate queste due nozioni. [...] Per esempio le modificazioni fisiologiche che corrispondono alla collera non differiscono che per l'intensità da quelle che corrispondono alla gioia (ritmo respiratorio un po' accelerato, leggero aumento del tono muscolare, accrescimento degli scambi biochimici, della pressione arteriosa, ecc.), e tuttavia la collera non è una gioia più intensa, è ben altro» (*Esquisse d'une théorie des émotions*, 1939; trad. it. 1962, pp. 113 e 121).

È merito della psicologia italiana, che dispone nella sua lingua di entrambe le parole ansia e angoscia, l'aver accentuato la differenza non solo in termini quantitativi, per cui l'angoscia sarebbe un'accentuazione dell'ansia, ma in termini qualitativi.

È proprio in relazione a questo motivo che Leonardo Ancona può dire che «L'angoscia si appropria a un processo psichico sostanzialmente diverso da quello dell'ansia. Infatti l'angoscia corrisponde alla situazione di trauma, cioè a un afflusso di eccitazioni non controllabili perché troppo grandi nell'unità di tempo. [...] L'ansia corrisponde invece a un processo di adattamento di fronte alla minaccia di un pericolo realistico; questo processo è una funzione dell'Io che se ne serve come di un segnale, dopo averla prodotta, per evitare di venire sommerso dall'afflusso traumatico delle eccitazioni. In questo caso l'Io del soggetto è attivo, in quanto produce l'affetto e se ne serve per trovare adeguati dispositivi di difesa, la carica pulsionale viene strutturalizzata e riprodotta senza base economica, cioè senza attuazione di scarica. La distinzione fra i due processi va mantenuta, interpretando la loro unificazione come l'aspetto di una cultura che presenta, di fronte a questa tematica, minore sensibilità per un probabile atteggiamento difensivo al riguardo. I processi a cui ci si riferisce sono in realtà distinti dal punto di vista economico, dinamico, strutturale, nonché da quello genetico.

Trascurare questa distinzione produce quindi contraddittorietà e confusione» (L'aspetto dinamico della motivazione, il conflitto psichico e i meccanismi di difesa, in *Nuove questioni di psicologia*, 1° vol., 1972, p. 918).

Depressione

La depressione è un'alterazione del tono dell'umore che evolve verso forme di tristezza profonda con riduzione dell'autostima e con il bisogno di autopunizione. Quando l'intensità della depressione supera certi limiti o si presenta in circostanze che non la giustificano, il disturbo diventa di competenza psichiatrica, dove si distingue una depressione endogena che, come vuole l'aggettivo, nasce 'dal di dentro' senza rinviare a cause esterne, e una depressione reattiva che è patologica solo quando la reazione ad avvenimenti luttuosi oppure tristi appare sproporzionata.

Nosologia

Come modificazione del tono dell'umore (in greco *thymós*), la depressione è un disturbo distimico che ha nell'euforia che, quando è spiccata, assume le forme della mania, il suo contrario. Depressione e mania possono presentarsi in fasi o cicli di settimane intervallati da periodi di benessere e allora si parla, come vuole la classificazione di Emil Kraepelin, di ciclotimia. L'equilibrio tra depressione ed euforia è tra i più delicati degli equilibri psichici.

Regolato dai centri nervosi situati nella base del cervello, tale equilibrio è compromesso dalle stimolazioni più varie che vanno dai fattori fisici, chimici, climatici, alle esperienze di vita, alla qualità dell'educazione che si è ricevuta, ai fattori ereditari, ai ritmi biologici giornalieri. Distinguere tra fattori ereditari e fattori ambientali è pressoché impossibile, perché genitori tendenzialmente depressi sottopongono i loro figli a un clima familiare triste o a un'educazione rigida e colpevolizzante che facilita la futura depressione.

Ogni individuo apprende da sé i modi per tamponare i propri squilibri umorali, soprattutto quelli a sfondo depressivo, anche perché la convenzione sociale dà a vedere di preferire e di meglio integrare i soggetti con un certo grado di euforia che favorisce investimenti, progettualità, apertura alle possibilità della vita. Questo spiega perché le forme più frequenti di depressione fanno la loro comparsa dopo l'età media, quando diventa più difficile sperare nella vita, perché il futuro è già in gran parte determinato dalle scelte compiute in precedenza. Fasi depressive attraversano la vita di tutti gli uomini come episodi normali e comprensibili, dove

il soggetto è di solito consapevole di poterle superare da sé. Quando questa consapevolezza vien meno o non è più controllabile, allora lo squilibrio depressivo assume forme psichiatriche con caratteristiche che sogliono essere descritte a seconda della tipologia dei disturbi.

I disturbi somatici e neurovegetativi comprendono l'insonnia che spesso annuncia l'inizio di una fase depressiva, l'inappetenza con dimagrimento rapido, la diminuzione dell'interesse sessuale fino alle disfunzioni epatobiliari che hanno ispirato storicamente l'etimologia della melanconia (bile nera).

I disturbi dell'affettività sono caratterizzati dalla presenza di sentimenti improntati a una tristezza profonda, monotona e cupa che resiste alle sollecitazioni esterne. A ciò si aggiunge una progressiva perdita di interesse per la vita, spesso accompagnata da un senso di colpa vissuta non in vista di un'espiazione e di una salvezza, ma come una fatalità ineluttabile. Di qui l'autoaccusa continua alla quale si sottopone il depresso sempre percorso da sentimenti di indegnità e di autodisprezzo.

L'abulia nel comportamento e l'inibizione del pensiero sono disturbi che sorgono lenti e monotoni con perdita di iniziativa e di progettualità. L'attenzione, concentrata sui temi melanconici, rende povera l'ideazione, difficoltose le associazioni, penose le rievocazioni e difficili le sintesi mentali.

La tendenza al suicidio e il desiderio di morte accompagnano frequentemente la vita del depresso che, tra tutte le forme di sofferenza psichiatrica, è senz'altro la più esposta al desiderio di morte. Talvolta, colorandosi di un significato soggettivo 'altruista', di fronte alla minaccia di un avvenire sempre più oscuro, il depresso trascina nella sua morte anche i propri familiari per farli scampare alla vita che egli ritiene impossibile da proseguire.

Forme cliniche

Si è soliti differenziare in tre grandi gruppi clinici le forme di depressione.

Nelle depressioni somatogene si può postulare un rapporto causale diretto con una malattia organica o una disfunzione somatica. In questo ambito si distinguono le depressioni organiche dovute ad arteriosclerosi, tumori cerebrali, paralisi progressive ecc., e le depressioni sintomatiche che si riferiscono ai quadri depressivi postinfettivi, postoperatori, tossici e così via.

Le depressioni endogene sono le forme classiche di depressione conosciute e descritte fin dall'antichità sotto la denominazione di melanconia. In questo ambito si distinguono le forme depressive periodiche a decorso monopolare, cioè con fasi solo depressive, e depressioni cicliche con decorso bipolare che alterna alla fase depressiva quella maniacale. Un posto a parte spetta ai quadri depressivi in psicosi schizofreniche, dove la forma della depressione può sovrapporsi alla sintomatologia schizofrenica o sostituirsi a essa come forma intermedia. La depressione endogena prevede oscillazioni durante la giornata, con risveglio precoce nel primo mattino e con il manifestarsi di idee deliranti aventi per oggetto concetti di colpa, di rovina, di incurabilità, o idee ipocondriache che per lo più traggono spunto da sensazioni di oppressione e di angustia nella zona toracica.

Le depressioni psicogene trovano la loro spiegazione in motivi psicologici riconoscibili e dimostrabili. Il caso più evidente è la depressione reattiva a un'esperienza vissuta come perdita. Tale è il lutto, la delusione amorosa, l'insuccesso nell'affermazione sociale, la frustrazione delle proprie aspettative. In questi casi il criterio di diagnosi è basato su un concetto di normalità statistica relativo al rapporto tra causa ed effetto sproporzionato e inadeguato. La relazione tra la reazione della personalità e i meccanismi psicodinamici che la determinano consente di distinguere tra la reazione depressiva semplice che abbiamo qui descritto e la reazione depressiva nevrotica dove la motivazione non è chiaramente presente alla coscienza e si confonde con la biografia del paziente e il suo sviluppo affettivo. La distinzione tra depressione reattiva e depressione nevrotica, come peraltro la più ampia distinzione tra depressione endogena e depressione psicogena, non sono condivise da tutti gli orientamenti psichiatrici, ma sono tuttavia mantenute e continueranno a esserlo finché non si perverrà a una definizione più soddisfacente del concetto di 'endogeno'.

Interpretazioni della depressione

Ve ne sono diverse che si differenziano a seconda dello schema teorico anticipato per condurre a unità le varie manifestazioni che compongono il quadro clinico del depresso.

La psicologia comprensiva interpreta la depressione come una destrutturazione dell'intenzionalità. A questo proposito Karl Jaspers scrive: «Il nucleo della depressione è formato da un'immotivata e profonda tristezza alla quale si aggiunge un'inibizione di tutta l'attività psichica, che oltre a essere sentita molto dolorosamente in senso soggettivo, è anche constatabile oggettivamente. Tutte le pulsioni istintive sono inibite, il malato non ha voglia di nulla. Da una diminuzione dell'impulso al movimento e all'attività si giunge fino a una completa inattività. Nessuna risoluzione, nessuna attività possono essere intraprese. Le associazioni non sono più

disponibili. Ai malati non viene in mente più niente, si lagnano della loro memoria completamente sconvolta, sentono la loro incapacità di rendimento, si lamentano della loro insufficienza, dell'insensibilità e del vuoto. Sentono la profonda afflizione come una sensazione nel petto e nell'addome. Nella profonda tristezza il mondo appare loro come grigio nel grigio, indifferente e sconsolante. Di ogni cosa cercano solo il lato sfavorevole e infelice. Nel passato hanno avuto molte colpe (autorimproveri, idee di colpevolezza), il presente offre loro solo disgrazie (idee di inettitudine), l'avvenire appare loro terrificante (idee di impoverimento)» (Allgemeine Psychopathologie, 1913, 19597; trad. it. 2000, pp. 640-41).

Con Ludwig Binswanger la psichiatria fenomenologica interpreta la depressione come una destrutturazione della temporalità a cui, come abbiamo visto, già aveva accennato Jaspers. Per effetto di questa destrutturazione il passato non è passato, e perciò non concede al presente di accadere e al futuro di avvenire. La perdita di un amore, di una carriera o del denaro, di cui i depressi si lamentano, sono solo simboli di una perdita molto più ampia che è quella del presente e del futuro, perché le dimensioni del passato si sono dilatate oltre ogni accettabile misura. Scrive Binswanger: «Il linguaggio dei melanconici fatto di 'se', 'se non', 'se avessi', 'se non avessi' rivela che il mondo in cui il melanconico si progetta è un mondo di vuote possibilità, perché il passato a cui il melanconico ha consegnato la sua libertà, non ne contiene alcuna» (Melancholie und Manie, 1960; trad. it. 1971, p. 34). In termini husserliani, cui Binswanger si rifà nella descrizione del quadro della melanconia, la *retentio*, che è l'atto intenzionale per cui si costituisce un passato, è così dominante sulla *praesentatio* e sulla *protentio*, che il presente diventa il tempo dell'incessante lamento (*Immerweiterlarm*) e il futuro si dischiude come l'ambito di vuote intenzioni (*Leer-intentionen*). Con il turbamento delle tre estasi temporali, tutto il processo della temporalizzazione perde la sua continuità e perciò l'esperienza il suo stile. Per questo la restituzione del denaro non modifica nell'uomo d'affari lo stato di depressione, perché questa ha le sue radici nella destrutturazione delle temporalità, per cui un fatto del passato è divenuto la totalità dell'esperienza. Come tiene a sottolineare Binswanger, la vera perdita di cui si lamenta il melanconico e di cui si autoaccusa non è tanto la perdita del denaro, ma la perdita della possibilità di fare esperienza, o, che è lo stesso, di non essere al mondo nella modalità umana della trascendenza, che da un passato rinvia a quel futuro autentico che ha i caratteri dell'evento e non del già avvenuto (pp. 38-51).

L'antipsichiatria ha messo in luce la relazione che esiste tra depressione e risposta sociale. Si parte dalla premessa che uno dei meccanismi fondamentali di elaborazione e quindi di superamento della depressione consiste, come scrive Giovanni Jervis, «Nell'identificare in altre persone e in processi sociali le cause della propria difficile condizione, cioè nel passare dalla situazione psicologica della vittima a quella di chi ritiene nuovamente suo diritto reagire e anche aggredire, questo passaggio non avviene nella depressione. [...] Infatti è

specifico della situazione psicologica del depresso non tanto il non riuscire a scorgere delle alternative, quanto piuttosto il non riuscire a scorgere le cause (sociali) di quella situazione di vita dolorosa o deludente che è all'origine della depressione. Chi non riesce a scorgere nella società e nella storia il disegno più vasto in cui si iscrive la propria condizione di vita, è portato a chiudersi in sé stesso, e a cercare le cause del male dentro di sé. Così, il depresso non si ritiene tanto colpevole della propria depressione, quanto piuttosto si ritiene colpevole (in quanto individuo isolato) di essersi costruito un'esistenza in cui non crede più» (Manuale critico di psichiatria, 1975, p. 261).

Nella psicoanalisi Freud applica «alla melanconia ciò che abbiamo appreso a proposito del lutto. In una serie di casi è evidente che anche la melanconia può essere la reazione alla perdita di un oggetto amato. [...] Può darsi che l'oggetto non sia morto davvero, ma sia andato perduto come oggetto d'amore. [...] Saremmo quindi inclini a connettere in qualche modo la melanconia a una perdita oggettuale sottratta alla coscienza, a differenza del lutto in cui nulla di ciò che riguarda la perdita è inconscio. [...] L'analogia con il lutto ci induce a concludere che il melanconico ha subito una perdita che riguarda l'oggetto; da ciò che egli dichiara risulta invece una perdita che riguarda il suo Io. [...] Non è difficile ricostruire questo processo. All'inizio ebbe luogo una scelta oggettuale, un vincolamento della libido a una determinata persona; poi, a causa di una reale mortificazione o di una delusione subita dalla persona amata, questa relazione oggettuale fu gravemente turbata. L'esito non fu già quello normale, ossia il ritiro della libido da questo oggetto e il suo spostamento su un nuovo oggetto, ma fu diverso e tale da richiedere, a quanto sembra, più condizioni per potersi produrre. L'investimento oggettuale si dimostrò scarsamente resistente e fu sospeso, ma la libido divenuta libera non fu spostata su un altro oggetto, bensì riportata nell'Io. Qui non trovò però un impiego qualsiasi, ma fu utilizzata per instaurare una identificazione dell'Io con l'oggetto abbandonato. L'ombra dell'oggetto cadde così sull'Io che d'ora in avanti poté essere giudicato da un'istanza particolare come un oggetto, e precisamente come l'oggetto abbandonato. In questo modo la perdita dell'oggetto si era trasformata in una perdita dell'Io, e il conflitto fra l'Io e la persona amata si era mutato in un dissidio fra l'attività critica dell'Io e l'Io alterato dall'identificazione» (Trauer und Melancholie, 1915; trad. it. in Opere, 13° vol., 1967-1983, pp. 104-08).

Sempre in ambito psicoanalitico, ulteriori contributi alla comprensione della melanconia sono stati forniti da Karl Abraham, che individuò la psicogenesi della depressione in una grave offesa all'autostima avvenuta nell'infanzia che ha minato la fiducia del soggetto in sé stesso provocando una regressione allo stadio orale, caratterizzato dalla dipendenza ambivalente dal seno. Questa ambivalenza fa sì che il soggetto assuma verso i propri oggetti interni un atteggiamento che è a un tempo di dipendenza e di ostilità. Nella depressione egli immagina di averli distrutti (dove gli autorimproveri) e al tempo stesso si sente incapace di sopravvivere

senza di essi (dove la depressione). Questa interpretazione è ripresa anche dalla Klein, per la quale il fattore predisponente alla depressione è l'incapacità del bambino a collocare il suo 'oggetto buono' e amato all'interno dell'Io. Questo fatto è responsabile di un sentimento di 'cattiveria' che non riesce a essere proiettato all'esterno e perciò resta incorporato nell'immagine di sé.

Jung, secondo l'approccio della sua psicologia analitica, guarda alla depressione in chiave prospettica e non esclusivamente causale. Adottando come criterio interpretativo il modello dell'energia psichica, Jung interpreta la depressione come contenimento di questa energia imprigionata e incapace di liberarsi. Nello stato di depressione occorre quindi entrare il più profondamente possibile, per scorgere che cosa impedisce all'energia di liberarsi e che cosa custodisce, «nel silenzio e nel vuoto che precedono il processo creativo» (Die Psychologie der Übertragung, 1946; trad. it. in Opere, 16° vol., 1969-2007, p. 192), come processo inespresso a cui è possibile dar corso liberando l'energia che, trattenuta, determina la depressione.

Con la teoria cognitiva di Aaron Temkin Beck si capovolge il quadro sintomatologico della depressione in quanto vengono considerate le distorsioni della cognizione, il pessimismo esagerato e gli autorimproveri non realistici come cause e non come conseguenze della condizione depressa, che avrebbe dunque la sua spiegazione nella distorsione della 'triade cognitiva' composta da aspettative negative nei confronti dell'ambiente, un'opinione negativa di sé e aspettative negative per il futuro. Ne consegue che dalla depressione si esce correggendo la cognizione delle proprie esperienze e la distorsione del concetto di sé.

La psicologia sperimentale ha interpretato con Martin Seligman e Steven F. Maier la depressione in base al modello dell'impotenza appresa. Dopo aver sperimentato che cani sottoposti a stimoli dolorosi, in una situazione che non prevede scampo, non evitavano gli stimoli dolorosi anche quando era possibile sfuggirli, avanzarono l'ipotesi che al depresso è stato impedito di impadronirsi di tecniche adattive per affrontare situazioni dolorose, con conseguente acquisizione di un atteggiamento di impotenza. L'esperienza di prove ripetute, in cui l'individuo ha finito con il verificare che i suoi sforzi non davano alcun risultato in termini di ricompensa, ha fatto sì che questo insieme di comportamenti appresi si sia generalizzato e interiorizzato in un tratto della personalità.

Semiologia delle forme depressive

L'espressione depressione anaclitica è stata introdotta da René Arpad Spitz per indicare la depressione che si manifesta in bambini separati dalla madre per lunghi periodi di tempo dopo essere stati trattati con amorevoli

cure. Nei casi descritti, questi bambini si isolano dal mondo esterno, dagli adulti che li circondano e da quanti tentano di avvicinarli. I processi di sviluppo manifestano un palese rallentamento con accentuate tendenze regressive.

La depressione anancastica indica una forma di depressione accompagnata da tensione, angoscia, idee ossessive e paranoide in individui la cui personalità premorbosa era di tipo rigido e ossessivo.

La depressione ansiosa si distingue dall'ansia a sfondo depressivo, perché mentre in quest'ultima il pessimismo è vissuto più come timore che come certezza, e assume l'aspetto del malumore o disforia piuttosto che quello della tristezza o distimia, nella depressione ansiosa l'ansia ha caratteristiche più profonde e si manifesta come sensazione angosciante di morte interiore e di perdita della propria presenza a sé e al mondo. In questa forma il rischio di suicidio è maggiore che nell'ansia a sfondo depressivo dove, come precisa G. Jervis che ha introdotto questa distinzione, da curare è l'ansia e non la depressione.

La depressione ciclica è caratterizzata da episodi di depressione alternati a episodi di euforia senza che le cause esterne sembrino avere alcun ruolo decisivo nel cambiamento umorale.

La depressione climaterica è una forma di melanconia che accompagna la cessazione delle mestruazioni. Non si può però dimostrare un rapporto fisiologico semplice tra disturbi endocrini e psichici, in quanto le alterazioni endocrine causano effetti molto diversificati a seconda dell'età e della maturità della persona. Si interpreta questa forma depressiva come una forma melanconica endogena che precipita in occasione di modificazioni ormonali di fondo.

La depressione da esaurimento è un'espressione introdotta da Paul Kielholz per designare una forma particolare di depressione reattiva che sopravviene come conseguenza di un sovraccarico emozionale prolungato o ripetuto. È frequente in uomini affaticati da responsabilità che oltrepassano le loro capacità, e si manifesta con ansia, astenia, diffidenza ed esplosioni affettive inadeguate.

La depressione da sradicamento subentra in occasione di trasferimenti o di emigrazioni che allontanando l'individuo dai luoghi in cui è vissuto determinando la perdita delle sue abitudini e delle relazioni sociali. Questa forma assume anche il nome di nostalgia, termine introdotto nel 1600 per distinguere questa particolare forma depressiva.

La depressione delirante è animata da idee di colpa inespugnabile, di rovina irreparabile, di negazione corporea, di possessione e simili. In questo ambito rientra la sindrome di Cotard, in cui il paziente è convinto di dover vivere eternamente per poter espiare in parte le sue colpe, oppure di essere gravato da una colpa così grande da dover ingombrare l'universo, o infine di essere privato di qualche suo organo o dell'intero suo corpo.

La depressione endogena insorge senza cause apparenti per cui si suppone che 'venga da dentro' senza poter specificare la natura della sua formazione. La si interpreta come un dato costituzionale.

La depressione esistenziale è un'espressione introdotta da Heinz Häfner per indicare quella forma depressiva che non ha rapporto con precedenti traumi psichici, ma con tutto il senso della vita, quando il soggetto avverte che gli sfuggono il raggiungimento e la realizzazione di scopi e valori che hanno rappresentato l'aspirazione di tutta la sua vita. Sulla depressione esistenziale Eugenio Borgna ha scritto pagine ineguagliabili.

La depressione involutiva può comparire nella donna tra i 40-50 anni e nell'uomo tra i 50-60 con andamento che di solito è cronico. Si instaura frequentemente dopo sofferenze psichiche o infermità fisiche. Spesso mancano nei precedenti anamnestici del soggetto antecedenti depressivi. La tonalità emotiva è caratterizzata da un profondo pessimismo, relativo alla propria esistenza, che emerge in tutta la sua forza quando la giovinezza è finita e la maturità o la vecchiaia ne prendono il posto.

La depressione nevrotica è dovuta a turbe dell'umore in senso depressivo nel corso delle nevrosi. Si distingue dalla nevrosi reattiva perché nella depressione nevrotica la motivazione non è consaputa. L'abbassamento della tonalità affettiva non è mai molto intenso e, anche se denuncia sentimenti di insicurezza, il soggetto rivela, in questa fase depressiva, una maggior aderenza alla realtà.

La depressione puerperale può verificarsi nella madre, ma anche nel padre, subito dopo il parto. Descritta da Gregory Zilboorg in termini psicodinamici, la depressione puerperale riattiva nella madre un senso di perdita rispetto alla precedente condizione di gravidanza, e nel padre la fantasia inconscia del seno perduto perché ora sarà il bambino ad avere il seno della madre-moglie.

La depressione reattiva è una forma depressiva caratterizzata da una reazione successiva a eventi tristi e luttuosi; come tale, entro certi limiti, è fisiologica e per questo si differenzia dalla depressione endogena.

La depressione stuporosa è interpretata dai più come la manifestazione clinica in cui sfociano le altre forme di melanconia. In questo stato, infatti, si ha un arresto psicomotorio (stupor) con rigidità del volto, fissità dello sguardo assorto, mutismo assoluto e rifiuto del cibo.

I nuovi lineamenti della depressione nella società attuale

Sappiamo che le sofferenze dell'anima non sono patologie fisse come quelle del corpo, perché subiscono l'influenza dell'atmosfera, del tempo e del clima. Così a partire dagli anni Settanta del 20° sec., la depressione è diventata la forma della sofferenza psichica per eccellenza, liquidando d'un colpo le forme 'nevrotiche' che avevano caratterizzato il Novecento, e riducendo di molto le chances della psicoanalisi nata e cresciuta come cura della nevrosi.

La nevrosi, infatti, è un conflitto tra il desiderio che vuole infrangere la norma e la norma che tende a inibire il desiderio. Come conflitto, la nevrosi trova il suo spazio espressivo nelle società della disciplina che si alimentano della contrapposizione tra il permesso e il proibito, un meccanismo che i più adulti conoscono perché regolava l'individualità fino a tutti gli anni Cinquanta e Sessanta. Poi, a partire dal Sessantotto, e via via negli anni successivi, la contrapposizione tra il permesso e il proibito è tramontata, per far spazio a una contrapposizione ben più lacerante che è quella tra il possibile e l'impossibile.

Che significa tutto questo agli effetti della depressione e quindi degli psicofarmaci eccitanti a cui si ricorre come rimedio? Significa che nel rapporto tra individuo e società la misura dell'individuo ideale non è più data dalla docilità e dall'obbedienza disciplinare, ma dall'iniziativa, dal progetto, dalla motivazione, dai risultati che si è in grado di ottenere nella massima espressione di sé. L'individuo non è più regolato da un ordine esterno, da una conformità alla legge, la cui infrazione genera sensi di colpa (per cui il vissuto di colpevolezza era il nucleo centrale delle forme depressive), ma deve fare appello alle sue risorse interne, alle sue competenze mentali, alle sue prestazioni oggettive, per poter raggiungere quei risultati a partire dai quali verrà valutato.

In questo modo, dagli anni Settanta in poi, la depressione ha cambiato radicalmente forma: non più il conflitto nevrotico tra norma e trasgressione, con conseguente senso di colpa, ma, in uno scenario sociale dove non c'è più norma perché tutto è possibile, il nucleo depressivo origina da un senso di insufficienza per ciò che si potrebbe fare e non si è in grado di fare, o non si riesce a fare secondo le attese altrui, a partire dalle quali ciascuno misura il valore di sé stesso. Questo mutamento strutturale della depressione, così ben segnalato dal

sociologo francese Alain Ehrenberg, ha fatto sì che i sintomi classici della depressione, quali la tristezza, il dolore morale, il senso di colpa, passassero in secondo piano rispetto all'ansia, all'insonnia, all'inibizione, in una parola alla fatica di essere sé stessi. E questo perché in una società dove la norma non è più fondata, come in passato, sull'obbedienza, la disciplina interiore e il senso di colpa, ma sulla responsabilità individuale, sulla capacità di iniziativa, sull'autonomia nelle decisioni e nell'azione, la depressione tende a configurarsi non più come una perdita della gioia di vivere, ma come una patologia dell'azione, e il suo asse sintomatico si sposta dalla tristezza all'inibizione e alla perdita di iniziativa, in un contesto sociale dove 'realizzare iniziative' è assunto come criterio unico e decisivo per misurare e valutare il valore di una persona. Di qui il ricorso agli psicofarmaci stimolanti, quando non alla cocaina, per attutire l'ansia parossistica, oppure la perdita più o meno estesa di iniziativa, l'inibizione all'azione, il senso di fallimento e di scacco, fattori questi che entrano in implacabile collisione con i paradigmi di efficienza e di successo che dalla società odierna vengono considerati essenziali per riconoscere dignità e significanza esistenziale a ciascuno di noi.

A questo proposito già Freud, considerando le richieste che la società esige dai singoli individui, a più riprese si chiedeva se alle volte «non è forse lecita la diagnosi che alcune civiltà, o epoche civili, e magari tutto il genere umano, sono diventati 'nevrotici' per effetto del loro stesso sforzo di civiltà? [...] Pertanto non provo indignazione quando sento chi, considerate le mete a cui tendono i nostri sforzi verso la civiltà e i mezzi usati per raggiungerle, ritiene che il gioco non valga la candela e che l'esito non possa essere per il singolo altro che intollerabile» (Das Unbehagen der Kultur, 1929; trad. it. Il disagio della civiltà in Opere, 10° vol., 1967-1993, pp. 629-30). Questa intollerabilità, a parere di Freud, è dovuta all'eccesso di regole che governano le società civili, e ciò gli consente di iscrivere la depressione nel novero delle 'nevrosi', dove si registra il conflitto tra norma e trasgressione, con conseguente vissuto di colpevolezza. Oggi le norme limitative non esistono più, per cui ciò che un tempo era proibito è sfumato nel possibile e nel consentito.

Per effetto di questo slittamento oggi la depressione non si presenta più come un conflitto e quindi come una 'nevrosi', ma come un fallimento nella capacità di spingere il possibile fino al limite dell'impossibile. E quando l'orizzonte di riferimento non è più in ordine a ciò che è permesso, ma in ordine a ciò che è possibile, la domanda che si pone alle soglie del vissuto depressivo non è più: «Ho il diritto di compiere questa azione?», ma «Sono in grado di compiere questa azione?».

Quel che è saltato nella nostra attuale società è il concetto di limite. E in assenza di un limite, il vissuto soggettivo non può che essere di inadeguatezza, quando non di ansia, e infine di inibizione. Tratti, questi, che entrano in collisione con l'immagine che la società richiede a ciascuno di noi. E la coscienza di questo crudele

fallimento sul piano della responsabilità e dell'iniziativa, o anche sul piano del mancato sfruttamento di una possibilità, amplifica immediatamente i confini della sofferenza e dell'inadeguatezza che sono presenti in ogni depressione e che i modelli sociali dominanti rendono ancora più dolorose e talora insanabili. Di qui il ricorso massiccio agli psicofarmaci tonificanti o alla cocaina.

A partire da queste premesse possiamo scorgere l'origine dell'odierna depressione in due cambiamenti di tendenza registrati negli ultimi quarant'anni della nostra storia circa il modo di concepire l'individuo e le possibilità della sua azione. Il primo cambiamento si è registrato verso la fine degli anni Sessanta, quando la parola d'ordine dell'intero continente giovanile era emancipazione all'insegna del 'tutto è possibile', per cui: la famiglia è una camera a gas, la scuola una caserma, il lavoro e, il suo 'rovescio' il consumismo, un'alienazione, e la legge uno strumento di sopraffazione di cui ci si deve liberare ('vietato vietare'). Una libertà di costumi fino allora sconosciuta si coniuga a un progresso delle condizioni materiali, e nuove prospettive di vita diventano una realtà tangibile nel corso del decennio. Se la follia, nel comune sentire dei primi anni Settanta, appare come il simbolo dell'oppressione sociale e non più come una malattia mentale, questo è appunto dovuto al fatto che tutto è possibile: il pazzo non è malato, è solo diverso, e soffre proprio per la mancata accettazione della sua diversità.

Su questa cultura preparata dal Sessantotto, ma che il Sessantotto aveva pensato in termini sociali, si impianta, per uno strano gioco di confluenza degli opposti, la stessa logica di importazione americana, giocata però a livello individuale, dove ancora una volta tutto è possibile, ma in termini di iniziativa, di performance spinta, di efficienza, di successo al di là di ogni limite, anzi con il concetto di limite spinto all'infinito, per cui oggi ci si chiede: qual è il limite tra un ritocco di chirurgia estetica e la trasformazione del proprio corpo dettata dalla paura della vecchiaia, tra un'abile gestione dei propri umori attraverso farmaci psicotropi e la trasformazione in robot chimici o in veri e propri drogati, tra le strategie di seduzione troppo spinte e l'abuso sessuale, tra il riconoscimento dei diritti degli omosessuali e il diritto all'adozione, tra il desiderio di avere figli e le tecniche artificiali per ottenerli, tra il diritto alla salute e al prolungamento della vita e la manipolazione genetica? E questo solo per fare degli esempi che dimostrano come le frontiere della persona e quelle tra le persone determinano un tale stato d'allarme da non sapere più chi è chi.

Come scrive Augustin Jeanneau: «La liberazione sessuale ha sostituito la preoccupazione di sbagliare con la preoccupazione di essere normali» (*Les risques d'une époque ou le narcissisme du dehors*, 1986, p. 15).

Espressione sintomatica del cambiamento, non dissimile da quella segnalata da Vidiadhar S. Naipaul: «Non potevo più rassegnarmi al destino. Il mio destino non era di essere buono, secondo la nostra tradizione, ma di

fare fortuna. Ma in che modo? Che cosa avevo da offrire? L'inquietudine cominciava a mangiarmi dentro» (A bend in the river, 1979; trad. it. Alla curva del fiume, 1982, p.88).

E allora psicofarmaci, e se vogliamo anche un certo piacere: cocaina. Tra l'odierna depressione e la dipendenza da cocaina c'è infatti un parallelismo che approda a una sorta di complementarità. E questo perché sia la depressione sia la tossicodipendenza, per differenti che possano apparire, esprimono la patologia di un individuo che non è mai sufficientemente sé stesso, mai sufficientemente colmo di identità, mai sufficientemente attivo, perché troppo indeciso, troppo titubante, troppo ansioso, per cui depressione e tossicodipendenza sono come il diritto e il rovescio di una medesima patologia dell'insufficienza.

Il vissuto di insufficienza, causa prima della depressione odierna, attiva la dipendenza da psicofarmaci o da cocaina per le promesse di onnipotenza che prospettano, lasciando intravedere la possibilità di infrangere la barriera che ci separa da quella meta agognata dove 'tutto è possibile', 'tutto è permesso'. In questo modo si radicalizza la figura dell'individuo sovrano che paga naturalmente il conto con la schiavitù della dipendenza, che è poi il prezzo della libertà illimitata che l'individuo si assegna.

Alimentando l'immaginario con l'illusione di poter maneggiare illimitatamente la propria psiche, senza i rischi di tossicità delle droghe 'sporche', psicofarmaci e cocaina sopprimono i sintomi della depressione, che è un arresto nella corsa sfrenata a cui siamo chiamati e, accelerando la corsa, ci rendono perfettamente conformi alle richieste sociali.

Mettendo a tacere il sintomo, vietando che lo si ascolti, gli psicofarmaci e la cocaina inducono il soggetto a superare sé stesso, senza essere mai sé stesso, ma solo una risposta agli altri, alle esigenze efficientistiche e afinalistiche della nostra società, con conseguente inaridimento della vita interiore, desertificazione della vita emozionale, omologazione alle norme di socializzazione richieste dalla nostra società, a cui fanno più comodo robot automatizzati e automi impersonali, che soggetti capaci di essere sé stessi e di riflettere sulle contraddizioni, sulle ferite della vita, e sulla fatica di vivere.

Nel 1887, un anno prima di scendere nel buio della follia Friedrich Nietzsche annunciava profeticamente «l'avvento dell'individuo sovrano, uguale soltanto a sé stesso, riscattato dall'eticità dei costumi» (Zur Genealogie der Moral. Eine Streitschrift, 1887; trad. it. in Opere, 6° vol., 2, 1968, p. 257). Oggi, a più di cento anni dalla morte di Nietzsche, possiamo dire che l'emancipazione ci ha forse affrancato dai drammi del senso di colpa e dallo spirito d'obbedienza, ma ci ha innegabilmente condannato al parossismo della prestazione,

dell'iniziativa e dell'azione, nella più assoluta incapacità di essere sé stessi al di là delle richieste sociali di efficienza, iniziativa, rapidità di decisione e di azione, di cui non è dato scorgere il limite.

Stress

Una delle cause che possono scatenare ansia o depressione è lo stress. Termine con cui si segnala una reazione emozionale intensa a una serie di stimoli esterni che mettono in moto risposte fisiologiche e psicologiche di natura adattiva. Se gli sforzi del soggetto falliscono perché lo stress supera le capacità di risposta, l'individuo è sottoposto a una vulnerabilità nei confronti della malattia psichica, di quella somatica o di entrambe.

Il termine stress, largamente usato anche nel linguaggio corrente con significati spesso in contrasto tra loro, è stato introdotto in biologia da Walter B. Cannon, ma solo successivamente ebbe una definizione univoca grazie a Hans Selye, secondo cui «lo stress è la risposta non specifica dell'organismo a ogni richiesta effettuata a esso» (Stress without fear, 1971; trad. it. 1976, p. 12). La richiesta comprende una gamma molto ampia di stimoli, detti agenti stressanti, che vanno dagli stimoli fisici come il caldo e il freddo, agli sforzi muscolari, all'attività sessuale, allo shock anafilattico, agli stimoli emozionali, mentre la risposta biologica, che è sempre la stessa, è la conseguenza di una reazione difensiva dell'organismo che consiste nell'attivazione dell'asse ipotalamo-ipofisi-ACTH-corteccia del surrene, da cui si liberano in circolo i corticosteroidi.

Tale reazione difensiva e adattiva, denominata emergenza o anche sindrome generale di adattamento, è caratterizzata da una fase di allarme con modificazioni biochimiche ormonali, da una fase di resistenza in cui l'organismo si organizza funzionalmente in senso difensivo, e da una fase di esaurimento in cui avviene il crollo delle difese e l'incapacità di adattarsi ulteriormente. Secondo Selye lo stress non può e non deve essere evitato perché costituisce l'essenza stessa della vita, perciò non è una condizione patologica dell'organismo, anche se in alcune circostanze può produrre patologia, come quando lo stimolo agisce con grande intensità e per lunghi periodi.

Ricerche successive hanno permesso di rendere più flessibile la concezione di Selye, come nell'ipotesi di John W. Mason, secondo il quale alla base della risposta biologica ci sarebbe, oltre alle strutture anatomico-funzionali responsabili dell'attivazione emozionale a livello fisiologico, l'apparato psichico a cui ricondurre le reazioni endocrine di varia natura, in molti casi personalizzate e specifiche. L'importanza delle emozioni nelle reazioni di stress ha consentito a Richard S. Lazarus di introdurre il concetto di stress psicologico che differisce da quello fisiologico in quanto la risposta dipende dalla valutazione cognitiva del significato dello stimolo.

Esistono definizioni di stress in base all'intensità dello stimolo, altre formulate in base alla qualità della risposta fisiologica, altre ancora che descrivono lo stress in base al costo richiesto all'individuo dalla sua modalità specifica di affrontare i problemi e rispondere all'ambiente.

Oltre agli stress psicofisiologici determinati da un eccesso di stimolazione, sono descritti anche gli stress psicosociali la cui dinamica prevede: una situazione esterna caratterizzata da difficoltà interpersonali, sociali o individuali quali solitudine, abbandono, fallimento lavorativo, eccessive richieste di rendimento e simili; una risposta interna che trova le sue espressioni nell'ansia, nella colpa, nell'ira o nella depressione; e infine un comportamento esterno, suscitato da quella risposta ora adeguata e realistica, ora inadeguata, con liberazione di impulsi incontrollati di natura psichica o funzionale psicosomatica. Lo stress, infatti, è universalmente riconosciuto come elemento predisponente le sindromi psicosomatiche.

ANSIA E DEPRESSIONE

XXI Secolo (2010)

di Giuseppe Bersani

Ansia e depressione

Nel corso degli ultimi anni del 20° sec., i termini ansia e depressione sono entrati sempre più a fare parte del linguaggio comune, secondo accezioni di volta in volta modulate in rapporto al contesto di conoscenza e comunicazione, come al diverso grado di acquisizione del loro significato. Nella cultura e nell'opinione comune attuali, tali concetti sono arrivati ad acquisire comunque un senso molto ampio, a volte anche fonte di incertezza o ambiguità di definizione e di impiego.

Sia l'ansia sia la depressione (o almeno il suo sentimento di base, cioè la tristezza) appartengono in modo centrale alla vita psichica normale, ma possono dispiegarsi lungo una linea di continuità fino a manifestazioni psicopatologiche anche di estrema gravità. Negli ultimi anni vi sono stati un incremento molto rilevante delle conoscenze scientifiche sulla realtà delle manifestazioni emotive alla base di ansia e tristezza e una rapida e complessa evoluzione dei modelli relativi ai meccanismi fisiologici e patologici responsabili delle rispettive condizioni patologiche.

Ansia

L'ansia come emozione di base

L'ansia costituisce l'emozione di base direttamente associata alla percezione di un

pericolo per l'integrità, la salute o la sopravvivenza di un individuo o di individui per i quali sia in atto un meccanismo innato o consapevole di protezione. Essa è certamente presente, in forme evidentemente più semplici, anche in organismi animali molto più primitivi dell'uomo – come i pesci o, almeno in termini comportamentali, gli insetti, che spesso dimostrano, per es., una risposta di immobilizzazione davanti alla percezione di un pericolo – e si evolve in termini di complessità emotiva e di risposta comportamentale in modo progressivo lungo la scala filogenetica. L'ansia rappresenta un'emozione altamente protettiva della sopravvivenza dell'individuo e della specie, costituendo la base motivazionale ed emotiva dell'evitamento dei pericoli o della risposta comportamentale a essi, come anche dell'orientamento dei processi di adattamento. Nell'uomo, l'emozione ansiosa viene sia vissuta a livello preconscious sia riconosciuta in modo consapevole e quindi descritta nelle sue caratteristiche di esperienza psichica e somatica.

L'ansia come emozione patologica

L'ansia può costituire in generale una condizione patologica o, più specificamente, un sintomo di condizioni patologiche, in rapporto a un abbassamento della soglia di percezione del pericolo, tale da indurre lo sviluppo di risposte di allarme rispetto a oggetti o situazioni, sia reali sia (nell'uomo) intrapsichici, obiettivamente poco o per nulla minacciosi. Un secondo elemento che caratterizza l'ansia in quanto emozione patologica è la perdita della sua funzione adattativa per lo sviluppo di risposte a carattere inibitorio e disadattativo rispetto a richieste di prestazioni o di difesa da elementi ambientali fisici o relazionali. Nell'uomo, la dimensione patologica dell'emozione ansiosa si accompagna all'esperienza soggettiva di sofferenza e a una serie di sintomi somatici disfunzionali, anch'essi a loro volta origine di sofferenza e spesso di incremento della stessa emozione ansiosa di allarme.

Depressione

La tristezza come sentimento di base

Il sentimento della tristezza appartiene nel modo più evidente al campo della normalità della vita affettiva, delineando l'esperienza soggettiva dell'abbassamento del tono dell'umore. Questo può essere definito come il complesso dei sentimenti che permeano il contatto affettivo con la realtà sia ambientale sia interiore, che modulano l'intensità e la tonalità emotiva di tale contatto, che accompagnano e dirigono la propensione oppure il rifiuto della stessa esperienza vitale. Tristezza e felicità rappresentano due esempi speculari delle possibili varianti fisiologiche del tono dell'umore, che costituisce di per sé una funzione altamente instabile, variabile nel tempo, dotata di una naturale tendenza alle oscillazioni, sia in risposta a eventi di vita sia in accordo con meccanismi intrinseci di ritmicità o di periodicità.

Il sentimento della tristezza è frequentemente, ma non necessariamente, associato a esperienze di perdita, sia reali sia metaforiche o immaginarie. Anche esperienze molto

intense di tristezza, come nel caso del lutto, per quanto caratterizzate da intenso dolore psichico e inibizione comportamentale, rivestono comunque un significato fisiologico quando commisurate all'entità della perdita affettiva, come nel caso della morte di figure affettive primarie, familiari e così via. La tristezza può accompagnarsi a distorsione della percezione somatica, con segni di sofferenza corporea indefinita, disfunzione vegetativa, iperalgesia e così via. Esperienze in qualche misura considerabili analoghe a quelle della tristezza nell'uomo possono essere riconosciute a livelli evolutivi più precoci come, per es., negli uccelli e certamente nei mammiferi, prevalentemente in rapporto a perdita di individui nell'ambito di relazioni sociali o di programmi riproduttivi, come nel caso di perdita della prole da parte di genitori impegnati in compiti di allevamento.

La tristezza come sentimento patologico: la depressione

Con il termine onnicomprensivo di depressione s'intende attualmente, nel linguaggio comune, un campo ampio di esperienze affettive che oscillano tra il ricorrente e fisiologico orientamento verso il basso del tono dell'umore, come appunto nel caso della tristezza o della demoralizzazione, e un'area anch'essa ampia di manifestazioni affettive includibili in modo più o meno definito entro i confini della psicopatologia. In quest'ultimo senso, può essere considerata depressione una flessione del tono dell'umore, sia soggettivamente vissuta sia obiettivamente riconoscibile, che ecceda, per ampiezza di escursione e per intensità di vissuto soggettivo, i limiti delle normali oscillazioni e che non sia connessa in maniera comprensibile ad adeguate esperienze di perdita.

Una serie complessa di manifestazioni psichiche e comportamentali può accompagnare in grado variabile la tristezza patologica, come perdita di interesse, di piacere, di adesione vitale all'esperienza quotidiana, di propensione progettuale verso il futuro, di energia o di iniziativa, sentimenti o convinzioni di indegnità, di colpa, di rovina, di malattia, partecipazione ansiosa o angosciata alle difficoltà dell'esperienza vitale quotidiana, condotte di ritiro sociale, inibizione comportamentale, paura o, al contrario, desiderio di morte con possibilità di condotte suicide.

La melanconia individua un'area di sofferenza depressiva grave, con esacerbazione dell'esperienza soggettiva di dolore e di perdita dell'adesione vitale al flusso delle esperienze e delle proiezioni di queste verso il futuro. Al vissuto depressivo si associano alterazioni di natura somatica o psicofisiologica, come anomalie del ritmo sonno/veglia, alterazioni neuroendocrine e del sistema vegetativo, perdita della ritmicità circadiana, alterazioni della cenestesi e così via.

Modelli animali e psicopatologia

In quanto presenti già a livelli evolutivi antichi, i corrispettivi comportamentali dell'esperienza dell'ansia e della depressione possono essere osservati e studiati in molti animali. I modelli animali delle alterazioni emotive e affettive, anche se nella loro inevitabile semplicità rispetto alla complessità di origine e regolazione della vita emotiva

umana e dei relativi correlati comportamentali, sono fonte d'informazione sulla struttura di base e sui meccanismi patogenetici elementari coinvolti nella genesi delle anomalie nell'uomo. Esiste un numero molto elevato di prove e di test oggi utilizzati nella ricerca, attraverso i quali vi è la possibilità di indurre in animali da esperimento risposte emotive o affettive che riproducono in grado più semplice i fenomeni psichici e comportamentali presenti in risposte di ansia o depressione nell'uomo.

Dai risultati di queste prove si ottengono informazioni sui meccanismi elementari dell'origine delle emozioni e degli affetti. Al momento attuale l'impiego di tali test è molto ampio nell'ambito della ricerca scientifica, rivolto direttamente sia allo studio dei processi mentali semplici connessi alle risposte comportamentali, sia alla valutazione della loro variabilità in rapporto a parametri genetici o cognitivi oppure alla possibilità di validazione o modulazione mediante interventi di tipo farmacologico. La ricerca preclinica in campo psicofarmacologico si avvale in modo molto ampio dei risultati di studi etologici che utilizzano modelli sperimentali animali di ansia, depressione o di altre alterazioni della regolazione emotiva o affettiva alla base di quanto osservabile a livello comportamentale.

Il ragionamento sotteso all'applicazione di dati derivati dai modelli animali alla ricerca di strumenti di intervento su manifestazioni della sfera emotiva dell'uomo (uno dei metodi fondamentali dell'attuale ricerca in campo psicofarmacologico) è quello che riconosce nelle manifestazioni emotive semplici dell'animale la stessa organizzazione strutturale e le corrispondenti basi di implicazione funzionale cerebrale ipotizzabili nell'uomo relativamente all'origine di emozioni della stessa natura. La diversità di tale natura rispetto alle manifestazioni nell'animale viene considerata essenzialmente in termini di complessità organizzativa, sia pure valutata come enormemente più ampia e articolata. L'estensione di tale modello interpretativo, dalla semplice regolazione delle emozioni allo studio della loro patologia nell'uomo, consente di tracciare una linea di continuità evolutiva e strutturale tra il livello animale e quello umano e di applicare a quest'ultimo i risultati di ulteriori metodologie di indagine sperimentale nell'animale, non utilizzabili nell'uomo per motivi sia tecnici sia etici.

Sotto questo punto di vista, anche la complessità delle manifestazioni psicopatologiche dell'ansia e della depressione può, almeno entro certi limiti, essere interpretata alla luce di modelli più semplici e comunque maggiormente soggetti a indagine e verifica sperimentale di quanto non siano le eterogenee manifestazioni cliniche della psicopatologia.

Il concetto di disturbo nella psichiatria contemporanea

Nei sistemi di classificazione delle patologie mentali sviluppati nel corso degli ultimi decenni si è sempre più affermato l'uso del concetto e del termine di disturbo associato e progressivamente sostituito a quello di malattia. Attualmente, quindi, il concetto di disturbo mentale appare largamente più utilizzato e razionalmente sostenuto rispetto a quello precedentemente considerato di malattia mentale. Il concetto di disturbo fa

essenzialmente riferimento ad almeno tre parametri. Il primo è naturalmente l'esistenza del processo morboso, cioè della malattia nell'accezione tradizionale, alla base per definizione della condizione patologica stessa. Il secondo è costituito dal riconoscimento del grado di inabilità disfunzionale in senso generale che il processo morboso arreca al soggetto affetto, sia nelle sue manifestazioni di vissuto soggettivo sia in quelle cognitive, relazionali, operative ecc., nel breve come nel lungo termine. Il terzo è rappresentato dall'approccio ateoretico al quadro clinico, che viene descritto e classificato esclusivamente in base alle sue espressioni psicopatologiche e disfunzionali e non in rapporto alle ipotesi circa i fattori patogenetici che contribuiscono alla sua insorgenza.

Classificazione attuale dell'ansia e della depressione patologiche

La nosografia psichiatrica, e specificamente quella inerente le manifestazioni patologiche di ansia e umore, ha subito variazioni molto ampie nel corso del 20° sec., essenzialmente in relazione all'inesistenza di parametri obiettivi di riferimento di supporto alla conoscenza diretta del singolo paziente.

I principali sistemi nosografici di riferimento della patologia psichiatrica all'inizio del 21° sec. sono stati rappresentati dalla 10a edizione dell'International classification of disease (ICD-10) dell'Organizzazione mondiale della sanità (OMS), per la sezione relativa alle malattie mentali, e dalla 4a edizione del Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM-IV) dell'American psychiatric association. Per entrambi i sistemi sono già in fase avanzata di lavorazione le prossime edizioni dell'ICD-11 e del DSM-V.

I sistemi classificatori attuali rappresentano quindi l'esito, peraltro dinamico e certamente non definitivo, di un processo complesso che ha caratterizzato l'evoluzione della nosologia psichiatrica fino all'inizio di questo secolo. Tra i segni più rappresentativi dello stato attuale di tale evoluzione deve essere sottolineato il superamento della tradizionale dicotomia tra i concetti di nevrosi e di psicosi, che ha invece caratterizzato la nosologia psicopatologica del secolo precedente. Il primo, derivato concettualmente dalla psicoanalisi, vedeva nella manifestazione sintomatica, ansiosa, depressiva o di altra natura, l'espressione di conflittualità inconscia tra diverse istanze di tipo pulsionale, mentre il secondo era prevalentemente riferito al modello di una originaria patologia cerebrale, più o meno chiaramente identificata nel suo rapporto con i diversi aspetti sintomatici della perdita del contatto con la realtà.

Questo comporta la possibilità attuale, che appare in realtà come una linea ispiratrice dello sviluppo futuro della psicopatologia, di classificare i disturbi mentali sia nella loro ascrivibilità a ben delimitate categorie diagnostiche, sia in base alla tipologia di base o alle dimensioni psicopatologiche costitutive dei diversi quadri clinici.

I disturbi di ansia

La classificazione maggiormente utilizzata dei disturbi di ansia è oggi quella del DSM-IV,

che costituisce in qualche misura un linguaggio descrittivo comune per gli psichiatri di buona parte del mondo, mentre la classificazione dell'ICD-10 trova i suoi campi di maggiore applicazione nell'epidemiologia e nella statistica sanitaria.

Il DSM-IV, nel capitolo sui disturbi di ansia, descrive una serie di disturbi, anche in buona parte eterogenei tra loro, definiti dalla presenza di sintomi di ansia giudicati come patologici, tra cui alcuni più rilevanti per frequenza o severità.

a) Disturbo di panico senza agorafobia e disturbo di panico con agorafobia. Sono caratterizzati dall'insorgenza di episodi di attacchi di panico in assenza o in presenza di situazioni scatenanti riconoscibili nei termini dell'agorafobia. L'attacco di panico è definito come un episodio di intensa sensazione ansiosa a insorgenza acuta, a sua volta caratterizzata dalla presenza di sintomatologia somatica soggettiva acuta, intensa e polimorfa. Sul piano psichico l'ansia acuta si associa a esperienze di derealizzazione (sensazione di ir-realtà) o depersonalizzazione (sensazione di essere distaccati da sé stessi), timore di perdere il controllo, di impazzire, di svenire o di morire, spesso con reale sensazione di morte imminente. L'agorafobia è una manifestazione di ansia che ha la sua origine nel fatto di trovarsi in situazioni caratterizzate da lontananza reale o immaginaria rispetto alla possibilità di essere soccorsi in caso di malessere somatico o attacco di panico; è quindi comunemente generata dal trovarsi in luoghi o spazi aperti e solitari o al contrario in luoghi angusti e chiusi. Il disturbo di panico, con o senza agorafobia, è costituito da ricorrenti episodi di attacchi di panico e dallo sviluppo di ansia anticipatoria e di condotte in cui si evitano luoghi, oggetti e situazioni considerati, per diretta esperienza o per previsione, come potenzialmente in grado di indurre la comparsa di un attacco di panico.

b) Fobia specifica. È caratterizzata da paura grave e costante, obiettivamente irrazionale rispetto al contesto ambientale e culturale di manifestazione, verso oggetti o situazioni specifici e spesso selettivi, quali animali, luoghi elevati, situazioni atmosferiche, il volo in aereo.

c) Fobia sociale. È caratterizzata da ansia in rapporto a situazioni di esposizione reale o temuta al giudizio di altri, come parlare in pubblico, sostenere esami, trovarsi al centro dell'attenzione.

d) Disturbo ossessivo-compulsivo. È, potenzialmente, il più grave e invalidante tra i disturbi di ansia, ad andamento cronico, in cui idee non condivise dal paziente, spesso relative a dubbi o esigenze di precisione e completezza, non riescono a essere allontanate se non mediante messa in atto di comportamenti ripetitivi e rituali, a volte apparentemente non connessi al contenuto dei pensieri avvertiti come estranei.

e) Disturbo di ansia generalizzata. È caratterizzato dalla presenza costante di uno stato di allarme immotivato e da sintomi di somatizzazione dell'ansia.

f) Disturbo posttraumatico da stress. È caratterizzato da sintomi ansiosi costanti e da episodi acuti di angoscia conseguenti nel tempo a esperienze di rischio immediato di vita o di grave spavento.

La tipologia patogenetica dell'ansia patologica

Attualmente, le linee di interpretazione derivate da diverse scuole di psicologia, anche se in una gamma estremamente ampia di letture e interpretazioni, consentono di riconoscere, nell'ambito del concetto di ansia, nella sua accezione in termini di psicopatologia, alcuni elementi strutturali relativi a diversi meccanismi di origine, la cui prevalenza e associazione possono essere considerate una chiave di lettura utile nel formulare ipotesi sull'origine delle principali manifestazioni patologiche dell'ansia.

In analogia con quanto già accennato in precedenza, si tratta di processi psichici appartenenti alla vita mentale normale e alla normale struttura della vita psicologica e di relazione, in grado tuttavia di configurarsi in una connotazione patologica in caso di assunzione di un ruolo dominante nelle modalità di relazione e risposta del vissuto emotivo.

Ansia di allarme. È così definito il quadro emozionale che si accompagna alla percezione di una situazione di pericolo, sia realmente presente sia non riconoscibile in una valutazione obiettiva. Si accompagna generalmente a manifestazioni somatiche che, nell'uomo come nell'animale, predispongono, nella loro dimensione normale, alla risposta al pericolo, cioè a reazioni di attacco o di fuga, ma che nel caso dell'ansia di allarme nelle sue dimensioni patologiche costituiscono dei veri sintomi somatici del disturbo, quali tachicardia, aumento della pressione arteriosa, tensione muscolare, oltre a tutti gli altri possibili sintomi di somatizzazione dell'ansia. L'ansia di allarme costituisce un fattore strutturale centrale nel caso del disturbo di ansia generalizzata ed entra inoltre frequentemente a fare parte della struttura di quasi tutti gli altri disturbi di ansia.

Ansia di separazione. È così definita la risposta emotiva a carattere ansioso che si accompagna alla separazione da figure affettive primarie o, per estensione, da qualunque figura o situazione vissute, a livello sia cosciente sia inconsapevole, in un ruolo di protezione. Comune spesso già nell'infanzia e frequentemente anche in qualche modo indotta o sostenuta dalla stessa difficoltà dei genitori a tollerare l'allontanamento del bambino, può arrivare a costituire una struttura fondante dello stile relazionale. L'espressione patologica dell'ansia da separazione si manifesta nella risposta ansiosa a situazioni di isolamento, di interruzione di rapporti affettivi, di percezione di assenza di figure protettive e può comportare assetti di personalità in cui prevalgono elementi di dipendenza affettiva e rigidamente si evitano situazioni di isolamento e pericolo. L'ansia di separazione costituisce un elemento psicologico strutturale di diversi disturbi di ansia, primi tra tutti, ovviamente, quelli caratterizzati da prevalenza dell'agorafobia.

Ansia di giudizio. È così definita la componente emotiva che accompagna l'attesa della

risposta del giudizio sul proprio operato da parte di figure comunque avvertite in posizione di potenziale critica o svalutazione. Anche questa forma di ansia riconosce spesso le sue origini in esperienze relazionali precoci, successivamente strutturanti specifici stili cognitivi e relazionali. Sul piano comportamentale si esprime nella tendenza a evitare situazioni di esposizione a giudizio, sia individuale sia pubblico, mentre su quello cognitivo e affettivo si accompagna a convinzione o sentimento di ridotta autostima o di incapacità di sostenere situazioni di giudizio in senso lato. Nella sua dimensione psicopatologica, l'ansia di giudizio è alla base della fobia sociale, ma si esprime spesso anche in condotte evitanti e quadri sintomatici analoghi a quelli presenti nel disturbo di panico.

Ansia di perdita di controllo. È così definita una particolare forma di percezione di pericolo associata alla sensazione di non potere essere in grado di controllare le situazioni in senso generale e, più specificamente nelle diverse possibilità, il proprio stato di salute fisica, il proprio stato di consapevolezza e di controllo mentale, il proprio comportamento, particolari aspetti della realtà ambientale sia interpersonale sia fisica e così via. Se entro certi limiti la necessità di possedere una visione cosciente delle situazioni di vita in senso lato e delle possibilità di averne un sufficiente grado di consapevolezza e controllo appartiene alla sfera della vita psichica normale, la preoccupazione relativa alla perdita di tale possibilità si traduce di frequente in strutture francamente patologiche che possono manifestarsi secondo diverse modalità di espressione clinica, come nel caso dei disturbi d'ansia in cui sono presenti attacchi di panico che rappresentano di per sé la risposta acuta di angoscia alla sensazione di stare perdendo il controllo sul proprio corpo o sulla propria mente, o come nel caso del disturbo ossessivo-compulsivo, in cui la necessità coatta del controllo della propria mente, del proprio comportamento o del proprio ambiente costituisce l'essenza stessa del disturbo.

La diffusione dei disturbi di ansia

Gli studi epidemiologici sulla diffusione dei disturbi di ansia forniscono dati assolutamente eterogenei nelle diverse popolazioni, ma è costante, almeno nel contesto sociale europeo o nordamericano, il rilievo di un incremento della loro incidenza, che può essere considerato in relazione a numerosi ordini di fattori. Al di là, comunque, della modificata influenza di vari potenziali elementi eziopatogenetici, sostanzialmente non dimostrata almeno per le varianti intrapsichiche all'origine dei disturbi, deve essere considerato il peso esercitato sui dati statistici da fattori di natura essenzialmente culturale, quali la maggiore attenzione nell'opinione sia pubblica sia medica alla sintomatologia psichica intesa in senso generale, il più definito inquadramento diagnostico di situazioni morbose in passato non riconosciute in termini di reale disturbo, l'attribuzione di valore di patologia a situazioni o manifestazioni non sempre ben delimitabili rispetto a normali, anche se intense, espressioni della vita emotiva.

I disturbi depressivi

Anche per i disturbi depressivi la classificazione del DSM-IV rappresenta il sistema di riferimento di più largo impiego in ambito clinico a livello internazionale, mentre quella dell'ICD-10 costituisce la base per indagini di natura epidemiologica.

La depressione viene valutata dal DSM-IV nell'ambito dei disturbi depressivi di tipo bipolare, caratterizzati dall'alternanza di episodi di depressione e di eccitamento, e di tipo unipolare, definiti dalla sola presenza, ricorrente o continuativa, di quadri clinici di patologica flessione del tono dell'umore. Come nel caso dei disturbi di ansia, la classificazione segue un criterio assolutamente descrittivo, in assenza di riferimenti alle ipotesi patogenetiche circa l'origine dei diversi disturbi depressivi.

a) Disturbo depressivo maggiore, episodio singolo o ricorrente. È caratterizzato dalla presenza di un episodio depressivo maggiore, di elevata severità clinica, che può presentarsi in modo isolato oppure ripetersi due o più volte nel corso della vita del paziente.

b) Disturbo distimico. Presenta un andamento cronico e della durata di almeno due anni, con sintomi depressivi meno gravi, ma fortemente invalidanti sul piano dell'operatività, delle relazioni sociali, dell'esperienza vitale.

L'alternanza di episodi depressivi maggiori ed episodi maniacali, ipomaniacali o misti configura il quadro del disturbo bipolare, di I o II tipo in rapporto alla gravità degli episodi di eccitamento, mentre il disturbo ciclotimico prevede l'alternanza rapida di episodi di depressione e di eccitamento, entrambi caratterizzati da severità clinica non elevata.

Le tipologie descrittive della depressione

Al di là della classificazione fortemente schematica e categoriale del DSM-IV, l'ampia variabilità di presentazione clinica della depressione ha comportato nel tempo l'evoluzione di diversi criteri di descrizione.

Le dicotomie tra depressione di natura endogena o psicogena, autonoma o reattiva, nevrotica o psicotica ecc. hanno rappresentato per lungo tempo un criterio di indicazione circa la supposta prevalente eziologia dei singoli casi di depressione. Anche se sostanzialmente superate da visioni sia di natura biologica sia di natura integrativa del disturbo, tali terminologie conservano ancora un certo grado di diffusione nella descrizione di diverse situazioni cliniche.

La descrizione sindromica della depressione è ancora quella di più largo uso nel linguaggio clinico comune, non vincolato dall'adesione a criteri descrittivi o classificativi predefiniti. Espressioni quali depressione ansiosa, sindrome ansioso-depressiva, depressione inibita, depressione delirante sono tuttora comuni nel linguaggio medico, spesso anche non specialistico, oltre che in accezioni descrittive esulanti dal contesto medico, quali, per es., quelle dell'ambito lavorativo o della comunicazione su mezzi

d'informazione di massa.

Lo stesso DSM-IV si propone di riconoscere tale variabilità clinica, non sufficientemente rappresentata dai semplici criteri diagnostici dei diversi disturbi depressivi, mediante la definizione di 'specificatori', cioè di descrizioni predefinite delle principali forme di presentazione della depressione, indipendentemente dal suo grado di severità. La depressione maggiore può essere quindi più specificamente descritta con sintomi melanconici, psicotici, atipici, catatonici, con insorgenza nel post partum, con andamento stagionale e così via.

La psicopatologia della depressione, oltre che in generale tutto il campo dell'interpretazione della psicopatologia, ha riconosciuto negli ultimi due decenni il suo aspetto più innovativo nello sviluppo del concetto di dimensioni psicopatologiche. Questo concetto fa riferimento all'esistenza di raggruppamenti sintomatici prevalentemente ascrivibili a sottostanti entità psicopatologiche complesse, a loro volta riconducibili a specifici terreni di natura neurobiologica, variamente associate nella composizione dei singoli quadri clinici e concorrenti in modo diretto a determinarne sia la ricorrenza di aspetti sintomatici sia la singolarità dei casi individuali. Le dimensioni melanconica, ansiosa, ossessiva, apatica, ostile, psicotica, di volta in volta più attentamente descritte o individuate, rappresentano l'oggetto di un criterio descrittivo e interpretativo della depressione più vicino ai suoi modelli patogenetici e più informativo rispetto alla scelta razionale delle terapie.

La diffusione della depressione

Anche per la depressione i dati epidemiologici concordano nel rilevare un costante aumento della sua incidenza, almeno nel contesto socioculturale occidentale. L'Organizzazione mondiale della sanità ha previsto per il 2020 per la depressione la seconda posizione tra tutte le malattie come causa di disabilità. Indipendentemente dalla reale possibilità di effettuare una simile proiezione, è indubbio che il rilievo di fenomeni depressivi sia in netto incremento. Anche in questo caso l'ordine di fattori da considerare può essere duplice. Da una parte, reali fattori neurobiologici o psicosociali di rischio possono avere incrementato in modo graduale il loro peso, prevalentemente in rapporto ad aumento di fattori sociali o stili di vita caratterizzati da protratte esperienze di stress o da allentamento o maggiore precarietà di contesti relazionali o affettivi stabili e protettivi. Dall'altra, è opportuno considerare il ruolo svolto da una maggiore attitudine culturale, non solo medica, di riconoscimento delle manifestazioni depressive, con il conseguente aumento di casi clinici considerati nelle casistiche epidemiologiche, anche di natura o severità tali da avere consentito in passato di non comprenderli in tale ordine di rilevazione.

Le basi cerebrali di ansia e depressione

Dalla fine del 20° sec. sono stati compiuti rilevanti passi avanti nel campo delle

conoscenze circa le implicazioni cerebrali nell'ansia e nella depressione. Il termine stesso di implicazione, peraltro, indica la tendenza, oggi diffusa, a considerare i correlati anatomici e funzionali delle manifestazioni patologiche dell'emozione ansiosa e del sentimento depressivo, senza tuttavia ascrivere a questi in modo unidirezionale un significato di causa o di espressione dei processi morbosi.

Una quantità vastissima di studi sperimentali su tale argomento ha permesso di raccogliere un numero estremamente ampio di evidenze sulle implicazioni cerebrali di ansia e depressione, anche se un modello conclusivo dei rispettivi meccanismi di regolazione e di disfunzione, come pure delle reciproche interazioni, non può ancora considerarsi raggiunto.

Le metodologie di indagine sperimentale più utilizzate hanno fatto riferimento, da una parte, allo studio di centri e circuiti cerebrali direttamente connessi alla regolazione normale e patologica della sfera emozionale e affettiva, indagati mediante tecniche di ricerca neurofisiologica e di visualizzazione cerebrale (neuroimaging) sia strutturale sia funzionale, dall'altra allo studio di parametri neurochimici, essenzialmente il ruolo dei diversi neurotrasmettitori, di fattori di neuromodulazione e neuroendocrini e, più recentemente, di fattori implicati nei meccanismi di neuroplasticità.

Ansia patologica

Gli studi sperimentali sugli animali e i dati derivati da osservazioni nell'uomo convergono nell'indicare l'esistenza di alcuni circuiti maggiormente connessi alle manifestazioni patologiche dell'ansia. Queste costituiscono, tuttavia, un terreno ampiamente eterogeneo in rapporto alle sue diverse tipologie mentre i dati estrapolabili dalle evidenze sperimentali, provenienti prevalentemente da studi sugli animali, non sono sempre esportabili con facilità nell'interpretazione delle osservazioni cliniche nell'uomo.

La regolazione dell'emozione ansiosa, del vissuto soggettivo dell'ansia, delle modificazioni somatiche indotte dall'ansia e dei comportamenti a essa associati avviene prevalentemente, in modo altamente integrato, a livello di strutture cerebrali del sistema limbico. Un ruolo centrale nel riconoscimento dello stimolo ansiogeno e dell'origine della stessa ansia sembra essere svolto dall'amigdala, a sua volta in stretta connessione con l'ippocampo, per quanto riguarda il ricordo di precedenti esperienze ansiose, e con la corteccia prefrontale, per l'elaborazione cognitiva di tale esperienza. All'attivazione di nuclei dell'ipotalamo viene attribuita la componente somatica dell'ansia, mentre lo sviluppo di quadri acuti di allarme sembra essere mediato dall'attivazione a livello mesencefalico del locus coeruleus.

Sul piano neurochimico, le conseguenze di una ridotta attività del neurotrasmettitore inibitore GABA (Gamma-AminoButyric Acid) viene indicato essenzialmente dall'azione ansiolitica dei farmaci che potenziano l'azione di tale neuromediatore. Esistono dati consistenti dimostrativi di un ruolo centrale svolto dal sistema di trasmissione mediata

dalla serotonina, che esplicherebbe fisiologicamente un'azione di inibizione della reattività emotiva e una cui ridotta attività potrebbe essere associata allo sviluppo di quadri ansiosi, in particolare di natura cronica, come nel caso del disturbo ossessivo-compulsivo, o ricorrente, come in quello del disturbo di panico. Le manifestazioni acute dell'ansia sarebbero invece maggiormente associate a uno stato di iperattività della neurotrasmissione mediata dalla noradrenalina, legata all'attivazione dei neuroni del locus coeruleus, come nel corso di un attacco di panico.

Correlati neuroendocrini dell'ansia, soprattutto a decorso cronico, sembrano essere l'attivazione del sistema ipotalamo-ipofisi-corticosurrene, con incremento dei livelli periferici di ormone adrenocorticotropo e cortisolo, e il rilascio di ormoni cosiddetti da stress, come ormone somatotropo e prolattina.

Sul piano anatomico, dati ripetuti sono riportati solo nel caso del disturbo ossessivo-compulsivo, con incremento volumetrico di alcuni nuclei della base, e nel disturbo posttraumatico da stress, con frequente riscontro di atrofia dell'ippocampo.

Depressione

Nonostante la rilevanza della componente affettiva nella vita mentale dell'uomo, le conoscenze sui centri e i circuiti realmente implicati nella sua regolazione sono ancora incomplete e in parte soggette a ipotesi in attesa di definitiva verifica. Anche nel caso dell'umore, le regioni cerebrali maggiormente coinvolte sembrano situarsi a livello del sistema limbico, ma con una serie più ampia di connessioni con altre strutture, sia sottocorticali, come a livello del ponte cerebrale e del mesencefalo, sia cerebellari e corticali, particolarmente a livello della corteccia prefrontale e di altre regioni corticali a essa connesse, quali giro del cingolo, corteccia orbitaria e, soprattutto, strutture della regione temporo-ippocampale e così via.

Sul piano anatomico, la depressione, in particolare se grave e prolungata, è spesso associata ad atrofia dell'ippocampo e di regioni frontocorticali. Sul piano fisiopatologico, con diverse tecniche di neuroimaging funzionale, si sono osservate modificazioni, prevalentemente deficitarie, del metabolismo a carico più di frequente delle regioni cortico-frontali, spesso con maggiore rilevanza nell'emisfero destro.

I dati più consistenti sull'implicazione neurobiologica della depressione sono quelli che riguardano i sistemi di neurotrasmissione. Il sistema di trasmissione mediato dalla serotonina, con sedi principali a livello dei nuclei del rafe pontino, e quello mediato dalla noradrenalina, con sede principale nel mesencefalo a livello del locus coeruleus, vengono considerati prevalentemente ipofunzionanti e il modello monoaminergico della depressione individua in un deficit prevalente di questi due sistemi la principale alterazione neurochimica della patologia, in grado di indurre la maggiore quota delle possibili espressioni del quadro sintomatico. Esistono comunque dati consistenti sull'implicazione di altri sistemi di neurotrasmissione, quali quelli mediati da dopamina e

acetilcolina.

Il modello che fa riferimento ad alterazioni dei sistemi monoaminergici è stato recentemente integrato con evidenze concernenti l'implicazione di assi neuroendocrini, soprattutto per l'iperattività dell'asse ipotalamo-ipofisi-corticosurrene, per anomalie basali dell'asse ipotalamo-ipofisi-tiroide e per alterazioni del sistema circadiano, prevalentemente espresse da alterazioni di durata, fase e architettura del sonno, associate a modificazioni del bioritmo della melatonina.

Le ipotesi più recenti sulla patogenesi della depressione, tuttora in corso di rapida evoluzione e verosimilmente in grado di fornire interpretazioni più complesse e complete nel corso di un prossimo futuro, sono sostenute dall'evidenza di alterazione deficitaria di processi di neurogenesi, cioè di riproduzione neuronale, in regioni cerebrali dove questa persiste fisiologicamente nell'età adulta, particolarmente in alcune regioni dell'ippocampo.

Un modello integrato della patogenesi della depressione ipotizza allo stato attuale che, in terreni neurobiologici individuali vulnerabili per diatesi genetica o esperienze precoci di perdita o separazione, condizioni di stress protratto possano associarsi a iperattivazione cronica del sistema ipofiso-corticosurrenalico (con elevati livelli ematici di cortisolo in grado di esplicare un effetto neurotossico sulle cellule ippocampali su cui sono prevalentemente situati i recettori per i glucocorticoidi), tale da ridurre la produzione di fattori neurotrofici - cioè di molecole deputate al mantenimento del trofismo, della connettività e della riproduttività cellulare - tra i quali il più studiato è oggi il BDNF (Brain-Derived Neurotrophic Factor), con conseguente inibizione della neurogenesi e deficit funzionale della trasmissione serotoninergica e noradrenergica.

Fattori condivisi

Le analogie e sovrapposizioni che si rilevano nei quadri clinici di ansia patologica e depressione presentano alcuni elementi di riscontro anche nelle rispettive implicazioni neurobiologiche. Gli stessi sistemi di neurotrasmissione, mediati da serotonina e noradrenalina, risultano coinvolti in modo centrale in entrambi gli ordini di disturbi, e farmaci in grado di potenziare il tono funzionale di tali sistemi, ancora specificamente definiti come antidepressivi, esplicano un potente effetto terapeutico sia nella depressione sia nei disturbi di ansia.

Sul piano evolutivo, è di frequente riscontro la continuità tra quadri primitivamente ansiosi e successive manifestazioni di natura depressiva, ipoteticamente mediata dagli effetti dello stress cronico sull'asse ipotalamo-ipofisi-corticosurrene e dalla conseguente inibizione della neurogenesi nell'ippocampo o in altre strutture cerebrali potenzialmente coinvolte.

Sul piano anatomico, l'atrofia ippocampale è riscontrata sia in pazienti depressi sia in alcuni casi di disturbo posttraumatico da stress, mentre sono più indirette e incostanti le analogie sulle alterazioni strutturali e funzionali delle regioni corticali, prevalentemente

frontali.

Terapie

L'evoluzione delle possibilità di cura delle manifestazioni patologiche dell'ansia e della depressione è proceduta in parallelo con quella del loro riconoscimento quali entità morbose definibili come possibili obiettivi delle terapie e con quella delle conoscenze sui loro meccanismi patogenetici, di natura sia neurobiologica sia psicologica.

Anche se con le necessarie distinzioni imposte dalla varietà delle presentazioni cliniche, la tendenza oggi prevalente attribuisce un ruolo centrale a trattamenti che integrino interventi di tipo farmacologico e psicoterapeutico. In linea generale, la severità complessiva del quadro clinico rende prioritaria la terapia farmacologica, in particolare per quanto riguarda i disturbi depressivi, mentre forme meno gravi e più legate a caratteristiche di base della personalità possono essere utilmente trattate in via prioritaria con diverse tecniche di psicoterapia.

D'altro lato, alcuni dati sperimentali recenti, ottenuti con tecniche di neuroimaging funzionale, evidenziano come anche pazienti trattati con psicoterapia dimostrino spesso modificazioni del livello e della tipologia di funzionamento cerebrale, in qualche misura analoghe a quelle associate alla risposta terapeutica ai trattamenti farmacologici.

Per quanto riguarda specificamente i disturbi di natura depressiva, viene riconosciuta allo stato attuale un'azione di elevata efficacia terapeutica a numerose tecniche di terapia fisica.

Ansia

L'ansia in quanto tale, particolarmente nelle sue manifestazioni acute e nella sua sintomatologia psicosomatica, risponde rapidamente al trattamento con farmaci che potenziano il sistema di neurotrasmissione mediato da GABA, quali principalmente quelli della classe delle benzodiazepine, oggi i più efficaci e diffusi tra i farmaci ansiolitici, dotati anche di effetto ipnoinducente, miorilasciante, anticonvulsivante. Tuttavia, l'effetto di tali farmaci è sostanzialmente di breve durata e non è in grado, tranne che in una percentuale minore di casi, di eliminare il ripresentarsi di sintomi cronici o episodi acuti di ansia. Inoltre, il loro uso prolungato può generare fenomeni di dipendenza sia psichica sia somatica.

Un effetto terapeutico più consistente e stabile è invece ottenuto mediante trattamento con farmaci, ancora indicati come antidepressivi, dotati di azione di potenziamento della neurotrasmissione mediata da serotonina e noradrenalina. Tali farmaci, evolutisi nel corso degli anni quanto a selettività di azione a livello neuronale, inducono nella maggior parte dei casi una buona risposta terapeutica, che si evidenzia peraltro dopo un periodo di latenza dall'inizio del trattamento. Farmaci in grado di potenziare più specificamente la

trasmissione serotoninergica appaiono più efficaci nel trattamento di disturbi ad andamento cronico o ricorrente, come il disturbo ossessivo-compulsivo o quello di panico.

Un numero molto elevato di tecniche di psicoterapia trova indicazione e dimostra variabili gradi di efficacia nei disturbi di ansia e il loro impiego, isolato o in integrazione con il trattamento farmacologico, rappresenta certamente uno strumento in grado di ridurre incidenza e severità della sintomatologia ansiosa, riconoscendo come obiettivo, in rapporto ai presupposti teorici delle diverse tecniche, la rimozione di quelle strutture o condizionamenti psichici reputati all'origine dei quadri clinici. Trattamenti psicoterapeutici di orientamento psicoanalitico, cognitivo-comportamentale e relazionale-sistemico sono allo stato quelli più utilizzati, anche se esiste una certa concordanza di vedute nell'individuare nelle terapie cognitivo-comportamentali quelle dotate di una maggiore efficacia in tempi medi sull'espressione sintomatica dei disturbi.

Depressione

Esiste un accordo molto ampio nel riconoscere nel trattamento farmacologico la terapia di prima scelta nella depressione, almeno nei casi di severità clinica moderata o grave. Le prime classi di farmaci antidepressivi sviluppate a partire dagli anni Cinquanta, quelle dei farmaci triciclici (TCA) e degli inibitori delle monoamminossidasi (MAO), in parte peraltro ancora utilizzate, sono state affiancate e prevalentemente sostituite da classi di agenti dotati di elevata potenza terapeutica, selettività di azione a livello neurochimico e sufficiente tollerabilità somatica, quali quelle degli inibitori selettivi della ricaptazione della serotonina (SSRI) e degli inibitori della ricaptazione di serotonina e no-radrenalina (SNRI). Altri agenti dotati di efficacia antidepressiva agiscono secondo meccanismi di azione strutturalmente analoghi, ma con peculiarità che non ne consentono l'inclusione in tali classi principali.

L'azione dei farmaci antidepressivi si esplica dopo un periodo di latenza di qualche settimana e il trattamento deve essere protratto per periodi prolungati, ma l'effetto terapeutico è poi frequentemente stabile anche dopo la sospensione del trattamento, nonostante esista un'ampissima variabilità in termini di decorso, tendenza a ricadute o recidive, necessità di trattamento di mantenimento e così via. Al trattamento con antidepressivi deve essere spesso associata, almeno nelle fasi iniziali, una terapia con farmaci ansiolitici o ipnoinducenti. Nei casi caratterizzati da maggiore instabilità dell'umore o con tendenza a episodi di eccitamento o di subeccitamento, è utile l'associazione di farmaci ad azione di stabilizzazione dell'umore, quali i sali di litio o farmaci della classe degli anticonvulsivanti. Gli stabilizzatori dell'umore possono anche essere utilizzati nella profilassi di episodi depressivi ricorrenti.

L'efficacia terapeutica degli antidepressivi viene generalmente attribuita alla loro azione di potenziamento della trasmissione serotoninergica e noradrenergica, ma esistono numerose evidenze che l'effetto antidepressivo possa essere mediato anche, se non principalmente, dall'azione sulle alterazioni dei meccanismi di neuroplasticità cerebrale. In

tale ottica sono in corso di sviluppo nuove classi di agenti antidepressivi, caratterizzati da azione di antagonismo dei recettori per i glucocorticoidi, antagonismo dei recettori della sostanza P, incremento dell'espressione di BDNF e dei processi di neurogenesi in generale, potenzialmente in grado di esplicare un'azione a un livello più prossimo a quello delle reali alterazioni neuronali associate alla depressione.

Il ruolo della psicoterapia nella cura della depressione è in parte più controverso di quello riconosciuto rispetto ai disturbi di ansia; varie tecniche di psicoterapia vengono comunque utilizzate anche in pazienti depressi, pur se in quelli più gravi l'indicazione al trattamento farmacologico è assolutamente prioritaria e insostituibile. Interventi di impostazione psicoanalitica, cognitivo-comportamentale o sistemico-relazionale dimostrano comunque frequentemente un certo grado di efficacia, in particolare nella prevenzione di episodi ricorrenti o nella terapia di depressioni ad andamento cronico, mirati anche in questo caso alla modifica o alla ridefinizione di strutture affettive o cognitive implicate a livello psicologico nella genesi degli episodi depressivi.

Rivestono un ruolo di rilievo nel trattamento della depressione anche tecniche di terapia fisica che hanno subito un'evoluzione negli ultimi anni. Attualmente l'interesse scientifico e clinico nei loro confronti è molto più elevato rispetto al passato.

La terapia elettroconvulsivante (TEC), nota in passato come elettroshock, ha subito vicende alterne nel suo impiego, in rapporto ad assenza o disponibilità di altre terapie o ad avversione pregiudiziale in relazione alla sua identificazione con le vecchie forme di psichiatria di tipo manicomiale. Al momento attuale, viene riconosciuta come il più potente strumento terapeutico nei casi più gravi di depressione e nei casi di resistenza ai trattamenti farmacologici e il suo uso è largamente diffuso in tutti i Paesi europei e occidentali ma è ancora discusso in Italia, in rapporto a pregiudiziali di natura prevalentemente ideologica.

La stimolazione magnetica transcranica ripetuta (rTMS) e la stimolazione del nervo vago (VNS) hanno dimostrato un indiscusso effetto antidepressivo, anche se un loro esatto posizionamento clinico rispetto a indicazione ed efficacia sarà verosimilmente completato solo nei prossimi anni.

Altre tecniche più invasive, come la stimolazione cerebrale profonda (DBS), o altre in fase poco più che sperimentale devono ancora dimostrare in modo definitivo la loro efficacia o la loro utilità anche nel rapporto tra rischio e beneficio.

La light therapy, o fototerapia, tecnica curativa basata sull'uso controllato di particolari sorgenti di luce, è invece largamente impiegata nel trattamento di quelle forme di depressione associate alla sensibilità ai cambiamenti stagionali e alla diminuzione della durata e quantità della luce giornaliera, come nel caso delle depressioni a ricorrenza autunno-invernale. La sua efficacia è ampiamente documentata anche in quelle indicazioni in cui nell'origine del quadro depressivo risulti individuabile il fattore patogenetico che

causa una sensibilità alle modificazioni fisiche ambientali oppure alterazioni dei bioritmi.

PAURA, PAURE

XXI Secolo (2009)

di Simona Argentieri

Paura, paure

Vertici di osservazione e metodologie

Da qualche anno si va delineando un preciso interesse sul tema della paura, con ampia risonanza mediatica. Inchieste, dibattiti, convegni, libri, questionari hanno indagato la frequenza e le forme in cui si manifestano le angosce e le fobie del nostro tempo, siano esse individuali e collettive, private e pubbliche, nei bambini e negli adulti. Coloro che se ne occupano e preoccupano provengono dalle più svariate competenze: non solo sociologi, psicologi e neurofisiologi, ma anche storici, filosofi, antropologi e, sempre più spesso, politici ed economisti. Certamente la cosiddetta paura è un fenomeno sfaccettato e caleidoscopico, che per essere compreso deve essere affrontato da molteplici vertici teorici di osservazione. Occorre però tenere presente che le varie discipline utilizzano metodologie molto diverse (talora non ne usano alcuna) e che, di conseguenza, la comparazione e l'integrazione dei dati che se ne vogliono far derivare è difficile; così come costante è il rischio, non sempre ingenuo, di slittamenti logici, confusioni di livelli, strumentalizzazioni. È abituale, per es., l'uso disinvolto delle statistiche fuori contesto, presentate con l'apparente oggettività dei numeri al servizio di pregiudizi o di interessi di parte.

La questione più frequentemente dibattuta è quella relativa alle 'nuove paure', seppure bisognerebbe preliminarmente chiedersi se davvero ci siano paure vecchie e paure nuove; se eventualmente le nuove abbiano sostituito o si siano sommate alle vecchie; o magari se le antiche, eterne angosce abbiano solo assunto nuove vesti. Nella nostra epoca c'è una sorta di coazione a individuare in ogni ambito l'innovazione e il segno del tempo, enfatizzando spesso banali oscillazioni o labili variazioni che non hanno alcun senso né evolutivo, né involutivo.

È ragionevole pensare che i maggiori cambiamenti si registrino soprattutto a livello esteriore, formale; non possono certo mutare i funzionamenti psicofisiologici di base, né il processo di sviluppo individuale. Ciò che

si modifica, in stretta correlazione con le circostanze storiche e culturali, sono semmai i meccanismi di difesa con i quali si tenta di far fronte alla paura. Si potrebbe dire che la paura è un problema basilare, fisiologicamente e strutturalmente immutabile, mentre cambiano semmai le paure nei loro aspetti fenomenici e contingenti; limitati, ma non per questo meno significativi.

Antinomie

In ambito sociologico, precipuamente in questi ultimi anni, è abituale veder contrapporre la paura alla sicurezza, secondo un'antinomia che ormai appare quasi ovvia. Il discorso, se non è semplice, è per lo meno lineare, poiché la paura è spiacevole, negativa; positivo invece il senso di sicurezza. La difficoltà di conquistarlo e conservarlo, per quanto impervia, è considerata un fatto contingente.

Seguendo un'angolazione teorica psicoanalitica, la questione invece inevitabilmente si complica e si carica di paradossi. Non è scontato che, per es., l'opposto della paura sia il sentimento di sicurezza. Si possono configurare di volta in volta anche altre possibili contrapposizioni: con il coraggio, la quiete, la fiducia, la responsabilità o magari l'indifferenza. Sul terreno clinico possiamo addirittura constatare che talvolta il 'bisogno di sicurezza' risponde a esigenze nevrotiche, al timore patologico di ogni cambiamento: alcuni individui possono sentirsi minacciati da ogni minima trasformazione che metta a repentaglio l'assetto di base, magari infelice e inibito. Anzi, l'esperienza insegna che sono proprio le persone intrappolate in esistenze misere e coatte ad avere più paura dei mutamenti e a opporre le più tenaci resistenze alla cura. A livello inconscio il cambiamento viene vissuto come una minaccia oscura, come un ulteriore incognito pericolo. Rimanere, invece, in una condizione costante di costrizione morale sembra garantire un distorto bisogno, appunto, di sicurezza.

Una reazione difensiva elementare

Sul terreno della fisiologia, la paura viene considerata come una reazione difensiva elementare, universale, comune a tutte le specie viventi.

Alcuni, forse un po' fantasiosi, esperti del mondo vegetale hanno sostenuto di recente che perfino le piante possono provare spavento; non nel senso, ovviamente, di soffrire per i maltrattamenti, ma proprio nella capacità di previsione di un danno potenziale. Lasciando da parte alberi e cespugli, è comunque certo che

L'uomo, come ogni animale, prova paura quando si sente vulnerabile e indifeso rispetto a tutta una gamma di insidie che ne possono minacciare il benessere o la sopravvivenza.

Nel corredo naturale biologico di molti esseri viventi, per istinto, c'è infatti la reazione difensiva elementare della paura, pronta a scattare secondo diversi registri fisiologici, ovviamente variabili da specie a specie (ma di questo non ci occuperemo). La sensazione della paura si manifesta in noi con segnali verbali e non verbali (mimica, postura, gestualità ecc.), in parte innati, in parte culturalmente acquisiti con l'educazione e l'esperienza, accompagnati da tutta una costellazione di reazioni corporee concomitanti: fenomeni involontari neurovegetativi del sistema 'simpatico' (sudorazione, tensione muscolare, accelerazione dei processi respiratori e cardiocircolatori ecc.). Lo scopo ancestrale delle varie reazioni fisiologiche al timore ha la funzione di comunicare agli altri lo stato di pericolo (per es., con le urla) e di preparare l'organismo alle due difese fondamentali: l'attacco e la fuga. Talora, se la paura è acuta e violenta, si attiva anche il sistema nervoso 'parasimpatico', con una conseguente inibizione funzionale cardiocircolatoria e motoria (si dice appunto 'essere paralizzati dalla paura') che può arrivare fino alla perdita di coscienza.

Gli esseri umani, peraltro, sono notoriamente i più complicati di tutto il regno animale; quelli cioè in possesso dell'incerto privilegio di essere, almeno in parte, indipendenti dai semplici automatismi degli istinti. Anche noi reagiamo con impulsivo spavento ai rumori improvvisi e ai volti sconosciuti. Anche noi, quando qualcosa ci terrorizza, abbiamo automaticamente reazioni biochimiche che provocano il batticuore, il respiro corto, lo stomaco contratto, le gambe pronte a scattare, e così via. Però, come ognuno può facilmente constatare, nella maggior parte dei casi tali risposte psicofisiche hanno perduto la loro utilità protettiva materiale: se il fenomeno orripilatorio (il drizzarsi dei peli) può servire ai felini che, gonfiandosi, incutono a loro volta spavento al nemico, è in dubbio che in una situazione di pericolo lo stesso fenomeno serva a qualcos'altro che a fornire una suggestiva immagine letteraria ('roba da far rizzare i capelli'). Così pure, lo stomaco contratto era un buon avvertimento per i nostri antenati nella scala evolutiva, per segnalare loro che, in situazioni rischiose, è meglio non fermarsi a mangiare. Oggi, invece, è solamente un penoso disturbo che richiede medicamento.

Recenti esperienze in ambito psicofisiologico, basate sullo studio delle neuroimmagini cerebrali, hanno confermato che la nostra risposta a uno stimolo genericamente pauroso si esplica secondo due distinti circuiti neurali: una via rapida automatica sottocorticale (diretta ad alcuni nuclei della base cerebrale); e una più lenta (che fa capo ad aree della corteccia cerebrale più sofisticate) capace di discriminare la reale entità del pericolo. È per tale fisiologica dissociazione che reagiamo con uno scossone o con un grido – sentendoci sciocchi un

istante dopo – al banale sbattere di una porta o a un colpo di scena in un film. Sopravvivono dunque in noi alcuni riflessi, alcune risposte automatiche e primitive che, nella maggior parte dei casi, non sono di alcuna utilità per l'individuo civilizzato. Essi comportano anzi un dispendio energetico e finiscono con l'esercitare solo un'azione di disturbo che si traduce, a livello soggettivo, in quella spiacevole sensazione di allarme che tutti conosciamo: la paura.

Il nostro organismo, nella sua indissolubile unità di psychè e soma, di corpo e mente, continua a funzionare sempre allo stesso modo, e le emozioni – con tutto il loro corredo di pallore, tremore, sudorazione – continuano a dominarci secondo le stesse antiche leggi, sia che subiamo un incidente d'auto, sia che facciamo un brutto sogno. Va tuttavia precisato che al momento, nell'area delle discipline psicologiche, non c'è accordo neppure nello stabilire se la paura possa essere considerata un'emozione. D'altronde, non c'è chiarezza concettuale circa le differenze che intercorrono tra i vari termini che designano i moti dell'animo: affetti, emozioni, umori, sentimenti. Lo psicoanalista inglese Joseph Sandler (1927-1998), per porre un argine alla confusione, propose di distinguere, all'interno del concetto generale degli affetti, le 'emozioni' come manifestazioni somatiche neuromorali e metaboliche, e i 'sentimenti' consci e inconsci che sarebbero la componente esperienziale sul versante psichico. In questi termini, le paure possono oscillare tra emozione e sentimento.

Come sappiamo, gli affetti muovono da una base biologica, che viene poi a sua volta modellata in una complessa circolarità dai livelli psicologici e cognitivi. Ovviamente, non è su questo piano psicofisico che si possono riscontare i cambiamenti epocali. Ciò che muta in relazione ai contesti storici e culturali è il senso che assumono le varie paure e il modo in cui si tenta di farvi fronte.

Il linguaggio della paura

Tutte le lingue possiedono una ricca costellazione di termini che designano la reazione psicofisica della paura. In italiano possiamo parlare di ansia, angoscia, timore, spavento, terrore, panico, fobia ecc., con sfumature soggettive di significato a seconda dei vari contesti, che non è possibile definire in assoluto. A volte, per es., si pensa che ci sia una differenza quantitativa tra timore e terrore, tra ansia e angoscia. Altre volte con la parola panico si vuole far riferimento a una paura totale senza forma né contenuto, senza minimamente alludere all'origine etimologica che risale al mitico dio Pan.

La paura ha storicamente un ruolo centrale in psicoanalisi; il termine tedesco Angst, che siamo abituati a tradurre con ‘angoscia’, sul quale Sigmund Freud (1856-1939) ha articolato l’intero edificio della psicoanalisi, significa letteralmente ‘paura’. Il manifestarsi e l’organizzarsi dell’angoscia nelle sue varie forme normali e patologiche è il filo conduttore che scandisce l’intera esistenza. La storia di ogni individuo può essere scritta raccontando il modo in cui reagisce, interagisce, viene a patti con le paure basilari.

In ambito medico-psichiatrico alcuni termini hanno assunto per convenzione un valore particolare. È il caso del termine fobia, il corrispettivo letterale in greco della parola paura, che ha ormai una connotazione psicopatologica specifica. Si parla quindi, per es., di nevrosi fobico-ossessiva, o di varie sindromi connotate dal termine composito che designa la situazione che scatena l’angoscia (acrofobia, claustrofobia, agorafobia ecc., a indicare la paura dell’altezza, dei luoghi chiusi o dei luoghi aperti); oppure il cosiddetto oggetto fobigeno (aracnofobia, rupofobia ecc., se la paura è scatenata dai ragni o dalla sporcizia). D’altronde, spesso le parole importate nella medicina e nella psicologia da altre lingue – stress, per es., che significa solo ‘tensione’ – subiscono un ambiguo processo di reificazione, come se la dizione straniera conferisse loro un valore di oggettiva scientificità. Così, il cosiddetto pavor nocturnus dei vecchi trattati di pediatria è solo un modo pomposo di segnalare che talvolta i bambini si svegliano di notte piangendo, senza saper dire perché, e senza che anche i medici lo sappiano spiegare.

Dunque, molto si può discutere sul senso delle parole nell’italiano e negli altri idiomi, ma si tratta comunque di una stessa costellazione di risposte al confine tra corpo e mente, tra sensazione ed emozione, connesse a esperienze primarie e basilari del processo di sviluppo umano. L’attribuzione del senso è mobile, fluida, variabile e – a rigore – richiederebbe di volta in volta una specificazione. In questa sede privilegeremo l’uso colloquiale, segnalando eventualmente di volta in volta i contesti nei quali i singoli termini assumono particolari attribuzioni; oppure, esploreremo il mutare del significato che parole tradizionali della psicopatologia vanno assumendo ai nostri giorni.

Il processo di sviluppo

Si può tracciare una linea del percorso di crescita del bambino in parallela correlazione con quella dell’emergere delle sue paure.

La prima angoscia è quella scatenata dal trauma della nascita, anche se con tale espressione non intendiamo più questo evento nel senso letterale e concreto che gli aveva dato a suo tempo uno dei primi discepoli di

Freud, Otto Rank (1884-1939). Oggi è considerato piuttosto come una fantasia a posteriori, una memoria impossibile ma carica di significati, di questo dramma originario di cambiamento catastrofico di stato, che obbliga il neonato a sperimentare bruscamente la sensazione della perdita del contatto con il corpo materno e la concretezza della solitudine. La seconda tappa è quella della angoscia degli 8 mesi o paura dell'estraneo, in cui il bambino – che fino a quel momento aveva sorriso fiducioso a chiunque – comincia a distinguere i volti familiari da quelli sconosciuti. In seguito, a seconda delle vicissitudini dell'esistenza e dell'organizzazione psicologica costituzionale di ciascuno, si delinea in tutta la sua gamma e per tutto l'arco della vita, l'angoscia di separazione: come ansia di castrazione, come paura di perdita di sé o dell'altro, come pura angoscia di morte.

L'angoscia di separazione è un sintomo abbastanza generico, non solo nei bambini, ma anche in molti adulti che – con l'ingenuità tipica dei processi inconsci – si illudono che mantenere il contatto sensoriale, il controllo della vicinanza fisica della persona cara o dei luoghi familiari, valga a scongiurare ogni pericolo.

Il processo di crescita, di maturazione, di costruzione dell'identità è correlato alle vicissitudini della separazione nella dimensione relazionale madre-bambino: dal concreto distacco corporeo alla possibilità di differenziarsi e di esistere, al livello simbolico della separatezza psicologica. Lo stile di reazione a fronte degli stimoli potenzialmente disturbanti si apprende prevalentemente per vie precoci, non verbali, nel rapporto tra genitori e figli. È classico l'esempio del neonato che – se la madre è tranquilla – dorme beato tra le sue braccia anche in mezzo al frastuono.

Dobbiamo constatare che oggi – non solo nella patologia conclamata – c'è in generale una minore tolleranza verso gli eventi di separazione, la perdita del contatto: tra genitori e figli, tra compagni adolescenti, nelle coppie. Per es., è frequentissima la difficoltà di abituare i bambini a dormire da soli. Quanto meno si è in grado di affrontare i processi fisiologici di separazione-individuazione, di differenziazione tra sé e non sé, tanto più si ha difficoltà a distaccarsi concretamente, a perdere il legame tattile, visivo, o magari auditivo tecnologico che si attua tramite il telefono cellulare. La comunicazione profonda – molto pernicioso – che viene così trasmessa ai piccoli è che non ci si può separare; che l'interruzione della vicinanza provoca un'ansia insostenibile (in primo luogo nell'adulto, che usa il bambino per i suoi bisogni irrisolti). Purtroppo, questo è il modo più diretto di far crescere bambini insicuri. Tali comportamenti sono ormai talmente diffusi che la frequenza statistica viene scambiata per norma; tanto che un disturbo della crescita serio e condizionante per l'intera struttura, che inevitabilmente si va trasmettendo di generazione in generazione, rischia di non essere più percepito come un problema.

Purtroppo, non è possibile crescere senza sperimentare il dolore psichico. La 'paura dell'estraneo' è il prezzo che si paga per imparare a distinguere, tra le varie persone che ci circondano, quelle a cui possiamo accordare la nostra fiducia. Allo stesso modo, imparare a piangere per la lontananza o l'abbandono delle persone care costituisce la necessaria premessa della capacità di amare. Una certa quota di paura e di angoscia è ineliminabile, anzi è addirittura necessaria per la maturazione e la crescita, per non relegare i bambini – e poi gli adulti – in un falso paradiso in cui si negano sia la realtà esterna sia quella interna. Così errori pedagogici di segno opposto si alternano sulla scena familiare e sociale. In passato erano molti i genitori (più spesso i padri) che ritenevano necessario 'temprare' il carattere dei figli (soprattutto, si sa, dei figli maschi) non concedendo alcuna indulgenza alle debolezze, forzandoli a superare le loro paure; oggi invece capita di vedere soprattutto adulti incerti e confusi, iperprotettivi, spesso più spaventati dei loro figli.

L'atteggiamento pedagogico attuale è pieno di contraddizioni: talora si vorrebbero censurare tutti gli elementi angosciosi delle favole, dal lupo di Cappuccetto rosso alla strega di Biancaneve; mentre bambini e adulti non sanno come dare senso e limite al martellamento quotidiano incontrollato di immagini televisive spaventose della finzione e della realtà.

Le classificazioni delle paure

Dal punto di vista descrittivo il campo delle paure è vastissimo e molti studiosi si sono prodigati a ordinarle secondo i più minuziosi criteri. La classificazione è però un'impresa tanto vasta e articolata quanto sostanzialmente poco produttiva, poiché i modelli concettuali secondo i quali si tenta di differenziarle e raggrupparle sono mutevoli, segnati dai vertici disciplinari, dai contesti socioculturali e dall'aria del tempo.

Si possono distinguere sul versante del soggetto: paure individuali e collettive, maschili e femminili, adulte e infantili, ancestrali o futuriste. Dal punto di vista, invece, dell'oggetto, dei contenuti, l'elenco è pressoché infinito: possiamo avere paura dell'acqua e del fuoco, del buio e dei fantasmi; di fenomeni naturali, come il terremoto e il tuono, o di minacce artificiali create dall'uomo, come la guerra nucleare e il disastro ecologico. A incutere spavento possono essere persone reali come i ladri, o personaggi immaginari come i protagonisti delle antiche favole o di certi moderni film dell'orrore. Il bestiario delle paure è poi ricchissimo: cani, gatti, cavalli, pipistrelli, ragni, serpenti, insetti, squali e così via. Non c'è forse nemmeno un animale del regno naturale che non abbia suscitato la sua specifica fobia, indipendentemente dall'oggettiva pericolosità, senza escludere le bestie che abitano il mondo delle leggende e delle fiabe, come i draghi e i lupi mannari. Si

possono poi individuare i vari contesti: famiglia, coppia, scuola, lavoro; oppure gli ambiti: salute, circolazione stradale, conflitti bellici ecc., nei quali le paure si creano e si manifestano. C'è infine da tener conto, nel caso dei bambini, di tutte le morbide fantasie che hanno a che fare proprio con le persone care: la paura di restare orfani, di essere stati scambiati in culla, oppure che, di nascosto, i genitori siano stati scambiati con degli automi che hanno poi assunto le loro sembianze.

Come insegna la psicoanalisi, la caratteristica più interessante della paura umana è però relativa ai diversi livelli di coscienza implicati: nella maggior parte dei casi, infatti, le paure conscie, che possiamo nominare e denunciare, sono intrecciate, condizionate, alimentate da altre paure inconscie a noi stessi sconosciute. Il pericolo in verità non è esterno, ma interno; non proviene cioè che in minima parte dalle insidie del mondo reale, ma dalle nostre fantasie e dai nostri conflitti intrapsichici che vengono proiettati su una situazione esteriore. L'esempio più comune è la paura dello straniero, intorno alla quale si aggrovigliano le angosce originarie infantili della paura dell'estraneo, i pregiudizi preconsce e le credenze razziste organizzate nel corso della vita e le preoccupazioni, purtroppo realistiche, che si configurano nei moderni contesti urbani, esposti all'immigrazione incontrollata che può intrecciarsi con la malavita e l'illegalità locali. Così, nelle fantasie e nei sogni, con ingenuo razzismo, spesso 'il nero', 'lo straniero' altro non sono che una parte nostra inconscia che si affaccia alla coscienza, che segna il momento in cui si impara a distinguere ciò che è familiare da ciò che è sconosciuto, dentro e fuori di noi. L'inconscio – come a suo tempo aveva già detto Freud – è la nostra «terra straniera» interiore.

All'origine della vita, infatti, la nostra esperienza psichica, in ordine al basilare principio del piacere/dispiacere, è fatta soprattutto di sensazioni gradevoli o sgradevoli, e i confini tra 'dentro' e 'fuori', tra sé e gli altri, sono confusi. Così la sensazione di fame all'interno dello stomaco è difficilmente distinguibile da un attacco che viene dall'esterno. Si tratta certo di vicende complicate, difficili da afferrare per la nostra mentalità adulta logica e ordinatrice. Possiamo però portare a esempio l'esperienza, molto comune, di quando andiamo a dormire dopo aver mangiato qualcosa di pesante. Spesso – come è noto – accade allora di avere degli incubi. La sensazione penosa della cattiva digestione si è cioè 'tradotta' in un'immagine mentale di qualcosa di cattivo che, appunto, incombe, ci minaccia dall'esterno. La più suggestiva raffigurazione dell'incubo ci è offerta dalla nota opera pittorica omonima di Johann Heinrich Füssli (*The nightmare*, 1872), nella quale vediamo il piccolo mostro maligno appollaiato sul ventre della dormiente. La caratteristica dell'incubo è di sospendere la nostra facoltà di 'giudizio di realtà'; l'incubo cioè viene vissuto come se fosse una minaccia reale, che ha fine solo con il risveglio.

Sul piano puramente logico, è semplice operare una distinzione basilare tra paure vere e paure immaginarie, tra circostanze nelle quali è realistico, legittimo, normale provare timore, e circostanze nelle quali invece la sensazione minacciosa è ingiustificata o comunque sproporzionata. Sul piano delle singole vicende, le cose sono, però, molto più complicate e i confini sfumano continuamente tra concreto e astratto, tra normalità, idiosincrasia, bizzarria e vera e propria patologia nevrotica o psicotica. Quindi, la differenziazione più importante – quella tra paure patologiche e paure normali – è un’impresa sempre controversa, impossibile da attestare in modo netto e assoluto.

Entro certi limiti, le situazioni angosciose ci fanno maturare, crescere, alimentando le funzioni psicologiche del controllo e della fiducia nelle nostre forze di fronte ai pericoli interni ed esterni. Ma, per potersi fare coraggio, occorre avere ben chiaro quale sia il nostro nemico; e anche questo non è un ovvio dato oggettivo, ma un complicato punto di arrivo. La situazione più sconvolgente e traumatica è invece quella in cui siamo pervasi dall’ansia, ma non sappiamo capire da dove provenga il pericolo; per immaturità psichica o per nevrosi non siamo in grado di dare una rappresentazione precisa all’oscura minaccia.

La qualità creativa dei sintomi

È perciò sempre un’importante tappa nel processo di maturazione il momento in cui, dalla paura senza volto e senza nome, un bambino arriva a individuare ciò che suscita in lui il timore; o in forma semplice e diretta (il ladro, il rapitore ecc.) o, più spesso, sotto forma di un simbolo ‘preso in prestito’ dalla realtà, che riesce a condensare in un’immagine il groviglio di fantasie e di confuse sensazioni: brutto, scuro, ignoto, cattivo, quale il classico ‘uomo nero’ del passato.

Nominare, riconoscere una paura è dunque già il risultato di un’elaborazione dell’angoscia, che la trasforma in un materiale rappresentabile, comunicabile a sé stessi e agli altri. Così i sogni e, ovviamente, gli incubi, i disegni dei bambini e le favole a loro destinate, in un certo grado tutta l’arte, ma anche le fobie e i sintomi nevrotici possono essere considerati dal punto di vista psicologico dei materiali creativi, a prescindere dalla loro qualità estetica.

È possibile decodificare le paure?

Quando ciò che incute spavento è oggettivo e reale, è su questo piano concreto che occorre affrontare il problema; le considerazioni psicodinamiche hanno ben poco peso a confronto con l'angoscia di un'aggressione fisica o di un terremoto.

Da quanto abbiamo considerato si deduce però che spesso le angosce sono, in misura variabile, un intreccio tra verità e fantasia. Non è possibile in tal caso risalire dal livello descrittivo della situazione o della cosa di cui un individuo ha timore al significato profondo, e magari ricostruire la storia privata del 'trauma' che ha causato l'insorgere di questo piccolo o grande sintomo. Come per i sogni – o, visto che si parla di paure, per gli incubi – il contenuto manifesto non è sufficiente, se non a grandi linee, a informarci sulla personalità del sognatore. Molti, per es., possono avere paura del buio; questa inquietudine ancestrale, comune sia all'uomo primitivo sia agli uomini delle società evolute di tutti i tempi e di tutti i Paesi, ai piccoli come ai grandi, potrà di volta in volta assumere sfumature di significato molto personali. Il buio può essere spaventoso per un bambino piccolo che sta per addormentarsi e che vive il sonno come un nero abisso in cui si può sprofondare per sempre; un ragazzino più grande, invece, può immaginare creature minacciose (ladri, assassini ecc.) che lo spiano nelle tenebre, concrete proiezioni delle sue fantasie aggressive. Nell'età adulta, infine, il timore del buio è una sorta di residuo dell'epoca arcaica; oppure assume significati nuovi, come la resistenza a lasciare emergere alla coscienza dei desideri sessuali o aggressivi rimossi. È in questa dimensione infera dell'inconscio che abitano le fantasie inconfessabili, i desideri proibiti, le fantasie e gli impulsi più violenti. Per quel che riguarda la vita quotidiana, il nostro 'io' funziona dunque come una sorta di 'filtro' che lascia passare solo in misura minima i contenuti psichici, la gran parte dei quali rimane invece 'fuori scena' e si manifesta soltanto a sprazzi attraverso i sogni, i lapsus, i sintomi nevrotici.

D'altronde, è inevitabile che alla radice di tutte le nostre sofferenze, quanto più a fondo si scava, si trovino sempre gli stessi, eterni drammi: l'invidia, la gelosia, l'ambivalenza di odio-amore, il conflitto tra la regressione e la crescita, le paure primordiali. Affermare che a sintomi diversi possa corrispondere lo stesso problema e – per contro – che uno stesso sintomo possa essere connesso a significati inconsci pressoché infiniti, non è un artificio retorico, ma una conseguenza obbligata della complessità secondo la quale il confine tra normalità e patologia non solo, come abbiamo detto, è confuso e sfumato, ma per di più è in continuo, dinamico mutamento. La relativa enigmaticità delle paure non è dunque un fatto contingente, legato all'inadeguatezza dei nostri strumenti interpretativi; bensì una costruzione 'difensiva' e un elemento costitutivo della paura stessa. L'invenzione dell' 'uomo nero' o di un'altra simbolica minaccia è una sorta di compromesso tra conscio e inconscio, secondo il quale il terrore può avere accesso ai livelli superiori della psiche, ma solo in maschera. Non dobbiamo dimenticare, infatti, che il sintomo è sempre una formazione di

compromesso tra il dire e il non dire – a noi stessi e agli altri – qualcosa che di per sé, finché non si sono maturati strumenti psicologici adeguati, fa ancora più paura.

Impossibile, dunque, formulare in assoluto una linea guida su come comportarsi rispetto alle paure nevrotiche, stabilire quando debbano essere affrontate facendo appello alle forze dell'io, oppure richiedano un intervento psicoterapeutico specifico. Comunque, se le rassicurazioni formali sono inutili e le interpretazioni premature sul senso recondito sono controproducenti, è addirittura nocivo tentare di imporre d'autorità il 'superamento'. Con tali mezzi talora la fobia può anche sparire, ma il problema è sapere a che prezzo ciò avvenga; per es., il complesso nevrotico che aveva trovato la sua valvola di scarico nella fobia può essere costretto a trovare altre strade, a costruire altri sintomi più gravi e invalidanti.

Per contro, è anche vero che quando la lotta interiore contro i piccoli o grandi demoni dell'inconscio è autoimposta, quale che sia il bilancio di vittorie e sconfitte, può essere un modo di rafforzare il carattere e l'autostima.

I meccanismi di difesa

La paura è una reazione difensiva, ma – in un preciso paradosso – a fronte di tale stato d'animo spiacevole, nel tentativo di cancellarlo o almeno padroneggiarlo, si mobilitano ulteriori meccanismi difensivi psicologici, prevalentemente 'inconsci', privi di efficacia reale nei confronti delle minacce esterne o interne, poiché possono solo tenere a bada la sensazione soggettiva penosa. Quanto più ci sentiamo impotenti, tanto più facciamo ricorso a tali meccanismi. Lo scongiurare l'emozione spiacevole è inutile, se non dannoso sul piano di realtà, perché non mette in moto reazioni autenticamente protettive. Il vantaggio apparente ha sempre un costo in ordine alla capacità di valutazione. Per es., lo svenimento causato da una paura violenta e improvvisa è la più massiccia delle strategie difensive, perché ci sottrae radicalmente alla consapevolezza della situazione inquietante, ma ci consegna inermi al pericolo.

Sono numerose le operazioni psicologiche che si possono mobilitare a livello inconscio e preconsciouso per far fronte alle paure della quotidianità.

Possiamo brevemente ricordare la scissione – tenere separate dentro di sé due o più aree affettive o cognitive della mente –; la proiezione – mettere fuori di sé ciò che è sgradevole, per es. pensando «non sono io a essere aggressivo, ma è l'altro che è ostile nei miei confronti» –; la rimozione – ricacciare nell'inconscio la

rappresentazione intollerabile –; l'isolamento – circoscrivere nel tempo e nello spazio il pensiero nocivo, e così via. Tali meccanismi sono aspecifici, genericamente orientati a evitare il 'dispiacere'; sono noti e attivi da sempre (Freud e i suoi seguaci li hanno solo individuati e nominati) e sussistono nella psicologia dell'uomo moderno. Tuttavia l'esperienza psicoanalitica mostra che – quali che siano le paure vecchie o nuove con le quali ci si deve confrontare – è però cambiato il modo in cui vengono affrontate dal versante difensivo.

Nelle organizzazioni nevrotiche, ma ancor più nella vita quotidiana, prevale a vasto raggio un particolare tipo di difesa: il diniego. Come se molti di noi portassero il segno del modo in cui fin da piccolissimi sono stati educati a fronteggiare ansie e paure, il dire «non è niente», «non è successo niente» può essere una modalità rapida ed efficace con la quale si tenta di arginare le reazioni emotive penose dei figli. Si tratta perlopiù di un 'microdiniego' abituale, che tratta il trauma – sia pure il microtrauma – come non esistente, non avvenuto, che provoca nella relazione interpersonale e intrapsichica un cortocircuito tra affetto e pensiero. Blocca l'eruzione dell'angoscia nella psiche del bambino; ma è l'esatto contrario della funzione genitoriale del contenimento: cioè dell'accogliere, elaborare e restituire come tollerabili fantasie ed emozioni sconvolgenti. Se invece gli adulti a loro volta non sanno contenerla, la paura verrà scissa ed espulsa fuori dal rapporto e dalla mente.

Troppo spesso purtroppo grandi e piccoli oggi sono dominati dalle stesse minacce e dalle stesse paure. Per i bambini c'è però il danno in più di essere esposti a tali meccanismi quotidiani proprio nel periodo in cui dovrebbero organizzare le distinzioni tra realtà esterna e realtà interna, tra pericoli che vengono da fuori e pericoli che vengono da dentro, tra pensieri tollerabili e intollerabili. Evidentemente, il problema del modo in cui la società affronta le paure dei più giovani si iscrive nell'assai più ampio contesto del sottile sfacelo della funzione adulta nella nostra epoca; cioè della difficoltà che hanno genitori e insegnanti a sostenere un conflitto sano, a imporre norme e limiti; in sintesi, a favorire lo sviluppo del Super io e della struttura. Il Super io svolge infatti la funzione normativa e punitiva, ma anche quella protettiva. Il disconoscimento dell'autorità e delle differenze generazionali troppo spesso ha neutralizzato la funzione punitiva superegoica, ma al contempo ha smantellato anche quella educativa e protettiva, lasciando nelle piccole mani dei bambini il compito – immane – di costruire da soli un argine ai loro impulsi aggressivi e distruttivi, nonché alle loro paure.

Non c'è da stupirsi, allora, se al diniego si accostano altri meccanismi difensivi più o meno efficaci, quali le strategie controfobiche, l'erottizzazione della paura, l'evitamento, l'identificazione con l'aggressore, la regressione all'ambiguità eccetera. L'elemento comune, purtroppo, è l'impoverimento affettivo della persona e la fragilità della struttura.

Le nuove forme delle paure

Fino a una decina di anni fa la fobia della scuola era un problema abbastanza raro, difficile da diagnosticare perché era spesso camuffato da disturbi fisici (mal di stomaco, di pancia ecc.). Uno sguardo attento poteva però cogliere alcune caratteristiche individuali e familiari significative, quali un rapporto ambivalente di dipendenza dalla madre, un temperamento ipersensibile del bambino, talora un segreto familiare angoscioso. Oggi invece assistiamo a un sensibile aumento dei casi di cosiddetta paura della scuola che però si manifestano in modo diverso rispetto al passato. Innanzitutto – seppure il disturbo continui a prevalere tra i maschi – sta crescendo la percentuale delle femmine; inoltre, questi bambini dichiarano esplicitamente fin dagli anni delle elementari, il loro rifiuto di andare a scuola. È un dato oggettivo inquietante che registrano i neuropsichiatri infantili, gli psicologi, gli insegnanti. Nella maggior parte dei casi non si tratta della classica fobia, ma di un sintomo sempre più generico e sfuggente di evitamento della situazione fonte di ansia. Così, il non voler andare a scuola può esprimere ‘semplicemente’ il ricusare di confrontarsi con le normali difficoltà della vita; non nasce da angosce superlative, ma proprio dalle banali incombenze e dalle minime fatiche della quotidianità: svegliarsi a un’ora precisa, arrivare puntuali, stare attenti in classe, misurarsi con altri ragazzini. In una parola, esprime la ripulsa della realtà e della crescita.

Rientra appieno nel nostro discorso sulle paure una patologia attualmente molto frequente, o meglio molto frequentemente diagnosticata: l’attacco di panico. Tale etichetta viene attribuita a individui adulti e apparentemente ben integrati, che però episodicamente vengono assaliti da una sensazione improvvisa e devastante di paura, accompagnata da un imponente corredo di disturbi fisici (pallore, tremore, palpitazioni, spasmi respiratori, sensazione di morte imminente ecc.) che insorgono al momento di affrontare banali esperienze quotidiane, come uscire da soli o guidare l’automobile. Talora il panico si configura come paura anticipatoria di non poter essere soccorsi nel momento di un eventuale futuro pericolo (paura della paura). In realtà, il cosiddetto attacco di panico è un concetto descrittivo generico e superficiale, che mette un’etichetta di ‘malattia’ al più ovvio e generale dei segnali della paura: la crisi acuta di angoscia («attualità del nulla» lo definisce severamente lo psichiatra e psicoanalista Mario Rossi Monti). In effetti è un sintomo generico dietro il quale ci può essere di tutto: dalla nevrosi lieve e occasionale, ai più seri disturbi della personalità; dal conflitto rimosso dell’isteria, alla regressione alle paure senza forma e senza nome dei momenti arcaici dello sviluppo.

L’attacco di panico è uno dei modelli di riferimento del paradigma descrittivo-nosografico di una certa attuale psichiatria e della sua deriva organicista, che così cristallizza il malessere a un livello primitivo ‘biologico’,

che non può essere né discusso, né elaborato. L'assunto di fondo è che il panico sia biologicamente diverso dall'ansia e che tale differenza sia comprovata dalla risposta a uno specifico trattamento psicofarmacologico. Purtroppo, la 'fortuna' di un approccio consimile avviene con la precisa collusione dei pazienti, poiché il riduzionismo va incontro alle difese di chi preferisce riconoscersi affetto da una sindrome predefinita, piuttosto che affrontare la fatica di guardarsi dentro e cercare di capire il senso delle proprie paure o delle proprie infelicità.

Più in generale, è d'altronde noto quanto la cultura attuale privilegi lo 'stile' classificatorio sintomatico e, di conseguenza, lo sbrigativo rimedio farmacologico, che eludono la presa di coscienza dei contenuti profondi. In questi termini, ogni sintomo finisce per rappresentare una 'malattia' e si individuano così entità patologiche fittizie come l'attacco di panico, appunto, o come la sindrome da affaticamento cronico o il disturbo dell'umore stagionale.

Lo stesso discorso critico vale in ordine a un'altra dilagante diagnosi della contemporaneità, quella della sindrome post traumatica da stress; una terminologia pretenziosa e pseudoscientifica basata sulla constatazione che chi ha subito eventi traumatici, quali un grosso spavento, ovviamente ne patisce le conseguenze anche a distanza di tempo, con un penoso e persistente stato di insicurezza e malessere.

L'identificazione con l'aggressore è una modalità difensiva tutt'altro che nuova, esplorata già dalla figlia di Freud, Anna (1895-1982), e ancora prima di lei da Sandor Ferenczi (1873-1933). Indica un'operazione inconscia secondo la quale, a fronte di un nemico che ci terrorizza, tendiamo ad assumere le sue caratteristiche: così un bambino impaurito dai cani può giocare a ringhiare e mordere, oppure può prediligere come maschera di carnevale i costumi di eroi minacciosi. Così si può, almeno parzialmente, spiegare anche il sadismo di custodi e carcerieri nei confronti delle persone in loro balia: diventare colui che incute terrore libera il soggetto dall'inquietante fantasia di poter essere la vittima. Molte volte oggi, nel caso delle violenze di gruppo nelle età adolescenti e preadolescenti, nel cosiddetto bullismo scolastico, si può intravedere il meccanismo dell'identificazione con l'aggressore, che azzera la possibilità dell'empatia e del senso di responsabilità nei confronti del compagno più debole che è aggredito.

È molto frequente inoltre nelle nostre società occidentali avanzate una subdola modalità di disfunzione della coppia che possiamo denominare (Amati Mehler 1989) come agorafobia-claustrofobia del rapporto. Sono uomini e donne alla perenne ricerca di un rapporto amoroso, che dichiarano la loro sofferenza nella condizione di solitudine, ma che poi – non appena il legame si approfondisce e si stringe – sono preda di un impulso

opposto di fuga. Trascorrono così la vita ad avvicinarsi e poi a fuggire dall'oggetto d'amore, in una oscillazione perpetua – che non produce alcun cambiamento nella struttura della personalità – tra la paura dell'abbandono e la paura dell'intimità. Rientrano in questa sempre più ampia categoria gli amori infelici, non corrisposti, oppure le separazioni e i divorzi a catena, che i protagonisti, a livello di coscienza, vogliono attribuire alla sfortuna.

Da ascrivere nella categoria delle nuove forme della paura anche quella delle malattie, in particolare la paura del cancro. L'ipocondria – pura angoscia di morte – è una forma morbosa antichissima, ma attualmente ha assunto una diffusione subdola e pervasiva, alimentata purtroppo proprio dai progressi della tecnologia medica e dagli esami clinici e di laboratorio che mirano alla prevenzione. Paradossalmente, ad affollare gli ambulatori deputati alla diagnosi precoce non sono i veri pazienti a rischio, ma gli ipocondriaci, che assillano i medici con domande, dubbi e infinite ripetitive paure. Sono avidi di indagini e di esami di laboratorio che li tranquillizzano (solo per poco) di non avere nulla. Il paradosso è che talora si affannano intorno a un male fittizio, mentre negano qualche altro sintomo davvero preoccupante. Il meccanismo inconscio è quello di angosciarsi preliminarmente, per poi farsi tranquillizzare dal medico e godere di una tregua dall'ansia; per poi ricominciare da capo, cambiando il sintomo e magari il terapeuta, ma non il meccanismo. Spostando l'angoscia su un qualche malanno immaginario – terribile ma eccezionale – che viene di volta in volta scongiurato, riescono a rimandare il vero problema: la consapevolezza di essere mortali. Per tali ragioni si pensa che l'ipocondria sia l'estremo baluardo del narcisismo, che tenta di negare la realtà ineluttabile della morte.

Infine, gli esperti di psicopatologia sanno che ancor più problemi, paradossalmente, hanno quegli individui apparentemente spavalidi che non hanno paura di nulla, e che quindi si espongono continuamente ai pericoli reali; non perché siano molto coraggiosi, ma perché hanno bisogno, per motivi nevrotici, di negare le proprie emozioni inquietanti. Sono coloro che ricorrono al cosiddetto meccanismo difensivo controfobico, infliggendo a sé stessi la continua sfida di sport estremi, di prove fisiche di coraggio. Rientra in questa categoria la ricerca di situazioni rischiose che spinge talora gli adolescenti senza alcuno scopo concreto (per es., il correre sul bordo di un precipizio o il superare i limiti di velocità in autostrada) a effettuare una sorta di 'rito di passaggio' autarchico, che però non conduce ad alcun cambiamento di stato verso l'età adulta e che quindi non può che ripetersi all'infinito. Anche i bambini possono usare il meccanismo controfobico, esponendosi apparentemente impavidi ai pericoli, delegando ai genitori il compito della protezione reale.

In una forma assai meno nociva e ‘morbida’, può appartenere alla categoria controfobica anche quella sorta di paura erotizzata di giovani e meno giovani per i film horror, che sembrano mettere lo spettatore alla prova di quanto riesce a sopportare di disgusto o spavento, nel breve e personalissimo intervallo tra l’angoscia e la noia. Forse costoro, per difendersi dalle esperienze penose, hanno costruito una corazza di apatia, di indifferenza, di inibizione degli affetti; e in questa forma passiva e virtuale tentano di solleticare le loro emozioni perdute.

Natura da proteggere, cultura da temere

Una fonte di paura collettiva realistica è quella che deriva dai disastri naturali, malauguratamente incombenti ora come nei secoli passati. Seppure le notizie delle catastrofi causa di morte e distruzione, nella maggior parte dei casi, non provengono dall’esperienza diretta ma dalle immagini dei notiziari televisivi, quanto più sono violente e crude tanto più assumono un incerto statuto di realtà.

In tempi remoti, nel tentativo di dare un senso alle sventure che si abbattevano sulle popolazioni, si immaginava che le eruzioni dei vulcani, i terremoti o i maremoti fossero la conseguenza delle malefatte degli uomini, che venivano puniti dagli dei onnipotenti. Era una fantasia angosciosa, ma in fondo così rimaneva un piccolo margine di negoziazione con la divinità: spiando, offrendo sacrifici, si poteva sperare di tenere a bada la minaccia e di prevenirla. Ai tempi nostri invece dobbiamo convivere con l’idea ancora più scomoda che il disastro non ha alcun senso soprannaturale e colpisce alla cieca. La scienza dovrebbe prendere il posto del pensiero magico-religioso; ma purtroppo nella maggior parte dei casi riusciamo solo a capire il ‘come’ delle sventure già avvenute e i nostri strumenti tecnologici preventivi si rivelano di scarsa efficacia, proprio come scarsamente convincenti e per niente consolanti risultano le spiegazioni scientifiche (per es., quelle sulla ‘grande onda’, tanto che la parola tsunami è diventata nel linguaggio comune l’emblema metaforico di ogni disastro).

Al di là di questi eventi eccezionali, la natura che conosciamo è quella urbana, controllata e addomesticata se non snaturata; aggredita e rapinata a livello planetario dallo sfruttamento incontrollato degli umani che distruggono foreste, fanno estinguere specie animali, inquinano le acque e l’atmosfera. Una natura da salvare come riscatto dalla perdita di quel bisogno di ‘appaesamento’ (del quale già scriveva, dal versante antropologico, Ernesto De Martino): non più inquietante e misteriosa, ma semmai fragile e precaria, più da proteggere che da temere. Di modo che ci sentiamo al tempo stesso corresponsabili e impotenti del disastro ecologico e alla paura si aggiunge il senso di colpa.

È così che il nostro ambiguo rapporto con la natura si coniuga con la grande paura della nostra epoca: il timore del futuro, o meglio che non ci sia futuro. A livello individuale, per così dire egocentrico, le preoccupazioni più frequenti e dominanti – stando a quanto riferiscono le inchieste sociologiche che così spesso vengono diffuse dai mezzi di informazione – sono quelle della povertà, della perdita del lavoro e del benessere, della vecchiaia e così via. Talora, la paura si declina in forme più semplici, fin dalle età infantili, come ansia dell'insuccesso e come senso di inadeguatezza di fronte alle difficoltà della vita. È interessante, a questo proposito, scoprire che – se si fanno interviste incrociate sulle paure infantili a genitori e figli – i bambini raccontano con grande spontaneità e immediatezza le loro angosce; padre e madre invece tendono a rispondere che i loro piccoli non hanno alcun problema, probabilmente per autorassicurarsi ed evitare sentimenti di colpa e di umiliazione. Si è di fatto ribaltata l'antica illusione secondo la quale un tempo erano i bambini a credere che i genitori non avessero paura di nulla.

In senso più ampio e collettivo, circola invece la paura del terrorismo, della guerra, del disastro atomico. Così, la paura dell'aggressività propria e altrui si va trasformando nell'angoscia generica e impersonale della violenza.

Paura e propaganda

È purtroppo consueto, in ambito sociopolitico, che le paure collettive vengano evocate, sfruttate, alimentate al servizio dei pregiudizi di parte. Individuare il nemico e il pericolo per poi proporsi come governanti salvifici contro lo straniero alle porte, il malato di mente, la miseria, il degrado dei valori ecc., è da sempre uno strumento cinico ed efficace di propaganda da parte di chi si presenta come garante della 'sicurezza' contro l'incertezza, il disordine e la criminalità. Poiché infatti le paure sono materia ad alto contenuto emotivo, è assai frequente che vengano indotte, evocate, rinforzate nelle comunità sociali da gruppi di potere che pretendono di essere coloro che contro quelle stesse paure offriranno rimedio e protezione.

La paura irrazionale della follia, per es., è in parte responsabile delle travagliate vicende in campo psichiatrico della l. 13 maggio 1978 n. 180, al conflitto, ancora irrisolto, circa il modo di soccorrere i pazienti e le loro famiglie, per cui di fatto non si è ancora trovato un equilibrio non ideologico tra rispettare e proteggere.

Il modo sano, onesto, socialmente utile di far fronte alle paure collettive, di contenere l'angoscia dei cittadini si basa evidentemente su provvedimenti realistici nei confronti dei pericoli; ma è anche preciso compito delle istituzioni informare senza nascondere. Capire, conoscere le cause e le potenziali conseguenze riduce l'ansia

dilagante a fronte dell'ignoto, favorisce l'organizzazione psicologica di difese mature. Ma ciò presuppone un patto di fiducia tra cittadini e Stato. Gli esempi negativi sono purtroppo numerosi, ieri come oggi: le 'esercitazioni antiatomiche' in tempi di guerra fredda (denominate poi con satira feroce atomic caffè), quando si facevano accoccolare gli scolari sotto i banchi con le mani sopra la testa; l'attuale diffusa mancata informazione delle popolazioni a fronte della minaccia di terremoti, maremoti, alluvioni, valanghe e slavine.

Il modello positivo dovrebbe essere invece quello psicologico della rêverie della quale parla lo psicoanalista Wilfrid R. Bion (1897-1979) a proposito dell'atteggiamento di un buon genitore nei confronti di un bambino spaventato: prestare ascolto alle sue angosce senza forma e senza nome, accoglierle, elaborarle, e poi restituirle al piccolo in una dimensione tollerabile; senza negarle, ma costituendole di senso affettivo e cognitivo, favorendo così lo sviluppo di funzioni di controllo sugli impulsi e di fiducia nelle proprie risorse. Ma evidentemente non possiamo dare agli altri ciò che non abbiamo; e se non abbiamo sicurezze, serenità e certezze, non siamo in grado di trasmetterle né ai cittadini, né alle nuove generazioni.

In conclusione, le paure dei nostri giorni, che si esprimono nelle svariate forme individuali e collettive come angoscia dei ladri o dei pedofili, del terrorismo o della guerra totale, hanno il loro comun denominatore nella paura della violenza propria e altrui, che ha la sua radice oscura nell'angoscia trascendente e impersonale dell'aggressività umana. Si approda così inesorabilmente alla riflessione esistenziale sulla distruttività; un dilemma intorno al quale, fin dall'epoca di Freud, gli psicoanalisti hanno messo in campo i loro strumenti concettuali, tentando di trasformare un'angoscia privata in un interrogativo scientifico. Continuiamo a chiederci se sia possibile distinguere un'aggressività sana al servizio della vita, in contrapposizione a una aggressività malefica che alla vita si oppone; se esista in noi un'innata 'pulsione di morte', se la distruttività ne sia l'espressione fatale oppure sia la conseguenza – limitabile e contingente – delle frustrazioni della vita. Che sia un crimine o un destino, possiamo comunque concordare sul dato concreto che l'aggressività più pericolosa – per gli individui e per i popoli – è quella inconscia, con la quale non si può venire a patti.

Il ruolo della psicoanalisi nella società – se vogliamo incontrare dei veri interlocutori, e non solamente dei futuri pazienti – dovrebbe essere quello di facilitare il pensiero altrui senza sopraffare, senza allarmare, o peggio rassicurare superficialmente. Ma soprattutto si possono utilizzare gli strumenti psicoanalitici per tentare di rompere il rinforzo reciproco che sempre si stabilisce tra odio e paura.

Psicosomatica

Enciclopedia del Novecento (1980)

di Günter Ammon

SOMMARIO: 1. Introduzione. 2. La malattia psicosomatica e la struttura dell'Io. 3. Il trattamento. 4. Ricapitolazione.

1. Introduzione

L'importanza della medicina psicosomatica può essere illustrata dal fatto che il 50-80% dei pazienti che ricorrono a un medico generico soffrono di disturbi psicosomatici. Tra i pazienti ospedalizzati per disturbi di competenza internistica si può calcolare vi sia il 30-40% di malati psicosomatici. I dati sulla percentuale di affezioni psicosomatiche in altri campi della medicina presentano forti variazioni (in dermatologia sino all'80%). Tendenzialmente, la frequenza delle affezioni psicosomatiche è in continua ascesa. È questo un problema tanto più rilevante in quanto la maggior parte dei medici, data la formazione ricevuta all'università, non ha in genere la preparazione necessaria per trattare in modo efficace tali pazienti. Su circa 2.000 pazienti dei gabinetti psicanalitici e psichiatrici degli istituti di ricerca e di insegnamento della Deutsche Akademie für Psychoanalyse si sono riscontrati circa 1.600 casi di disturbi psicosomatici di varia gravità.

Appunto lo stretto intreccio di sintomatologia somatica e sintomatologia psichica mostra chiaramente quanto sia necessaria una medicina psicosomatica come scienza medica interdisciplinare. D'altra parte, del concetto di 'psicosomatica' si dovrebbe fare anche un uso globale, se non si vuole che si riproduca una concezione fondamentalmente dualistica.

I concetti di psicosomatica e di medicina psicosomatica presentano oggi una molteplicità di significati e caratterizzano una molteplicità di indirizzi tutt'altro che unitari, in cui a malapena si può rintracciare una certa comunanza di impostazione, di campo di ricerca e di modo di lavorare. Alla psicosomatica psicanalitica si affianca la psicofisiologia sperimentale, quale si è sviluppata sulla base delle fondamentali ricerche di Bernard (v., 1855), Pavlov (v., 1951-1952), Cannon (v., 1920 e 1932) e altri, nonché, e soprattutto, nel quadro della cosiddetta ricerca sullo stress (v. Seyle, 1950). Bisogna inoltre menzionare la ricerca epidemiologica della medicina sociale (Pflanz, 1956, 1962, 1972), che, nel senso di una Soziomatik (v. Schaefer, 1966), si sforza di indagare le condizioni sociali dell'insorgenza e del decorso della malattia.

Anche all'interno della psicosomatica psicanalitica, infine, esistono modelli diversi di spiegazione dell'evento morboso.

Se la guardiamo nella prospettiva della storia della scienza, la psicosomatica è sin dall'inizio un problema centrale della psicanalisi, dato che la psicanalisi è nata proprio dal confronto con un problema psicosomatico: quello della sintomatologia organica dell'isteria e della nevrosi d'angoscia. Sin dai suoi primi scritti sull'isteria e sulla nevrosi d'angoscia Freud (1894) elaborò le due concezioni psicosomatiche che ancor oggi definiscono nel contempo la base e il problema della ricerca psicosomatica. Freud distinse in linea di principio due diverse cause dei sintomi somatici psichicamente condizionati: da un lato il sintomo "come conversione nel somatico di un conflitto nevrotico"; dall'altro, il sintomo come "equivalente dell'attacco d'angoscia". I veri e propri sintomi somatici psichicamente condizionati erano per lui i sintomi di conversione, tenendo presente che con "conversione" egli designava un salto dallo psichico nel somatico (Freud, *Die Abweher-Neuropsychosen*, 1894). Come in tutte le psiconevrosi, secondo l'opinione di Freud, attraverso il sintomo (nel caso della conversione, il sintomo somatico) l'Io si libera da un conflitto con spinte pulsionali inconse. Se il conflitto inconscio viene portato alla luce, si ha la guarigione. Una causa completamente diversa dell'insorgenza di sintomi somatici è ravvisata da Freud nel caso del sintomo come equivalente dell'attacco d'angoscia nella cosiddetta nevrosi d'angoscia. È dato che la sintomatologia somatica e la soggiacente angoscia del paziente non gli sembravano affrontabili per via psicanalitica, ne trasse la conclusione che in questo caso non si trattava di una rappresentazione rimossa o di un conflitto intrapsichico. Il sintomo organico era da lui inteso come una deviazione dell'eccitazione somatica, alla quale viene, per così dire, impedito l'accesso allo psichico. Secondo Freud, il problema della nevrosi d'angoscia e della nevrosi attuale non offre alla psicanalisi alcun punto d'attacco, e deve quindi essere lasciato alla ricerca medicobiologica.

Si delinea a questo proposito sin dall'inizio una spaccatura della medicina psicosomatica in due correnti, l'una orientata in senso psicanalitico e l'altra in senso organicistico. Freud assegna i sintomi somatici di conversione, e quindi le psiconevrosi, al campo di competenza della psicanalisi, e i sintomi somatici come equivalenti dell'attacco d'angoscia, quali si presentano nella nevrosi d'angoscia, a quello della medicina biologico-organica.

È dunque possibile ripartire gli ulteriori tentativi di indagare e trattare psicanaliticamente le affezioni psicosomatiche in due indirizzi principali: da un lato, si ha il tentativo di estendere il modello della conversione a quei 'processi somatici abnormi' ai quali, secondo Freud, non poteva essere attribuito un significato psichico; dall'altra, ci si sforza di affrontare il problema della sintomatologia psicosomatica attraverso un'estensione e una differenziazione del concetto freudiano di 'equivalente', rendendo cioè intelligibili anche quelle affezioni psicosomatiche cui non soggiace conflittualità nevrotica.

La prima descrizione sistematica della psicodinamica, e del trattamento psicanalitico, di un'affezione psicosomatica in senso stretto è dovuta a P. Federn (Über ein Beispiel von Libidoverschiebung während der Kur, 1913), con l'interpretazione dell'asma bronchiale di un paziente come effetto della fissazione della libido al tratto respiratorio.

Già nel 1917 G. Groddeck, assumendo un'erogicità primaria di tutti gli organi, rifiutava di restringere l'ambito delle affezioni psicosomatiche al modello della conversione. Egli ravvisava nelle pulsioni dell'Es i fattori responsabili del fatto che i processi psichici, all'incirca come nel sogno, trovano un'espressione simbolica corporea (v. Groddeck, 1917). In modo analogo F. Deutsch (v., 1924 e 1953) qualificava la "corrente di conversione nel somatico", presente anche nei soggetti sani, come un linguaggio corporeo che serve "unicamente alla difesa dalla libido ingorgata relativa a frammenti di affetti che, sommandosi, sovraccaricano l'inconscio". Egli intendeva ogni sintomo somatico come espressione di questa incessante corrente di conversione, cioè espressione di conflitti nevrotici esattamente come nel caso degli altri disturbi psichici. Questo concetto di linguaggio corporeo, considerato come un processo incessantemente operante, è a parer mio il contributo fondamentale di Deutsch.

Il vero fondatore della moderna medicina psicosomatica è F. Alexander (v., 1934 e 1950; v. Alexander e altri, 1968). Mentre Deutsch ha elaborato il suo concetto di linguaggio corporeo nel solco del superamento del modello della conversione, Alexander ha battuto un'altra strada. Egli insiste sulla distinzione sistematica tra fenomeni di conversione e disturbi organici delle affezioni psicosomatiche, da lui interpretati come "nevrosi vegetative". La distinzione tra i due gruppi di sintomi viene definita sia in termini psicodinamici sia in termini psicologici. Alexander (v., 1950) interpreta la nevrosi vegetativa come la "reazione fisiologica degli organi vegetativi a stati emotivi che si ripresentano periodicamente". Il processo organico in se stesso non ha perciò "alcun significato psicologico e non può essere interpretato né espresso con concetti psicologici, diversamente dai sintomi isterici di conversione, che recano in se stessi un determinato contenuto rappresentativo" (1954). Secondo me, il contributo fondamentale di Alexander consiste nell'aver interpretato psicodinamicamente gli stati emotivi soggiacenti all'evento morboso organico e nell'aver quindi elaborato il concetto di una "logica delle emozioni" (1934 e 1935), che si è dimostrato straordinariamente fecondo per la comprensione e lo studio del linguaggio corporeo. Nel quadro di queste riflessioni, Alexander - ricorrendo spesso all'uso di una terminologia biologica - ha sottoposto la teoria classica delle nevrosi a una vasta revisione. Il suo obiettivo era quello di conseguire una sistematica 'funzionalizzazione' psicodinamica dell'apparato teorico della teoria classica delle nevrosi.

Un importante contributo all'elaborazione di una psicosomatica psicanalitica è quello dovuto a V. von Weizsäcker (v., 1933 e 1954). Ciò che importa a Weizsäcker è "non concepire lo psichico come un mero fattore aggiuntivo dell'evento morboso"; si tratta invece "sulla base della psicanalisi, di imparare a intendere

anche l'evento morboso organico come un'alterazione di senso e di connessione significativa". Scopo dei suoi sforzi, come ebbe a dichiarare in seguito, era quello di abbozzare "un quadro globale genetico-dinamico dell'uomo [...] nel quale fossero bensì contenuti i concetti informatori della psicanalisi, ma che andasse in misura decisiva oltre la psicologia, abbracciando la costellazione ambiente-organismo". Punto di partenza della sua elaborazione teorica è quindi la relazione tra medico e paziente, corrispondente al 'laboratorio interpersonale' elaborato da Freud. In ciò non soltanto egli era interessato ai contenuti psichici delle comunicazioni del paziente, ma tentava "di creare con il malato una situazione, in cui le sue stesse funzioni organiche potessero cominciare a parlare e quindi venire ascoltate". Le comunicazioni del paziente erano intese da Weizsäcker "come l'espressione di una valida percezione dei propri processi vitali; esse devono essere prese sul serio e interpretate come testimonianza della propria autopercezione". Weizsäcker era così il primo a includere nelle sue argomentazioni la dinamica interumana, per quanto, in verità, limitatamente al piano teorico. Nell'insieme, gli stava a cuore una certa impostazione teorica piuttosto che la preoccupazione terapeutica: l'accento batte sulla comprensione più che sul trattamento.

Il problema del contenuto del sintomo viene sostituito dal problema del tipo e delle modalità del comportamento sintomatico e da quello del suo posto nell'insieme dei vissuti e dei comportamenti del paziente. La questione delle parti dell'Io attive nella genesi del sintomo e del comportamento sintomatico è essenziale nella ricerca degli psicologi dell'Io.

In questo senso P. F. Schilder (v., 1925) si occupa dei disturbi dell'immagine corporea inconscia. Lo schema corporeo viene studiato come formazione biologica, come formazione psicologica e come formazione sociale. Esso appare come un tutto dinamico, composto di impressioni tattili, visive, termiche e dolorose, nonché di sensazioni trasmesse dal vestibolo, dalla muscolatura e dagli organi interni. Sussistono inoltre intime relazioni con i bisogni pulsionali e con le esperienze interpersonali in campo sociale. Di conseguenza, i disturbi dell'immagine corporea si rispecchiano nei disturbi delle relazioni dell'individuo con se stesso, con gli altri e con l'ambiente in generale. In base a questa concezione, Schilder concepisce in ultima analisi le relazioni sociali come relazioni tra immagini corporee.

La connessione tra sviluppo psichico, i suoi disturbi e la vita corporea è stata studiata da M. Schur (v., 1950, 1953 e 1955). Sulla base delle ricerche di psicologi dell'Io come Hartmann, Kris e Loewenstein, Rapaport e anche A. Freud, Schur perviene alla seguente ipotesi: il comportamento desomatizzato è il risultato di un predominio del processo secondario, reso possibile dalla neutralizzazione dell'energia pulsionale. Le azioni dell'Io risultano desomatizzate quando l'Io lavora con energia pulsionale desomatizzata, ed è quindi possibile rispondere all'angoscia ed elaborarla sul piano del processo secondario. In questo caso, secondo Schur, non ci sono manifestazioni somatiche di scarica dell'eccitazione. La risomatizzazione delle modalità di reazione è concepita da Schur come indizio di una regressione dell'Io, nel cui corso, in luogo del processo secondario,

emerge il processo primario e anche l'energia pulsionale neutralizzata viene sostituita da energia pulsionale non neutralizzata o regressivamente 'deneutralizzata'. Secondo Schur, i sintomi psicosomatici insorgono allorché, data una situazione di forte aggravio dell'equilibrio psicodinamico in cui si verifichi un'improvvisa irruzione di materiale inconscio sotto forma di desideri pulsionali preedipici o edipici, si produce un'incrinatura nella formazione delle difese dell'Io. Schur sottolinea espressamente che questi processi difensivi sono da concepire come i precursori della difesa vera e propria, la quale è allora "non soltanto investimento, ma anche inizialmente azione e scarica".

In definitiva, anche per Schur nel sintomo psicosomatico si rivela un destino delle pulsioni; il suo approccio, improntato alla psicologia dell'Io, si limita a indagare i disturbi delle funzioni dell'Io, disturbi in seguito ai quali le spinte pulsionali infrangono la difesa dell'Io provocandone la risomatizzazione regressiva.

Alla comprensione delle reciproche connessioni tra vita corporea e vissuti dell'Io hanno dato un notevole contributo le ricerche di P. Federn (v., 1913, 1926 e 1952). Nei suoi lavori, improntati alla psicologia dell'Io, Federn si è soprattutto sforzato di raggiungere una comprensione degli 'stati dell'Io'.

Sempre nella stessa chiave, Federn (v., 1926) ha studiato l'investimento libidico dei confini dell'Io. Egli concepisce il sintomo somatico come il risultato, sulla base di un insufficiente investimento dei confini dell'Io e quindi di un conseguente sentimento patologico dell'Io, di un'elaborazione cronicamente egodistonica del dolore psichico.

A. Mitscherlich e C. de Boor (v., 1973) concepiscono la reazione psicosomatica come una rimozione secondaria nel soma. In un primo tempo, la sintomatologia sarebbe "classicamente nevrotica" e "vagamente disfunzionale", ma senza "correlati organici dimostrabili". Solo la "seconda fase della difesa dal conflitto" conduce a una "risomatizzazione", associata a una "regressione della rappresentazione del conflitto sulla sofferenza somatica". Questa seconda fase della rimozione è denominata da Mitscherlich (v., 1954) rimozione secondaria nel soma; essa si rende necessaria quando, a causa di una minaccia interna o esterna, le "classiche forme nevrotiche di difesa" non sono più in grado di fronteggiare gli impulsi minacciosi provenienti dall'Es.

De Boor (v., 1965) tenta di illustrare il concetto della difesa a due fasi con una delucidazione del rapporto tra difesa e conversione. Egli distingue i sintomi somatici della conversione isterica dalla sintomatologia organica facendo appello ai differenti contenuti pulsionali di cui sono espressione. Ad onta dell'ampliamento della teoria ortodossa, le riflessioni di de Boor e Mitscherlich corrispondono dunque al modello delle pulsioni e delle istanze, giacché mantengono la concezione ristretta della funzione dell'Io e interpretano la sintomatologia psicosomatica non come scissione dell'Io, bensì come rimozione a due fasi, nella quale è conservata l'integrità dell'Io e delle sue funzioni.

Per concludere questa breve rassegna, diremo che le teorie psicanalitiche oggi diffuse della medicina psicosomatica seguono modelli eclettici, basati comunque sulle impostazioni sopra delineate.

Degne di menzione sono inoltre le recenti ricerche, condotte in genere su materiali clinici, che forniscono una descrizione dei rapporti tra reazioni psicosomatiche, depressive e psicotiche.

Così W. Dorfman (v., 1974) sottolinea che la depressione è spesso associata ad affezioni psicosomatiche: essa può essere tanto il fattore scatenante di un'affezione psicosomatica quanto il suo risultato.

L. R. Loeb e collaboratori (v., 1973) riferiscono il caso di una coppia di gemelli, dei quali l'uno ha sviluppato un'affezione psichica e l'altro un'affezione somatica. La ragione di questa differenza è ravvisata nelle diverse esperienze compiute nell'interazione con l'ambiente.

H. Meng (v., 1934) sottolinea la somiglianza delle affezioni psicosomatiche con le psicosi. Egli ha formulato il concetto di 'psicosi d'organo' per quei disturbi organici psicogeni, che risalgono a un disturbo primario dell'Io corporeo.

E. F. Kerman (v., 1946) ha descritto l'insorgere, in un soggetto sofferente di asma bronchiale, di reazioni psicotiche dopo l'eliminazione dei sintomi con mezzi farmacologici e la successiva ricomparsa dell'asma dopo un trattamento psichiatrico.

Da questa rassegna emerge come una nuova intelligenza delle affezioni psicotiche richieda: a) una comprensione globale della malattia, cioè una comprensione del malato anziché una spiegazione astratta della malattia; b) una comprensione dinamica della malattia, che, in luogo di una dinamica pulsionale intesa biologicamente, abbracci l'ambiente sociale e la dinamica di gruppo del malato; c) una comprensione strutturale della malattia, che spieghi in modo adeguato la variabilità dei sintomi; d) un metodo terapeutico, che contrapponga alla pluridimensionalità delle affezioni psicosomatiche una gamma altrettanto pluridimensionale di trattamenti.

2. La malattia psicosomatica e la struttura dell'Io

L'intento della scuola di Berlino è di porre in relazione la ricerca nosologica con l'esplorazione delle concezioni terapeutiche, sulla base di un modello integrato della personalità che consideri l'uomo come un essere determinato dalla dinamica di gruppo, dalla struttura dell'Io e dalla psicogenesi (intendendo, con quest'ultimo termine, la dimensione biografica, la peculiare conformazione della personalità). Il condizionamento dell'uomo da parte della dinamica di gruppo si riferisce al gruppo familiare, in cui l'uomo cresce e riceve una funzione nella dinamica di gruppo. Tale dinamica di gruppo viene interiorizzata nella struttura dell'Io, la quale costituisce un intreccio pluridimensionale di funzioni dell'Io, che rappresentano a loro volta il potenziale d'azione dell'Io. Le funzioni dell'Io sono un'espressione misurabile della struttura dell'Io. Lo sviluppo della personalità e dell'Io è da me inteso come un confronto incessante per l'identità nel

quadro di un gruppo. In questo processo interumano, nel quale l'esperienza compiuta entro la dinamica del gruppo primario lascia la sua impronta inconscia, le singole strutture e funzioni dell'Io si differenziano in quanto fattori regolativi dinamici - e misurabili - del comportamento. Le singole funzioni dell'Io, di peso e rilievo differente, formano insieme una trama che, nella sua globalità e nella sua configurazione quale si presenta nell'hic et nunc di ciascuna personalità, costituisce l'identità dell'individuo. Deficit strutturali si manifestano anche in deficit delle funzioni dell'Io.

Vorrei ora introdurre la nozione di 'buco nell'Io'. Nella struttura dell'Io è centrale l'identità dell'Io, che dal canto suo sta in connessione strutturale e funzionale con le altre funzioni dell'Io. Uno sviluppo deficitario della struttura dell'Io dà luogo al 'buco nell'Io', il quale viene, per così dire, colmato da pseudoidentità della specie più diversa, come per esempio dall'identità apparente del malato psicosomatico.

È possibile classificare la molteplicità dei disturbi psicosomatici secondo l'entità del soggiacente deficit dell'Io. Dal grado di gravità del disturbo somatico si può ricavare la seguente suddivisione fenomenologica: 1) reazione psicosomatica leggera; 2) sintomo nevrotico di conversione; 3) disturbo psicosomatico funzionale; 4) affezione psicosomatica grave.

Le reazioni psicosomatiche leggere, come infezioni, infreddature passeggero ecc. - quali si presentano anche in soggetti non psicosomatici - e reazioni a sentimenti di rabbia, angoscia e lutto - quali compaiono per esempio in situazioni di separazione - non indicano necessariamente un deficit nella struttura dell'Io.

I sintomi somatici nel senso di un'autentica sintomatologia di conversione sono relativamente rari. A rigore, compaiono soltanto nella percezione sensoriale e nella motilità volontaria e rientrano nel quadro classico dell'isteria.

Il gruppo di gran lunga più vasto è quello dei malati psicosomatici che soffrono dei cosiddetti disturbi psicosomatici funzionali: questi disturbi, che non presentano alterazioni morfologicamente osservabili, sono caratterizzati da frequente variabilità ed è spesso possibile riconoscervi con chiarezza una connessione psicofisica. Rientrano in questa categoria le cosiddette distonie neurovegetative, i disturbi della circolazione, i disturbi cardiaci neurovegetativi, ecc. Disturbi psicosomatici del genere si riscontrano in quasi tutti i pazienti borderline con deficit dell'Io.

All'altro estremo dello spettro stanno le malattie psicosomatiche gravi, che presentano di norma mutamenti organici morfologicamente osservabili, come nel caso dell'ulcera gastrica, della colite ulcerosa, dell'asma bronchiale, dei calcoli biliari, dei calcoli renali, delle malattie allergiche e di varie affezioni dermatologiche. Parlando della comprensione strutturale delle affezioni e reazioni psicosomatiche, mi limiterò nel seguito alle malattie psicosomatiche gravi. Dal modello di personalità basato sulla struttura dell'Io e sulla dinamica di gruppo derivano anzitutto i seguenti elementi essenziali.

1. L'affezione psicosomatica deriva da un deficit nella struttura dell'Io.

2. Il nocciolo dell'affezione psicosomatica è costituito da un disturbo dell'identità; in altre parole, l'identità apparente serve a difendere il malato psicosomatico contro sentimenti di vuoto profondo, di angoscia esistenziale di separazione e di abbandono, nonché contro l'aggressività distruttiva.
3. La struttura dell'Io del malato psicosomatico e i disturbi delle funzioni dell'Io sono caratterizzati dai tratti seguenti: a) aggressività carente; l'aggressività non viene cioè esternata, bensì rivolta contro la propria persona, quindi contro il proprio corpo; b) narcisismo patologico, associato a una mancanza di 'energia sociale'; c) delimitazione dell'Io eccessivamente rigida (verso l'esterno come verso l'interno) nei confronti dei sentimenti, divenuti inconsci, di rabbia e di abbandono; d) un'affettività disturbata e un disturbo nei contatti umani, conseguenze di un deficit centrale, che si esprimono nell'insufficiente interesse per gli altri; e) forme specifiche di disturbi psicosomatici del pensiero.
4. Il deficit nella struttura dell'Io, che caratterizza il malato psicosomatico, presenta rassomiglianze con la psicosi, come può vedersi nell'esperienza clinica, nei casi - spesso descritti dalla letteratura - di scambio tra sindrome psicosomatica e psicosi.
5. Strutturalmente e psicogeneticamente l'affezione psicosomatica è in stretta relazione con la depressione. In ogni malato psicosomatico si riscontra la depressione, come in ogni depresso sono ravvisabili sintomi psicosomatici.
6. La psicogenesi delle affezioni psicosomatiche dev'essere situata nella primissima infanzia, nel primo anno di vita.
7. La genesi dei disturbi psicosomatici va ricercata nella relazione con una madre che solo in caso di malattia fisica dà al bambino tempo e cure amorevoli. Tutta la sua attenzione va al corpo malato del bambino, che è l'unico oggetto dei loro rapporti. La madre stessa abbisogna, per il proprio equilibrio psichico, della malattia del bambino: assistendo il bambino, può infatti avvertire se stessa come esistente.
8. Le affezioni psicosomatiche sono 'dipendenti dal gruppo'. È possibile ravvisare strutture familiari tipiche associate alle affezioni psicosomatiche.
9. La conferma narcisistica, di cui il bambino ha bisogno, si concentra sul corpo malato. Dato che le cure materne sono limitate al corpo malato, si produce un deficit narcisistico, che viene colmato dal sintomo psicosomatico. L'affezione psicosomatica è dunque contrassegnata da un narcisismo patologico, associato a una mancanza di energia sociale.
10. L'affezione psicosomatica si differenzia radicalmente dalla nevrosi, i cui sintomi di conversione - reversibili - non costituiscono sindromi psicosomatiche in senso proprio. Ciò ha conseguenze non soltanto sul piano teorico, ma anche su quello del trattamento.
11. Dal punto di vista della teoria sociale, l'affezione psicosomatica è il risultato di una società ostile all'identità.

Nella costruzione teorica della nostra scuola, alla base dell'affezione psicosomatica sta un intreccio degli aspetti psichici e degli aspetti biologici della personalità, oltre a influssi dell'ambiente sociale. Le affezioni psicosomatiche - dalla conversione nevrotica ai disturbi funzionali, alle malattie psicosomatiche gravi - sono da intendersi come il correlato di una gamma analoga di deficit dell'Io. La gravità dell'affezione organica corrisponde all'intensità del disturbo psichico, cioè al deficit nella struttura dell'Io.

Nella nostra impostazione in chiave di struttura dell'Io e di dinamica di gruppo, una specificità d'organo ha un'importanza subordinata. Al contrario, la gravità della manifestazione somatica è correlata con il tipo di deficit nella struttura dell'Io.

Nelle affezioni psicosomatiche, la scelta d'organo è spiegabile con identificazioni con membri malati del gruppo primario. Il paziente, in quanto portatore di sintomi, svolge un ruolo all'interno dell'omeostasi del gruppo familiare. All'interno della famiglia si riscontrano non solo sintomi diversi nel corso dello sviluppo della personalità, ma anche reazioni di varia natura, come sintomi psicosomatici, depressione, dipendenza da droga e ossessione. Può accadere che un membro della famiglia appaia affatto sano, mentre il membro più debole viene in certo modo spinto nella malattia e serve da portatore della malattia. Osservazioni analoghe sulla dinamica familiare sono state compiute negli studi sulla schizofrenia (v. Bateson e altri, 1956) e nella ricerca sul cancro (v. Bahnson, 1980).

La natura del sintomo psicosomatico come espressione di un disturbo dell'identità diventa chiara quando si osservi la rigida difesa del malato psicosomatico, difesa che serve a salvaguardare la sua pseudoidentità. Il sintomo psicosomatico dev'essere inteso come una sorta di ponte comunicativo; il malato psicosomatico, cioè, può stabilire contatti solo a condizione di esser malato. Con una dinamica siffatta il paziente si difende dalla solitudine, che gli riesce di norma intollerabile. In questa tensione tra vicinanza umana, sentita come una necessità vitale, e contemporanea difesa dal contatto si sviluppa l'ambivalenza profondamente radicata del malato psicosomatico, la quale, inoltre, rende spesso difficile l'instaurazione di un'alleanza terapeutica.

'Punto archimedeo' dell'evento morboso nel paziente con reazioni psicosomatiche è il disturbo delle funzioni egoiche centrali dell'Io corporeo, l'aggressività e il narcisismo. A proposito della distruttività, essa dev'essere concepita come una ferita della personalità (sempre secondo il modello della struttura dell'Io), che si manifesta in disturbi di vasta portata nella zona centrale della personalità, specialmente nell'identità e nei processi di delimitazione sia verso l'interno che verso l'esterno.

Il disturbo della funzione egoica centrale dell'aggressività costituisce l'elemento di collegamento tra sintomatologia psicosomatica, depressione e reazione psicotica. Mentre il paziente con reazioni psicosomatiche rivolge la sua distruttività contro il proprio corpo, nel depresso la distruttività si rivolge contro la sfera psichica. Nella psicosi la distruttività dissolve i confini dell'Io, col risultato che - andato interamente

perduto il senso di realtà - il paziente, per difendersi da una profonda angoscia di annientamento, cioè dalla completa dissoluzione dell'Io, 'agisce' al di fuori, nell'ambiente, ogni sentimento di rabbia e di angoscia. A un trattamento che si concentri sui sintomi, o a un'eliminazione dei sintomi per via farmacologica, il paziente psicosomatico può rispondere o con una reazione depressiva, se la distruttività viene rivolta contro la dimensione psichica dell'Io, o con una reazione psicotica, se la distruttività dissolve i confini dell'Io. A un siffatto quadro clinico vorrei dare il nome di 'psicosi dell'Io corporeo nel quadro della struttura dell'Io' (Ich-strukturelle Körper-Ich-Psychose).

La formazione della struttura dell'Io nell'individuo può essere indagata mediante il test di struttura dell'Io, elaborato da me e dai miei collaboratori. Dal test si può ricavare un quadro differenziato della personalità globale del paziente (v. Ammon, 1976).

Dallo studio della funzione egoica dell'aggressività risulta che: 1) il gruppo di controllo si differenzia in misura significativa dal gruppo dei malati psicosomatici, dei depressi, dei pazienti con reazioni psicotiche e dei pazienti borderline, quanto al grado - elevato - di aggressività costruttiva; 2) il gruppo dei malati psicosomatici, dei depressi e dei pazienti con reazioni psicotiche si differenzia in misura significativa dal gruppo di controllo per valori superiori nella scala del deficit di aggressività, e dal gruppo dei pazienti borderline per valori inferiori nella scala dell'aggressività distruttiva. Questi risultati corrispondono alla teoria dell'aggressività che io vado sostenendo dal 1968.

Nell'indagine della funzione egoica di delimitazione dell'Io diviene chiaro anche il nesso di interdipendenza tra reazione psicosomatica e depressione. Dallo studio di questa funzione dell'Io risulta che: 1) il gruppo dei pazienti psicosomatici e quello dei pazienti depressi non si distinguono quanto all'entità del disturbo nella delimitazione dell'Io sia verso l'interno che verso l'esterno; 2) i pazienti psicosomatici e i pazienti depressi presentano valori significativamente più alti del gruppo di controllo nelle scale della delimitazione dell'Io compensata e della delimitazione dell'Io deficitaria.

Lo scambio tra sintomatologia psicosomatica, depressione e reazione psicotica, descritto clinicamente dagli autori sopra menzionati, trova quindi nella mia concezione una spiegazione in termini di struttura dell'Io. Desidero sottolineare che il principio in gioco nella comprensione di questi sintomi non è quello psicomotivo; è invece in gioco la concezione della struttura dell'Io come nesso di interdipendenza e come risultato delle relazioni e della dinamica di gruppo precoci, nonché della regolazione dell'Io e del progetto d'identità quali operano nella dinamica di gruppo attuale.

Deficit gravi nell'area centrale delle funzioni dell'Io costituiscono la radice comune delle malattie arcaiche dell'Io, come le affezioni psicosomatiche, la depressione e la reazione psicotica. La modalità con cui il deficit si presenta - con un'identità apparente nel malato psicosomatico, con la 'simulazione della morte' nel depresso

o con la difesa da profondissime angosce di annientamento nella reazione psicotica - è spiegabile in termini di struttura dell'Io ed è strettamente connessa con le primissime esperienze del paziente.

L'impostazione in termini di struttura dell'Io spiega come un paziente con reazioni psicosomatiche, al quale un intervento medico abbia sottratto la sua identità apparente in quanto malato psicosomatico, non possa reagire altrimenti che in chiave gravemente depressiva o psicotica. Si spiega così anche il fenomeno, frequentemente osservato, per il quale il paziente con reazioni psicotiche, per tutto il periodo in cui è affetto da una malattia somatica, è immune da reazioni psicotiche.

I deficit nell'area centrale della struttura dell'Io possono sino a un certo grado essere bilanciati da una sovracompensazione delle funzioni secondarie dell'Io, il cui compito, in generale, è quello di orientare l'uomo nella compagine sociale e in rapporto alle esigenze poste dalla realtà. Quando siano nettamente delineate ovvero sovracompensate, le funzioni secondarie dell'Io possono coprire i deficit centrali e configurare il quadro di una personalità 'come se'. Questa dinamica è attiva in molti malati psicosomatici sino a che, come accade nelle affezioni psicosomatiche più gravi, anche le funzioni secondarie non siano adoperate per fronteggiare la malattia psicosomatica.

È tuttavia possibile, nel caso dei malati psicosomatici, ravvisare deficit specifici anche nel campo della struttura secondaria dell'Io. Bisogna a questo proposito prendere in considerazione, essenzialmente, determinate forme di disturbi del pensiero, come anche il significato, in termini di struttura dell'Io, della rimozione, degli affetti e dei meccanismi di difesa dell'Io. La conformazione di queste funzioni secondarie dell'Io è in rapporto con il deficit nella struttura centrale dell'Io, deficit di cui è in parte una conseguenza. Mentre nella reazione psicotica l'angoscia domina la coscienza, il pensiero concretistico del malato psicosomatico ha il senso di una difesa dal sentimento e dall'angoscia e serve a evitare un confronto per l'identità. Nella sintomatologia psicosomatica si presenta di norma un iperadattamento all'ambiente esterno: nel suo più profondo significato il sintomo psicosomatico è un sintomo di sottomissione. Il paziente con reazioni psicotiche pensa in modo concretisticamente simbolico, mentre il malato psicosomatico pensa soltanto concretisticamente. Pertanto il paziente con reazioni psicotiche si distingue da quello con reazioni psicosomatiche quanto alla funzione egoica della delimitazione dell'Io. Mentre lo psicosomatico è caratterizzato da una netta delimitazione nei confronti del proprio inconscio (a questo serve appunto il suo sintomo), lo psicotico riversa le sue idee deliranti e il suo mondo rappresentativo nell'ambiente, che viene per così dire inondato di processi inconsci. Comune a entrambi è l'inibizione dell'iniziativa: manca l'iniziativa per un confronto costruttivo con l'ambiente, il che è da addebitarsi al fatto che, durante l'adolescenza, non furono mai offerte all'Io possibilità di imitazione o di identificazione.

Nell'insieme, i disturbi psicosomatici del pensiero sono caratterizzati da: 1) concretismo; 2) cancellazione della dimensione emotiva dei processi di pensiero; 3) restringimento del pensiero, nel senso di un

iperadattamento all'ambiente; 4) preoccupazione per il corpo e la sua malattia; 5) assunzione delle funzioni del pensiero da parte dell'io corporeo; 6) instaurazione di relazioni oggettuali per il tramite del sintomo somatico e tendenza alla fissazione del pensiero sul sintomo; 7) liberazione, in notevole misura, dai sensi di colpa attraverso la sintomatologia somatica (diversamente da quanto accade nei pazienti con reazioni depressive); 8) incapacità di esprimere bisogni; 9) difficoltà a verbalizzare, in connessione con disturbi nella funzione egoica degli affetti.

La differenza tra disturbi del pensiero di natura psicosomatica o frutto di psicosi dell'io corporeo da un lato e, dall'altro, disturbi del pensiero schizofrenici o psicotici in generale sta nel tipo di cattiva regolazione della delimitazione dell'io nei confronti del sistema somatico e di quello psichico.

A differenza dei disturbi del pensiero, spesso descritti, nei soggetti con reazioni schizofreniche, i disturbi del pensiero dei malati psicosomatici sono rimasti in larga misura ignorati. Il restringimento e il carattere non integrato della personalità globale del paziente con reazioni psicosomatiche si rivelano nei sintomi tipici seguenti: dissociazione del pensiero dell'io, incapacità di pensiero astratto, pensiero concretistico. Il pensiero simbolico del malato psicosomatico si esplica sulla superficie corporea, dove la malattia diventa simbolo. Il processo di pensiero termina con la formazione di sintomi, che funzionano nel contempo da surrogato d'identità e da portatori d'angoscia. Viene così a mancare l'angoscia come fattore di stimolo per l'ulteriore sviluppo complessivo della personalità e quindi questo sviluppo si blocca.

Vorrei qui richiamare ancora una volta l'attenzione sui disturbi linguistici del paziente con reazioni psicosomatiche, quali si manifestano tipicamente nella difficoltà a verbalizzare. Vorrei inoltre, in questo contesto, rinviare alle ricerche di Overbeck e Brähler (v., 1974), che hanno dimostrato empiricamente l'aumento dei periodi di silenzio e l'allungamento del tempo di reazione nei pazienti psicosomatici rispetto ai pazienti affetti dalle cosiddette nevrosi caratteriali.

La mia concezione dell'energia psichica è strettamente collegata al modello della struttura dell'io. Alla concezione freudiana dell'energia psichica, interpretata in termini fisici e biologici, vorrei contrapporre il principio dell'energia sociale. L'energia sociale nasce dall'apporto narcisistico assicurato dalla madre e dal gruppo primario; ciò implica che il bambino sia preso sul serio e venga accettato in tutti i suoi bisogni e nei sentimenti che li accompagnano. Se la conferma che il bambino riceve riguarda solo certi settori parziali, e l'aggressività costruttiva viene quindi respinta in altri e diversissimi settori, egli reagisce con l'aggressività distruttiva, associata a un deficit nell'apporto narcisistico e quindi a una carenza di energia sociale. Deficit dell'aggressività e del narcisismo hanno come conseguenza che l'uomo adulto non può più adoperare costruttivamente neppure un apporto narcisistico secondario (per esempio una conferma del suo comportamento in una data situazione); anzi, la conferma narcisistica nei rapporti con gli altri è avvertita come un'offesa al proprio narcisismo patologico e dev'essere quindi 'annullata', il che accade tipicamente in

tutti i disturbi narcisistici gravi. In questo senso, la malattia psicosomatica grave dev'essere intesa anche come un suicidio strisciante.

L'affezione psicosomatica ha le sue radici in un disturbo precoce della relazione madre-bambino nel primo anno di vita e dipende dal fatto che la madre è capace di dare al figlio cure e amore soltanto se sussiste una malattia somatica. Tipica della famiglia psicosomatogena è la mancanza di rapporti, cui si accompagna una scarsa capacità di confronto. Come dinamica di gruppo scatenante, si può pensare a un matrimonio morto, trasformato in una simbiosi pietrificata. In una dinamica del genere il bambino viene sfruttato narcisisticamente, gli viene addossata ogni responsabilità, deve dare tutto e tutto sopportare. La scelta della malattia psicosomatica, in questa situazione simbiotica, appare come una via d'uscita dalla simbiosi. La malattia si presenta per così dire come una 'terza persona', che rende possibile, dirigendo l'attenzione sul sintomo, una parziale rottura della simbiosi.

Nelle sue ricerche sulle dinamiche familiari Gisela Ammon (v., 1969, 1973 e 1979) ha potuto accertare, nel contesto di famiglie psicosomatogene, fasi preliminari di affezioni psicosomatiche in bambini dai due ai sei anni. Dalle sue ricerche risulta, tra l'altro che, se viene elaborata l'aggressività distruttiva dei genitori, gli indizi precoci di reazioni psicosomatiche nel bambino scompaiono. Mentre prima si cercava nei pazienti il 'tornaconto della malattia', oggi siamo sempre più convinti che il 'tornaconto della malattia' vada ricercato anche nel gruppo in cui il malato è immesso. Per l'adattamento a un gruppo morto il prezzo che il malato psicosomatico paga è il sacrificio della sua identità.

Un ripiegamento schizoide del paziente con reazioni psicosomatiche dev'essere considerato come un problema narcisistico. In tutti gli uomini l'identità dipende dalla conferma narcisistica; se questa viene negata dalla famiglia, ne consegue un divieto d'identità. Pertanto, dalla conferma narcisistica dipende non soltanto la riserva energetica dell'Io, ma anche la sua identità.

3. Il trattamento

Il profilo, in termini di struttura dell'Io, del malato psicosomatico mostra chiaramente quella che viene chiamata alexitimia e che costituisce una difficoltà per il trattamento. Manca il transfert nevrotico, il paziente non può associare liberamente nè analizzare i sogni o parlare dei suoi sentimenti: tutto ciò rende impossibile il lavoro terapeutico secondo i metodi usuali. Compare nondimeno un transfert, che vorrei chiamare 'transfert psicosomatico'. Oltre a una certa affinità con il transfert simbiotico, il transfert psicosomatico è caratterizzato dal fatto che il paziente offre al terapeuta il suo corpo malato e bisognoso di aiuto, eludendo per questa via il

rapporto diretto. Il sintomo somatico acquista così il significato di un 'terzo oggetto', per il cui tramite il paziente cerca di stabilire un rapporto.

Nella sua vita il paziente psicosomatico non ha appreso, di norma, a confrontarsi costruttivamente con gli altri in quanto personalità fornita di una propria identità; la sua dinamica psichica, infatti, è esclusivamente quella della persona malata e bisognosa di aiuto, il che costituisce un'ulteriore difficoltà sul piano dei metodi di trattamento.

Un altro problema è rappresentato dalla facilità con cui il paziente con reazioni psicosomatiche può scivolare nella reazione psicotica, il che impone una grande cautela al terapeuta. Ogni reazione psicotica è associata a una frattura dell'Io, a un danno dell'Io, e dovrebbe perciò essere evitata. Da tutte le difficoltà sopra menzionate deriva la necessità - sul piano del trattamento - di un 'lavoro sulla struttura dell'Io', nel quale è essenziale l'obiettivo di un recupero dello sviluppo dell'Io basato sull'alleanza terapeutica e sull'utilizzazione delle funzioni egoiche sane o solo parzialmente danneggiate. Per questa via si può colmare il deficit di apporto narcisistico e correggere le funzioni dell'Io patologicamente deformate.

Il trattamento richiede una totale dedizione da parte del terapeuta, che dev'essere disposto a sopportare ed elaborare l'aggressività distruttiva del paziente. In questo contesto può accadere che il terapeuta si addossi, per il paziente, certe funzioni dell'Io, come per esempio l'aggressività, che il paziente in un primo tempo non può vivere direttamente, aiutandolo così nella costruzione di nuove funzioni dell'Io.

Il 'lavoro sulla struttura dell'Io' è spesso una dura lotta contro la patologia, condotta tramite l'alleanza con tutte le parti integre dell'Io. Il sintomo psicosomatico dev'essere per così dire aggirato, onde evitare una reazione psicotica e mettere il paziente in grado di portare le sue difficoltà all'interno del rapporto terapeutico.

I fattori decisivi per l'insorgenza di un'affezione psicosomatica sono spesso rappresentati da una situazione di separazione, da aumentate richieste di rendimento e da situazioni di competitività. Nell'impossibilità, dovuta a un deficit nell'aggressività, di superare tali situazioni, il paziente si rifugia nel ruolo di persona malata e bisognosa di aiuto.

Questi pazienti non sono capaci di un confronto costruttivo con gli altri e vivono ogni richiesta della realtà come un attacco alla propria persona.

L'esperienza mostra come l'elaborazione dell'aggressività distruttiva e l'insight nella sua genesi costituiscano la svolta decisiva del trattamento. Solo se si riesce a ottenere che l'aggressività distruttiva sia riconosciuta come un problema, e a rendere la sua genesi nel gruppo primario interiorizzato (e nei suoi rappresentanti attuali) accessibile al vissuto emotivo e all'insight del paziente, può essere raggiunto un livello autenticamente terapeutico - nel senso di un'elaborazione del conflitto inconscio d'identità - e può essere avviato un mutamento nella struttura dell'Io. È importante, in questo contesto, la regolazione dell'apporto narcisistico da parte del terapeuta. Il malato psicosomatico è un uomo con un grave deficit narcisistico ('buco nell'Io'); una

parte del programma terapeutico è appunto costituita dall'apporto narcisistico, che consiste nel prendere sul serio il paziente non come portatore di sintomo, ma come personalità globale con tutte le sue parti costruttive e distruttive. Analogamente, l'apporto di energia sociale deve consistere nel prendere sul serio il paziente confermandolo nelle sue parti costruttive. È anche importante conseguire una regolazione dell'equilibrio tra conferma e confronto, da cui possa scaturire un mutamento nella struttura dell'Io del paziente. In modo analogo il terapeuta si deve comportare nel trattare il transfert psicosomatico. Occorre proteggere il paziente da un transfert troppo intenso, giacché i successi dovuti al transfert sono solo momentanei e l'abbandono del trattamento comporta una ricaduta nella malattia.

Nel 'lavoro sulla struttura dell'Io' è essenziale che anche la persona del terapeuta sia considerata sotto il profilo della struttura dell'Io: il terapeuta, per quanto possibile, dev'essere scelto tenendo conto della struttura dell'Io del paziente, cosicché il trattamento possa dispiegare la massima efficacia. A questo proposito è di particolare importanza che il terapeuta abbia la capacità di trattare le emozioni, di stabilire facilmente contatti. Un caso particolarmente favorevole sarebbe quello di un terapeuta che avesse personalmente superato una malattia psicosomatica e potesse quindi empatizzare con la sintomatologia psicosomatica del suo paziente.

Il metodo più idoneo ad affrontare il quadro clinico del malato psicosomatico è la terapia di gruppo e la terapia ambientale. Nel gruppo i 'copazienti', nelle diverse fasi del processo psicoterapeutico, fungono l'uno nei confronti dell'altro da terapeuti ausiliari e da 'terze persone', per il cui tramite ciascuno può avere ed esprimere sentimenti, senz'essere costretto a superare la propria angoscia di contatto.

L'importanza della terapia di gruppo si rivela in particolare nell'elaborazione dell'aggressività distruttiva. Il gruppo terapeutico può mostrarsi protettivo verso il paziente, può dargli sicurezza, così da consentirgli di filtrare la sua aggressività e di rivolgerla gradualmente contro il terapeuta o i 'coterapeuti', contro altri membri del gruppo, contro 'copazienti' o contro l'intera istituzione entro la quale si svolge la terapia. Nella terapia di gruppo di pazienti psicosomatici bisogna curare anzitutto la composizione del gruppo. Gruppi omogenei quanto alla sintomatologia non hanno efficacia terapeutica, nel senso di produrre un mutamento nella struttura dell'Io. In un gruppo eterogeneo, che comprenda pazienti nevrotici, pazienti con sintomi di conversione isteroidi o isterici o con nevrosi cardiaca, insieme con casi psicosomatici seri, come persone sofferenti di ulcera gastrica, di asma bronchiale o di affezioni dermatologiche gravi, può invece svilupparsi un 'lavoro sulla struttura dell'Io'. I pazienti che reagiscono istericamente, per esempio, possono sostituirsi ai pazienti psicosomatici nell'espressione dei sentimenti, con il risultato che in entrambi i gruppi diventa possibile l'avvio di processi di mutamento nella struttura dell'Io.

Nel trattamento dei pazienti psicosomatici si possono riconoscere tre fasi, che si succedono l'una all'altra. Il 'lavoro sulla struttura dell'Io' ha inizio con l'instaurazione dell'alleanza terapeutica mediante la comprensione empatica della personalità del paziente e delle sue difficoltà. Costituitasi un'alleanza terapeutica solida, si

ricorre a una tecnica di confronto, che deve consentire la rinuncia al patologico, 'egosintonico' sentimento dell'Io, che occupa il deficit egoico centrale del paziente e che, permettendogli una certa integrazione sul piano delle funzioni secondarie dell'Io, riveste importanza per la sua omeostasi. Lo scopo della tecnica del confronto è appunto quello di far comprendere al paziente questo comportamento patologico, dandogli in tal modo la possibilità di riconoscerlo come egodistonico e di compiere quindi i primi passi verso un mutamento nella struttura dell'Io. In questa prima fase si evidenzia in genere una relazione simbiotica con il proprio partner, relazione che il paziente 'estorce' in quanto malato e bisognoso di aiuto, anche se può essere nel contempo in grado di provvedere alla famiglia.

La fase mediana del trattamento si riferisce all'elaborazione dell'aggressività distruttiva.

Nella fase finale si tratta di affrontare l'evento capitale per la struttura psichica del malato psicosomatico: la separazione. A questo punto tutti i sintomi rivivono uno dopo l'altro e il processo di separazione si rivela assai lungo, con la comparsa di un'intensa angoscia e di moltissime resistenze. Senza un'estesa elaborazione della separazione il paziente vive, dopo la conclusione della terapia, fortissimi attacchi di angoscia e di aggressività distruttiva che, ad onta della terapia, lo ricacciano nella sintomatologia psicosomatica e quindi di nuovo nel trattamento. La terapia del paziente psicosomatico è all'inizio una terapia della mancanza di contatti, una terapia in cui tutti gli sforzi del terapeuta per stabilire un contatto falliscono. La svolta nella terapia sopravviene quando il paziente non chiede più 'che cos'ho?', ma 'chi sono?', entrando quindi in un confronto per la propria identità. A questo punto egli abbandona la sua esistenza umbratile di malato psicosomatico e dà inizio a un confronto vitale con i gruppi in cui è immesso. Questo è il traguardo cui la terapia del malato psicosomatico deve mirare, se vuole ottenere un mutamento durevole. È tuttavia un traguardo che nell'usuale prassi terapeutica viene spesso ignorato: si offre invece al paziente psicosomatico un'identità apparente come malato nel quadro di una società ostile all'identità. L'allestimento di speciali reparti psicosomatici negli ospedali regionali della Repubblica Federale Tedesca e a Berlino Ovest va appunto in questa direzione. Tali reparti psicosomatici hanno un effetto nettamente antiterapeutico, in quanto lasciano i pazienti nella loro identità apparente di malati psicosomatici; potrebbero avere invece un alto valore terapeutico se utilizzassero le nozioni scientifiche esposte in questo articolo e se lavorassero con terapie di gruppo. A questo proposito è di fondamentale importanza la composizione dell'équipe terapeutica, che dovrebbe essere costituita da psichiatri, psicoterapeuti, studiosi di dinamiche di gruppo, internisti, neurologi, e altri specialisti come assistenti sociali, che curino i rapporti con la famiglia e i gruppi del paziente. Solo la cooperazione dell'intera équipe terapeutica permette di studiare il paziente in tutti i suoi nessi relazionali e di raccogliere sul suo comportamento e sulle sue abitudini di vita indicazioni che, ai fini di una comprensione dei diversi stili comunicativi, valgono spesso più di intere batterie di test psicologici.

L'esperienza mi ha costantemente insegnato che il lavoro intensivo sulla dinamica di gruppo con i membri dell'équipe terapeutica (medici, suore, infermieri, assistenti sociali), come anche con il personale amministrativo (dalle segretarie al direttore) ha un notevole rilievo ai fini terapeutici. Lavorando con pazienti psicotici e psicosomatici, infatti, è importante mettere a fuoco i propri sentimenti e problemi, che il lavoro stesso suscita, e quindi acquisire insight nel proprio comportamento (v. Ammon, *Die Psychosomatik...*, 1973). Un lavoro d'équipe di questo tipo ha grande importanza per il trattamento dei malati psicosomatici sia nelle cliniche sia nella prassi ambulatoriale.

I 'gruppi Balint' (così chiamati dal loro fondatore, M. Balint) sono un mezzo eccellente per consentire a medici non esperti di psicanalisi o di dinamiche di gruppo l'accesso alla psicodinamica del malato psicosomatico. Nella cornice di regolari sedute, i gruppi Balint si occupano tanto dei diversi quadri clinici dei pazienti quanto dei fenomeni di transfert e controtransfert nella relazione medico-paziente e delle loro proprie dinamiche di gruppo. È evidente l'importanza che un siffatto lavoro di gruppo riveste per la ricerca e per l'insegnamento. Esso potrebbe dare un contributo essenziale all'umanizzazione della medicina e quindi all'umanizzazione della società.

4. Ricapitolazione

Per concludere, vorrei riassumere ancora una volta gli elementi essenziali della genesi, della struttura e della dinamica delle affezioni psicosomatiche e le direttrici fondamentali del trattamento.

1. L'affezione psicosomatica grave rientra nella gamma delle malattie arcaiche dell'Io; essa dev'essere considerata come una psicosi dell'Io corporeo, la cui causa strutturale è rappresentata da un cospicuo deficit narcisistico nella struttura dell'Io ('buco nell'Io'). Tale deficit è dovuto a un carente apporto di energia sociale durante l'infanzia.
2. La struttura della personalità del malato psicosomatico è contrassegnata da un deficit nella funzione egoica dell'aggressività, deficit che si esprime in attacchi distruttivi contro il proprio corpo e i suoi organi. Il deficit nella funzione egoica degli affetti spiega l'incapacità del malato psicosomatico a esternare sentimenti.
3. Ricerche empiriche e cliniche hanno attribuito ai disturbi psicosomatici del pensiero le seguenti caratteristiche: concretismo; fissazione del pensiero sul sintomo psicosomatico; mancanza di contatti e di interessi all'infuori dei sintomi; simbolizzazione somatica; dissociazione dei processi di pensiero dalle emozioni (separazione di affetto e conoscenza).
4. Tutti questi disturbi nella struttura dell'Io costituiscono quello che chiamo 'buco nell'Io', il quale corrisponde a un buco nella formazione delle funzioni egoiche centrali, specialmente nel campo dell'identità.

La funzione disturbata dell'identità viene sostituita dal sintomo psicosomatico: il soggetto si sente esistere nell'identità apparente di malato psicosomatico.

5. Sulla base della sua particolare struttura dell'Io, il malato psicosomatico può mutare i suoi sintomi. In luogo del sintomo psicosomatico - quando venga eliminato da interventi medici o dall'analisi condotta secondo i metodi usuali - può subentrare una reazione psicotica o depressiva. Una relazione particolarmente intima è stata osservata tra sintomatologia psicosomatica e depressione: ogni malato psicosomatico ha una forte disposizione alla depressione, come ogni depresso ha una forte disposizione all'affezione psicosomatica.

6. Il paziente psicosomatico è stato amato dalla madre solo in quanto affetto da una malattia somatica. Egli non si è potuto districare da questa simbiosi con la madre ed è rimasto in uno stato di estrema dipendenza da lei. Da ciò deriva la sua incapacità di sopportare la solitudine.

7. La malattia psicosomatica è sempre associata con angoscia di separazione, che è nel contempo anche un'angoscia di identità. La sintomatologia psicosomatica, perciò, dev'essere sempre considerata come un suicidio strisciante, che ha lo scopo di eludere l'identità.

8. L'affezione psicosomatica è nata sul terreno della dinamica familiare: il malato psicosomatico ha il ruolo di portatore della malattia nella famiglia. Una specificità d'organo s'instaura attraverso l'identificazione del malato con membri della famiglia.

9. Dalla concezione delle affezioni psicosomatiche basata sulla struttura dell'Io e sulla dinamica di gruppo derivano importanti conseguenze quanto ai metodi di trattamento: a) il metodo psicanalitico usuale è controindicato, giacché il malato psicosomatico non può operare la rimozione nevrotica e può sempre scivolare nella psicosi; b) è invece indicato un lavoro orientato sulla struttura dell'Io e sulla dinamica di gruppo, nel senso di una terapia dell'identità e di un recupero dello sviluppo dell'Io; c) è preferibile la psicoterapia di gruppo, non solo perché la malattia è nata nel gruppo, ma anche perché, se la composizione del gruppo è corretta, la psicoterapia di gruppo offre al paziente dei 'portatori di sentimenti' (funzione dei terapeuti ausiliari). La psicoterapia di gruppo dev'essere considerata come una terapia dell'identità; d) il lavoro con pazienti che hanno reazioni psicosomatiche si svolge nella cornice di un transfert psicosomatico, che dev'essere compreso a partire dal complesso simbiotico.

10. Per raggiungere una comprensione della dinamica della persona del malato psicosomatico nella sua interezza, è indispensabile che le cliniche psicosomatiche, come anche le cliniche a orientamento psichiatrico-dinamico, possano operare come unità basate sulla dinamica di gruppo. Ciò può essere ottenuto con il lavoro intensivo d'équipe e con la terapia ambientale.

11. Il lavoro dei gruppi Balint, associato con lo studio della dinamica di gruppo, è uno strumento indispensabile per il trattamento sia nelle cliniche che negli ambulatori. Questo tipo di lavoro può svolgere

anche un'importante funzione nell'insegnamento universitario e nelle scuole di perfezionamento e specializzazione.

Non dobbiamo dimenticare che sono esseri umani sofferenti coloro che, con le nostre conoscenze, vogliamo aiutare a vivere una vita più umana. Ogni malattia è infatti, a parer mio, un estraniamento dalla condizione umana, come ogni terapia è un'impresa umanizzante. È l'uomo che dovrebbe stare al centro di tutti gli sforzi terapeutici e, secondo la mia opinione, anche al centro di tutte le scienze.

Psicosomatica

Universo del Corpo (2000)

di Massimo Biondi

Il termine psicosomatica indica in generale il campo della medicina che studia disturbi e malattie fisiche prodotti o favoriti da fattori di ordine psicologico ed emozionale, con la finalità di spiegare attraverso quali meccanismi le esperienze mentali si possono tradurre in sintomi fisici.

sommario: 1. Attuale concezione della psicosomatica. 2. Cause e meccanismi delle malattie psicosomatiche. 3. Diagnosi e terapia. □ Bibliografia.

1. Attuale concezione della psicosomatica

Sebbene l'intuizione del rapporto fra malattie fisiche e fattori psicoemozionali risalga all'antichità, osservazioni analitiche di maggior rilievo sono cominciate solo dagli anni Cinquanta del 20° secolo, per giungere poi agli studi sistematici più recenti. Le scoperte relative alle connessioni tra il cervello, sede della vita psichica ed emozionale, e i principali sistemi biologici dell'organismo, insieme alle ricerche sullo stress, hanno dato evidenza scientifica a quelle che fino a non molto tempo addietro erano osservazioni basate, in genere, su singoli casi o su casistiche limitate. Attualmente è provato che reazioni emozionali e stati di stress si associano a modificazioni dei sistemi nervoso periferico, neurovegetativo, neuroendocrino e immunitario, favorendo, in determinati casi, un aumento della suscettibilità a varie malattie. Uno dei cardini della medicina psicosomatica, che non si sostituisce ma si aggiunge all'indagine medica classica, è la focalizzazione dell'attenzione non solo sulla malattia ma sulla persona malata e sull'insieme mente/corpo più che sull'organo

o sul sistema colpito. Essa utilizza nel trattamento, a fianco delle terapia medica o chirurgica, interventi psicoterapeutici, rilassamento, ipnosi, farmaci psicoattivi e altri metodi. In una prima fase di sviluppo della psicosomatica si riteneva che soprattutto alcune patologie, come le allergie, le cefalee, l'ipertensione arteriosa, l'ulcera peptica, l'asma bronchiale, talune malattie della cute fossero tipiche malattie psicosomatiche. Nella fase attuale il progredire delle ricerche ha suggerito che ogni malattia, potenzialmente, ha componenti psicosomatiche ed è inesatto porre rigide distinzioni tra malattie psicosomatiche e non. Date le strette connessioni che numerose ricerche hanno provato tra mente e corpo e tra cervello e sistemi biologici periferici, si ritiene che qualsiasi patologia fisica possa risentire in qualche misura di fattori psichici ed emozionali. Il problema diventa quello di valutare, caso per caso e malattia per malattia, se e quanto tali fattori possano avere influenza sui meccanismi biologici che si trovano alla base delle singole patologie e documentare tale influenza sulla scorta di indagini cliniche. Per es., se si pensa che uno stress acuto possa favorire una crisi ipertensiva o il rischio di prendere un'influenza, è importante dimostrare come fattori emozionali possono condizionare l'attività di determinati ormoni e l'equilibrio vascolare, oppure ridurre temporaneamente le difese immunitarie di fronte a un agente patogeno. Questo è stato dimostrato da numerosi studi sperimentali di psicosomatica. In genere si ritiene che gli stress emozionali, più che creare dal nulla una condizione di malattia, contribuiscano piuttosto a farla uscire dalla latenza secondo le predisposizioni individuali e l'esposizione a fattori di rischio. Analizzando il singolo caso, a fianco di una classica indagine su segni, sintomi e dati di laboratorio, il medico effettua un'anamnesi volta a indagare il contesto psicologico di insorgenza, eventi o situazioni di stress emozionale precedenti, la personalità e i vissuti del paziente. L'adesione, spesso entusiastica a questa visione sullo stretto rapporto mente/corpo, non deve tuttavia far cadere nell'eccesso opposto e portare a sopravvalutare i conflitti psicologici, pensando che ogni condizione patologica sia conseguenza di una malattia psicosomatica. Dal punto di vista pratico, in molti casi di malattia, come per es. l'infarto miocardico, il diabete, i tumori, molte malattie neurologiche e quelle ereditarie, i fattori psicologici rivestono un ruolo minore o poco rilevante. Fattori emozionali ed eventi esistenziali stressanti possono tuttavia influenzarne in qualche misura il decorso. Al contrario, altre malattie, come le cefalee da tensione muscolare, alcune forme di emicrania, sindromi dolorose senza base organica, certe forme di dermatiti o di colite, solo per fare alcuni esempi, hanno più spesso un'importante componente emozionale. In sintesi, attualmente si ritiene che molte malattie fisiche possano avere componenti psicologiche e che lo stress emozionale accresca la suscettibilità a esse, interagendo con altri noti fattori di rischio.

2. Cause e meccanismi delle malattie psicosomatiche

Fattori psicologici possono influenzare la salute fisica in diverse condizioni, alcune delle quali sono riportate nella letteratura come tipiche. Le prove a riguardo derivano da studi di laboratorio che dimostrano le modificazioni di vari organi e sistemi biologici sotto stress, e da studi clinici su pazienti che hanno rilevato rapporti tra personalità, eventi, situazioni stressanti di vita e insorgenza di varie malattie. Tali condizioni possono essere compendiate in cinque tipologie principali: 1) situazioni di aumentato stress esistenziale, come eventi di perdita affettiva (lutti, separazioni, divorzi, pensionamento), contrasti affettivi protratti, sovraccarico di lavoro con scarsa soddisfazione costituiscono veri e propri fattori di rischio, sommandosi ad altri fattori tradizionali; a seconda dei casi, hanno un ruolo acuto (precipitante la malattia), oppure cronico, agendo sul lungo periodo (azione predisponente); 2) condizioni di stress emozionale acuto, intense, prodotte da eventi soggettivamente importanti, possono far precipitare malattie fisiche acute, per es. scompensando un equilibrio precario preesistente (tipiche le crisi cardiache all'arrivo di una cattiva notizia in cuori già sofferenti, le morti cardiache improvvise da spavento, alcune crisi ipertensive o il peggioramento di una gastrite in seguito a una forte arrabbiatura ecc.); più di rado favoriscono la comparsa di nuove malattie; 3) una ridotta capacità della personalità a esprimere apertamente le reazioni emozionali, tendendo a sopprimere rabbia e tensione, subendo in silenzio, favorirebbe il rischio di somatizzazioni, mentre l'espressione più aperta o comunque più equilibrata delle emozioni sul piano del comportamento, insieme alle modificazioni della biologia dell'organismo a esse correlate, eviterebbe l'accumulo di tensioni e di stati di stress protratti; 4) una condizione prolungata di abbattimento del morale, in cui l'individuo si sente come spento, demotivato, fino a casi di vera e propria disperazione, agirebbe come fattore di per sé aspecifico verso l'insorgenza di varie malattie e sul loro decorso (spesso tale stato è prodotto dall'interazione tra eventi di vita avversi e la personalità descritta al punto 3); 5) la mancanza di un adeguato supporto affettivo, come per es. l'assenza o la scarsità di relazioni in cui ci si sente importanti per altri (partner, familiari, amici, compagni di lavoro), e il conseguente senso di solitudine espongono a un aumento del rischio di ammalarsi sul piano sia psicologico (disturbi psichiatrici) sia fisico (malattie somatiche): questo è peraltro un fattore che si associa a un decorso meno favorevole in varie patologie, in particolare nelle cardiopatie, mentre è stato provato che un buon supporto sociale rappresenta un fattore di protezione da numerose malattie sia mentali sia fisiche. I diversi stati d'animo ed emozioni non sono rappresentati soltanto da vissuti soggettivi e da manifestazioni osservabili nel comportamento, ma hanno correlati biologici sia nel cervello sia nella periferia. Un esempio chiaro a chiunque è l'insieme delle modificazioni psichiche soggettive e fisiche di una reazione d'ansia. Molti studi hanno permesso di riconoscere le basi cerebrali delle reazioni emozionali e le importanti connessioni che alcune zone del cervello hanno nell'influenzare reazioni viscerali e ormonali. Il sistema limbico, una delle parti più antiche del cervello, e l'ipotalamo, una piccola zona situata alla base del cervello stesso, rappresentano i punti di connessione tra emozioni e modificazioni somatiche. In una reazione di arrabbiatura, l'arrossarsi del volto,

l'espressione del viso e l'alterarsi della voce, l'aumento di pressione arteriosa e della frequenza cardiaca, la costrizione dei vasi cutanei, l'elevazione nel sangue di catecolamine, accompagnano lo stato d'animo momento per momento perché tutte queste reazioni sono coordinate e mediate da sistema limbico e ipotalamo. In periferia, i correlati fisiologici delle emozioni arrivano mediante quattro sistemi, veri e propri canali di rapporto tra la mente e il corpo: il sistema muscolare scheletrico, il sistema neurovegetativo, i sistemi neuroendocrino e peptidergico, il sistema immunitario. Stati di riposo e di tranquillità sono associati ad attivazione della componente parasimpatica (che si manifesta con sincronizzazione e aumento dell'ampiezza delle onde cerebrali all'elettroencefalogramma, riduzione della frequenza cardiaca, della pressione arteriosa, della tensione muscolare e della sudorazione, aumento dell'attività gastrointestinale); al contrario stati di attivazione sono associati a stimolazione del sistema ortosimpatico (risposta di lotta/fuga) con modificazioni opposte. Di norma, l'equilibrio oscilla ritmicamente tra i due sistemi, anche a seconda delle ore della giornata e delle attività svolte. L'irruzione di stimoli stressanti può determinare un'alterazione, anche notevole, di tale equilibrio.

La psiconeuroendocrinologia, che studia i rapporti tra cervello, sistema endocrino e comportamento, e la psiconeuroimmunologia, che si occupa delle relazioni tra mente, cervello e sistema immunitario, sono branche nate negli ultimi due decenni del 20° secolo. Tutti questi sistemi mostrano mutamenti di vari parametri in seguito a sollecitazioni emozionali di una certa intensità. Le risposte peraltro possono essere anche molto differenti da individuo a individuo: per le situazioni della vita ordinaria, esse variano non tanto secondo le caratteristiche oggettive dello stimolo o situazione, quanto secondo il significato che per un determinato soggetto esse assumono. Per es., lo stress acuto di attesa di un importante esame scolastico produce aumento delle catecolamine (adrenalina e noradrenalina), del cortisolo, elevazione della frequenza cardiaca e vasocostrizione cutanea periferica (mani fredde), aumento della sudorazione, e così via, in misura tanto maggiore quanto più impreparato il soggetto ritiene di essere. Altri ormoni che spesso si elevano sotto stress sono la prolattina, l'ormone somatotropo, gli ormoni tiroidei. Condizioni di stress in genere riducono i livelli di attivazione degli ormoni sessuali, come le gonadotropine della ghiandola ipofisi e ormoni periferici come il testosterone. Viceversa, stimoli erotici tendono a farli alzare. Altri fenomeni, che sono stati scoperti solo di recente, sono l'"analgesia da stress", dovuta alla secrezione di β -endorfine, per cui un organismo sotto sollecitazioni intense è più protetto temporaneamente dal dolore; oppure le modificazioni del sistema immunitario che, sotto stress acuto, può mostrare un miglioramento temporaneo nella funzione di alcuni parametri, ma perdurando lo stress, può perdere alcune difese fino a degenerare in immunodepressione.

3. Diagnosi e terapia

La diagnosi di malattia psicosomatica non va fatta per esclusione perché non si trovano altre cause, né va limitata ai casi 'funzionali', cosiddetti perché non si rilevano alterazioni organiche agli esami di laboratorio. Un'ipertensione arteriosa con componente di stress emozionale produce infatti nel tempo danni alle arterie come l'ipertensione da altre cause. In certe condizioni, come per es. in un dolore lombare, la sintomatologia dolorosa può trovare ragione solo in parte nell'obiettività di una radice nervosa a livello della colonna vertebrale: fattori emozionali, uno stato depressivo (dovuti a ragioni esistenziali o di stress) partecipano e possono aggravare il dolore soggettivo o complicare il decorso. La diagnosi di malattia psicosomatica deve essere effettuata sulla base di un'accurata anamnesi della personalità e delle sue reazioni, dei vissuti soggettivi del paziente, dell'indagine su eventi o situazioni esistenziali rilevanti, del possibile stato di ansia o depressione. È importante stabilire se e in che misura fattori emozionali possano contribuire all'insorgenza, oppure al decorso, della malattia o ancora alla risposta alle terapie mediche in un determinato paziente. Esisteranno casi di una stessa patologia con diversa componente psicosomatica, che richiederanno quindi trattamenti differenziati.

È pratica diffusa ma erronea abbinare automaticamente la diagnosi di malattia psicosomatica a terapie ricostituenti o tranquillanti. Occorre chiarire al paziente che il ruolo dei fattori psicologici non implica che la malattia sia 'colpa' sua, sia immaginaria, o dipenda dalla volontà. Ferma restando l'eventualità di terapia medica del caso, un trattamento secondo la prospettiva psicosomatica richiede, in primo luogo, una rivalutazione della relazione tra medico e paziente, troppo spesso vittima della fretta e della tecnica; in secondo luogo, è necessaria una valutazione differenziale delle componenti di ansia/tensione oppure di apatia/depressione, di rabbia e sentimenti nascosti o repressi. Per una terapia specifica è necessario uno psichiatra, poiché il medico generale o lo specialista internista, in genere, non sono stati preparati a questo.

Rassicurazioni e minimizzazione del problema, rinvii e consigli sono interventi il più delle volte inadeguati. Il paziente con disturbi psicosomatici soffre, ha una compromissione delle capacità di relazione, di lavoro, spesso per periodi protratti di tempo di mesi o anni. L'incontro con figure mediche che tranquillizzano il paziente è positivo perché rassicura rispetto a malattie gravi, ma è incompleto perché lascia il paziente sofferente come prima. Il trattamento va articolato su piani diversi, secondo le necessità. La presenza di ansia/tensione giustificherà l'impiego di tranquillanti o terapie di rilassamento (risposta rilassante, biofeedback, training autogeno); il riscontro di apatia/depressione quello di farmaci antidepressivi. Nella maggior parte dei casi non hanno senso cure di pochi giorni, ma occorre una continuità di trattamento di circa 4-6 mesi. È essenziale che, a fianco della terapia farmacologica, il paziente possa discutere e individuare eventuali fonti di stress e il proprio modo di reagirvi, guidato dal terapeuta verso possibili cambiamenti (tecniche di gestione dello stress). Possono essere usati agopuntura, fitoterapia, purché in mani mediche esperte e con evidenza di risultati positivi in letteratura nel proprio caso. In terzo luogo, volta a volta andrà valutata l'indicazione per

psicoterapia, tenendo conto della motivazione del paziente, dell'impegno e dei costi di tale trattamento. Andrebbero preferite terapie brevi, come la psicoterapia cognitiva, colloqui di consulenza (counselling) abbastanza attivi, piuttosto che la psicoanalisi. Un equivoco in cui si incorre frequentemente è l'impiego di rimedi e pratiche curiosi o suggestivi, 'alternativi', con scarsa base di evidenza e meccanismi d'azione non dimostrati.

UN NUOVO APPROCCIO ALLA RELAZIONE PSICOSOMATICA

XXI Secolo (2010)

di Enzo Soresi

Un nuovo approccio alla relazione psicosomatica

La relazione mente-corpo alla luce delle neuroscienze

La psiconeuroendocrinoimmunologia (PNEI) rappresenta un nuovo modello teorico, basato sulle recenti scoperte della biologia, capace di interpretare in modo innovativo le malattie e di spiegare con grande accuratezza l'effetto placebo, l'effetto nocebo e quanto lo stress e le emozioni possano modificare il network biologico. La medicina psicosomatica per anni ha tentato di dare una spiegazione del legame esistente tra emozioni e malattie, ma in realtà ha sempre attribuito allo stato emotivo una dimensione psicologica. Questo approccio scientifico non era però in grado di spiegare il meccanismo con cui le emozioni condizionano la salute del corpo. Con lo sviluppo della PNEI invece è stato possibile dare alle emozioni una valenza funzionale permettendo quindi di rileggere la relazione psicosomatica attraverso un approccio integralmente biologico. In tal modo la medicina assume una nuova logica, consentendo al medico di prendersi carico del paziente in modo olistico.

I tre cardini su cui si fonda la PNEI sono: a) il sistema neuroendocrino (SNE); b) il sistema immunitario (SI); c) il sistema nervoso centrale (SNC).

Il sistema neuroendocrino

La definizione del sistema neuroendocrino diffuso ha subito negli ultimi anni continue modifiche, conseguenti alle progressive scoperte sulla sua struttura e sul suo funzionamento. In linea generale il termine neuroendocrino è utilizzato per definire un sistema di cellule diffuse in tutto l'organismo che hanno la capacità

di secernere i loro prodotti in maniera controllata rispetto a uno stimolo specifico. Le cellule neuroendocrine non sono organizzate in veri e propri organi, ma sono diffuse nei vari tessuti e sono comunque capaci di produrre neurormoni, cioè sostanze elaborate sia dagli organi endocrini sia dalle strutture nervose. Le cellule neuroendocrine sono pertanto ubiquitarie nell'organismo e si attivano in funzione del microambiente che le accoglie e che richiede in quel momento determinate prestazioni. L'attuale concetto di sistema neuroendocrino diffuso non si basa più sull'ipotesi dell'origine embriologica comune di tutte le cellule neuroendocrine, poiché è stato dimostrato che differenti tipi di cellule con caratteristiche neuroendocrine derivano da regioni diverse del neuroectoderma. Per questo motivo, attualmente una cellula si definisce neuroendocrina se risponde a vari requisiti. Innanzitutto deve produrre un neurotrasmettitore o un neuromodulatore o un neurormone; tali sostanze sono contenute all'interno di vescicole o granuli intracellulari, dai quali sono rilasciate con un processo di esocitosi conseguente a stimoli nervosi. Inoltre le cellule neuroendocrine differiscono da quelle nervose per la mancanza di terminazioni nervose specializzate. Infine, differenti tipi di cellule neuroendocrine condividono molte proprietà specifiche ed esprimono diverse proteine in comune, anche se l'espressione di ciascuno di questi markers proteici non è un criterio assoluto per definire la cellula neuroendocrina (I tumori neuroendocrini, 2003). Anche le cellule del sistema immunitario, pur non essendo neuroendocrine, sono ugualmente in grado di produrre ormoni peptidici e peptidi neurotrasmettitori.

Il SNE consta di tre maggiori compartimenti anatomici: a) neuroni e fibre del sistema nervoso periferico; b) cellule epiteliali endocrine disseminate nelle mucose dei visceri cavi, in particolare del tubo gastroenterico e delle vie respiratorie, ma anche nella tiroide, nel timo, nella cute, nella mammella, nella laringe, nel rene, nella vescica e nella prostata; c) cellule parenchimali dei classici organi endocrini quali l'adenoipofisi, le paratiroidi e la midollare del surrene. Questi ultimi due tipi di cellule sono pertanto, a tutti gli effetti, cellule neuroendocrine, in quanto rispondono ai requisiti suddetti. Questa molteplicità morfologica si traduce in una molteplicità funzionale che gioca un ruolo fondamentale nel regolare non solo il corretto sviluppo embriologico, ma anche molteplici aspetti della fisiologia dell'organismo (attività metabolica, funzioni chemorecettoriali, motilità e secrezione gastrointestinale ecc.). L'aspetto più affascinante della biologia del SNE è rappresentato dalle strette similitudini fra i suoi vari costituenti cellulari. Infatti, sia i neuroni sia le cellule epiteliali endocrine contengono piccole vescicole di tipo sinaptico e granuli neurosecretori: le prime rappresentano organuli di accumulo di neurotrasmettitori semplici, come acetilcolina, catecolamine e acido γ -amminobutirrico (GABA, Gamma-AminoButyric Acid); i secondi contengono neurotrasmettitori peptidici e varie sostanze proteiche a funzione regolatrice.

Accanto a quest'attività secretiva esistono però fondamentali differenze morfofunzionali: i neuroni infatti, sono provvisti di assoni, di dendriti e di neurofilamenti, mentre le cellule epiteliali sono ricche di filamenti di citocheratina ed esprimono differenti tipi di sistemi di adesione cellulare. Il fatto che le cellule neuroendocrine siano capaci di produrre neurormoni, ossia sostanze elaborate sia dal sistema endocrino sia da quello nervoso, fa del sistema neuroendocrino diffuso, come già detto precedentemente, uno degli assi portanti della PNEI.

Attraverso la PNEI è possibile spiegare come tessuti e organi molto dissimili possano convivere nello stesso organismo formando un'unità. Tale unità è costituita essenzialmente dalla capacità che i vari apparati hanno di comunicare fra loro. Un esempio in tal senso è costituito dal sistema nervoso centrale che è in grado di produrre sostanze analoghe a quelle prodotte dal sistema immunitario, quali interferoni, interleuchine ecc., utili nel combattere le infezioni; ma anche le cellule immunitarie (v. tabella) possono produrre sostanze nervose come i neurotrasmettitori e neurormoni in grado di interagire con tutti gli organi. È attraverso questo linguaggio comune che la medicina andrebbe riscritta.

Sotto questo aspetto è proprio la ricerca di nuovi farmaci che ha portato allo sviluppo di sostanze capaci di mimare l'attività del nostro organismo, quali appunto le interleuchine, gli interferoni e le sostanze appartenenti al nuovo filone degli anticorpi monoclonali, sviluppatosi negli ultimi anni nella lotta contro i tumori. Attraverso questa nuova lingua, che utilizza una grammatica unitaria, è possibile correlare l'attività nervosa con quella di altri sistemi, quali il sistema immunitario e quello neuroendocrino.

La stessa molecola, per es. l'acetilcolina, è il neurotrasmettitore della memoria e quello del movimento; la serotonina è il regolatore dell'umore e del transito intestinale; una semplice reazione chimica trasforma il testosterone, ormone maschile, in estradiolo, ormone femminile e così via. Sono numerosi gli esempi che si possono utilizzare per spiegare la natura olistica del nostro organismo nonché per evidenziare l'importanza delle emozioni nello sviluppo di questo linguaggio. Negli ultimi anni, in particolare negli Stati Uniti, un notevole numero di ricerche scientifiche ha documentato la capacità dello stress ambientale di influenzare diversi parametri immunitari valutati in vitro. È stato provato che i fattori stressanti, eterogenei a seconda del tipo di sperimentazione delle varie scuole di medicina, gli eventi gravi della vita, quali privazioni, separazioni o divorzi, e gli stati ansiogeni cronici possono essere associati a effetti disfunzionali del sistema immunitario (The biological basis for mind body interactions, 1999).

Il sistema immunitario

Il sistema immunitario va considerato come un organo di senso composto da innumerevoli unità in grado di riconoscere qualsiasi elemento estraneo venga in contatto con il nostro organismo. Si tratta di una vera e propria rete cognitiva, la cui funzione è quella di difenderci dalle quotidiane aggressioni operate da virus, batteri e tossine, e nello stesso tempo di interagire con il SNE e il SNC, al fine di mantenere il controllo della nostra omeostasi, ossia del nostro equilibrio interno.

Le possibilità di usufruire nella pratica clinica delle continue scoperte dell'immunologia sono assai scarse, e proprio per questo motivo, nei primi anni del 21° sec., un'autorevole rivista scientifica, il «New England journal of medicine», ha pubblicato una serie di articoli di aggiornamento nel tentativo di fornire al settore medico una preparazione culturale su questo argomento. Tale scelta è stata motivata dal fatto che i principi dell'immunologia pervadono la clinica medica. Medici generici e specialisti – pediatri, chirurghi, ostetrici e ginecologi, neurologi, anestesisti e psichiatri – devono tutti fare i conti con situazioni in cui il sistema immunitario fa sentire i suoi effetti diretti o indiretti oppure, al contrario, con disordini che colpiscono l'immunità come conseguenza di una malattia non immunitaria.

In medicina, i primi esempi di stimolazione del SI risalgono ai tempi in cui i cinesi praticavano l'inoculazione di croste di vaiolo o anche l'insufflazione di materiale infetto nel naso tramite un tubicino d'argento. Tale pratica era diffusa anche in Africa e nelle campagne inglesi. D'altro canto, l'efficacia di questa procedura era piuttosto ridotta, e si dovette all'intuizione di Edward Jenner l'elaborazione nel 1796 del primo vaccino nella storia della medicina. Fu proprio questo medico a rilevare come nelle campagne inglesi, dov'era endemico il vaiolo bovino, le persone si ammalassero di meno (in tutta l'Inghilterra, a quell'epoca le epidemie di vaiolo uccidevano il 20% delle persone colpite, sfigurando i superstiti), in quanto stavano a contatto con gli animali ammalati e di conseguenza sviluppavano una difesa naturale verso la malattia. In seguito a questa intuizione Jenner inoculò materiale infetto di vaiolo vaccino a vari soggetti. Sulla base dell'osservazione clinica, nel 1798 fu pubblicato un rapporto sufficientemente chiaro riguardo ai risultati, ma in realtà non venne data nessuna vera interpretazione a questa pratica: essa funzionava e basta, e questo fu sufficiente perché si propagasse rapidamente in tutto il mondo. Nel 1881 Louis Pasteur dimostrò con esperimenti su animali che è possibile attenuare, ossia indebolire, germi patogeni e quindi ottenere vaccini definiti svirulentati, in grado di provocare la risposta immunitaria nei soggetti trattati. Iniziarono così le prime vaccinazioni per la rabbia, il colera e l'antrace. Negli anni successivi la ricerca in questo campo esplose e, da Pasteur a Paul Ehrlich, si svilupparono numerose teorie sul SI e sulla relazione antigene-anticorpo, identificata come la chiave fondamentale della risposta immunitaria. Fu però Niels K. Jerne, nel 1955, a proporre un cambiamento radicale, ipotizzando la selezione da parte dell'antigene di proprietà già esistenti. In altre parole, non era la

chiave (anticorpo) a produrre la propria serratura (antigene), ma era la serratura giusta che incontrava casualmente la propria chiave. Frank M. Burnet, qualche anno dopo, introdusse il principio della selezione clonale, al fine di identificare le proprietà essenziali del SI, ovvero la sua capacità di memoria. La teoria della selezione clonale ipotizza che, se un antigene si adatta bene a un recettore cellulare, si lega a questo e stimola la cellula a dividersi e a produrre altri recettori, costituendo una progenie di cellule identiche a quella selezionata dall'antigene, in altre parole un clone cellulare con anticorpi specifici per quell'antigene. Se un soggetto, per es., è vaccinato contro l'influenza, nel caso in cui il virus influenzale lo colpisca, un clone di linfociti specifici è già pronto ad attaccare il virus e a eliminarlo, con un notevole risparmio di fatica da parte del SI. Questo tipo di reazione antigene-anticorpo si definisce immunità specifica ed è quella che da anni la ricerca oncologica affronta al fine di sconfiggere il cancro e abbandonare l'era della chemioterapia con le sue note conseguenze tossiche. Se infatti fosse possibile selezionare in modo preciso l'antigene di ogni tipo di tumore si potrebbe allestire il vaccino specifico con cui combatterlo. In particolare, uno dei tumori su cui da oltre trent'anni si sta sperimentando il vaccino specifico è il melanoma, ossia il nevo cutaneo degenerato. Questo tumore, pur provocando nell'organismo la produzione di anticorpi specifici, in realtà non gli consente di difendersi in quanto paralizza l'attività del SI, consentendo lo sviluppo di metastasi in tempi assai rapidi.

Uno dei filoni di studio in cui l'Italia si colloca fra i primi posti nel mondo è proprio quello dei vaccini contro i tumori. Attualmente queste ricerche riguardano prevalentemente vaccini aspecifici, cioè non diretti contro l'antigene tumorale, ma in grado di stimolare tutte le risorse del SI mettendolo in condizione di eliminare o ridurre le cellule neoplastiche. Il Dipartimento di biologia cellulare dell'Istituto superiore di sanità ha in corso ricerche avanzate per la produzione di vaccini contro il melanoma, il tumore renale, quello del colon retto e quello della prostata. Tutti questi tumori si caratterizzano per la loro capacità di interagire con il SI. Su queste neoplasie la chemioterapia risulta poco efficace, e attualmente la migliore cura consiste nella chirurgia precoce, in modo da eradicare il tumore prima che questo possa sviluppare metastasi. In letteratura i casi di guarigione spontanea di tumori sono raramente descritti e vengono genericamente attribuiti a quella che è nota come immunità aspecifica. Nel caso del tumore renale, per es., dagli anni Novanta del 20° sec. si pratica una terapia intramuscolare con interferone gamma (IFN- γ), nel tentativo di migliorare la prognosi nei pazienti operati di carcinoma renale con il rischio di recidiva metastatica. La funzione di questo farmaco di natura biologica, peraltro prodotto anche dal nostro organismo, è quella di fare riconoscere meglio al sistema immunitario l'antigene tumorale da combattere.

Negli anni Ottanta, un protocollo terapeutico diffuso dall'European organisation for research and treatment of cancer (EORTC) prevedeva la somministrazione del vaccino antitubercolare di Calmette-Guérin (tramite il

bacillus Calmette-Guérin, BCG) ai pazienti operati di cancro polmonare in 1° stadio, allo scopo di prolungarne la sopravvivenza riducendo l'incidenza di metastasi. Il tumore polmonare, anche se operato in fase precoce, tende a sviluppare metastasi, tanto che su 100 pazienti operati precocemente, nei successivi 5 anni circa il 30% muore per comparsa di recidiva metastatica. La chemioterapia postchirurgica definita adiuvante non modifica queste percentuali, per cui si preferisce potenziare l'immunità naturale o aspecifica con l'attivazione di cellule immunitarie definite natural killer, in grado di uccidere le cellule tumorali riconoscendole come estranee all'organismo. Il vaccino BCG, specifico contro la tubercolosi, è costituito da germi svirulentati e ha la caratteristica di essere fortemente immunogeno, cioè in grado di attivare il SI sia in senso specifico, producendo anticorpi contro il bacillo di Koch, sia in senso aspecifico. Per immunità aspecifica si intende una generica risposta del nostro sistema immunitario in cui si attivano i cofattori dell'immunità e in particolare, come già detto, i linfociti natural killer. In altre parole, se con l'esercito di linfociti bene organizzati siamo in grado di combattere selettivamente il nemico, una volta identificato, possiamo anche, con l'attivazione dei fattori aspecifici immunitari, tenere alto il livello di difesa, riuscendo in questo modo a eliminare un considerevole numero di cellule tumorali. Negli anni Ottanta, il protocollo terapeutico di pazienti operati di tumore polmonare nello stadio iniziale definito 1° stadio A (tumore di diametro non superiore ai 3 cm e linfonodi regionali non interessati da metastasi) prevedeva un trattamento costituito da vaccinazioni mensili con tre dosi vaccinanti di BCG, intradermiche, agli arti superiori e in regione parasternale. Il trattamento fu mantenuto per un anno e i pazienti furono monitorati per 10 anni. In successivi studi di metanalisi sviluppati da gruppi di ricerca francesi e inglesi, il trattamento con BCG fece aumentare dell'8% la sopravvivenza nel gruppo di pazienti immunizzati, rispetto al gruppo di pazienti tenuto semplicemente in sorveglianza postoperatoria. Ancora oggi il trattamento con vaccino BCG viene attuato regolarmente, con periodiche instillazioni locali nel tumore vescicale operato e a rischio di recidiva locale.

Il SI è a tutti gli effetti un organo sensoriale in grado di distinguere tra ciò che è proprio dell'organismo (self) e ciò che gli è estraneo (non self). Attraverso il riconoscimento degli antigeni esso può percepire un'immagine interna del corpo e allo stesso tempo reagire ad alterate comunicazioni. Questo sistema cognitivo riceve e trasmette informazioni contribuendo ad ampliare le conoscenze dell'organismo e a definirne la sua identità biologica.

Secondo l'immunologo J. Edwin Blalock (1994, p. 509), il sistema immunitario e quello neuroendocrino rappresentano un circuito di informazioni integrate che comunica con legami recettoriali. La possibilità di decifrare un comune linguaggio biochimico fra cervello, sistema immunitario e sistema endocrino apre nuove vie interpretative su tutto il comportamento biologico.

Nel 1960, nel suo discorso per il ricevimento del premio Nobel per la medicina, Burnet affermò che in immunologia si ha a che fare con un microcosmo che riflette vividamente tutte le caratteristiche del cosmo biologico. La premessa di questo sistema è dunque quella di ignorare il self, cioè esserne inconsapevole, e identificare il non self al fine di acquisirne la nuova conoscenza o rigettarlo se troppo estraneo e quindi pericoloso per la sopravvivenza dell'organismo. Il SI inoltre ha una caratteristica adattativa, nel senso che è in grado di rispondere in maniera adeguata e flessibile alle sfide dell'ambiente, con caratteristiche legate alla stessa evoluzione biologica. Con il passare del tempo, in relazione alle continue novità esperienziali, il SI va arricchendosi di informazioni che vengono storicizzate e rimangono in archivio pronte ad attivarsi al momento necessario. L'analogia fra SI e SNC a questo punto è evidente, e non è un caso se Gerald M. Edelman, premio Nobel nel 1972 per la medicina o la fisiologia, con il proseguire dei suoi studi si sia indirizzato verso il campo delle neuroscienze. I due sistemi sono dotati di un analogo numero di cellule (oltre 100 miliardi), e sia neuroni sia linfociti condividono la capacità di produrre un ricordo sulla base delle esperienze acquisite. Entrambi i sistemi hanno una memoria arcaica e una memoria che continua ad arricchirsi, e le cellule possiedono un linguaggio comune attraverso i recettori cellulari, i neurotrasmettitori e i neurormoni (Soresi 2005).

In tempi più recenti, in particolare da quando è sorta la questione immunologica in merito ai trapianti, si è molto discusso su come l'organismo riesca a discriminare durante l'ontogenesi i costituenti propri (self) da quelli non propri (non self). È implicito che l'organismo, durante la fase dell'ontogenesi, apprende come distinguere le strutture molecolari caratteristiche della propria individualità genetica da quelle estranee, a cui successivamente sarà in grado di rispondere immunologicamente. Il timo, organo appartenente al tessuto linfoide, è responsabile della maturazione dei linfociti e del rigetto degli organi trapiantati. Richard K. Gershon ipotizzò nel 1972 il ruolo dei linfociti T (di origine timica) nell'induzione della tolleranza immunitaria. Le sue ricerche portarono all'identificazione delle sottopopolazioni cellulari T, come i linfociti T helper, la cui funzione è quella di attivare le cellule B (linfociti di origine midollare), i linfociti T suppressor, che inibiscono la risposta immunitaria, e i linfociti T citotossici, che attaccano direttamente i tumori e gli organi trapiantati (Bottaccioli 2002, 20082). Esiste poi un sistema parallelo costituito da molecole glicoproteiche, della stessa famiglia delle immunoglobuline e che si trovano su ogni cellula dell'organismo, le quali rappresentano gli antigeni di istocompatibilità. È la presenza di questi antigeni che consente al sistema immunitario il riconoscimento del self e quindi condiziona la tolleranza immunitaria. Nello sviluppo dell'immunologia dei trapianti è emerso in tutta la sua importanza il significato degli antigeni di istocompatibilità nella risposta immunitaria specifica dipendente dai linfociti T. La comparsa in medicina delle malattie autoimmuni è relativamente recente, e la loro identificazione è stata possibile grazie alla conoscenza

della tolleranza immunitaria. In sostanza si tratta di malattie in cui l'organismo si rivolta contro sé stesso e tende a distruggere determinati organi sconosciuti. Sulle cause scatenanti si sa ancora poco e non a caso, come ha precisato l'immunologo Alberto Mantovani, la gravidanza può rappresentare un fattore scatenante di queste malattie in donne già predisposte. Infatti, il SI della madre è impegnato a non 'rigettare' il feto che porta gli antigeni paterni. Le malattie autoimmuni sono aumentate del 50% negli ultimi 20 anni, in particolare le tiroiditi autoimmuni nelle giovani donne.

Le nuove ricerche, con la comparsa dei farmaci cosiddetti biologici, potrebbero permettere di non usare i cortisonici e i farmaci immunosoppressori, evitando in questo modo l'insorgere delle complicanze che ne derivano. Quanto poi, anche in questo caso, lo stress cronico possa rappresentare una delle tante cause scatenanti saranno i prossimi anni e le nuove ricerche sulla PNEI a dimostrarlo. Già nel 1964 lo psichiatra George F. Solomon introdusse il termine di psicoimmunologia, descrivendo alcuni casi di lupus eritematoso in pazienti psicotici, e tracciò anche alcuni profili di personalità e malattie autoimmuni, quali l'artrite reumatoide (Canali, Pani 2003). Da tutte queste considerazioni si evince che il SI può essere preso come modello per capire come si sviluppi un sistema adattativo e come la relazione esperienziale costruisca e formi la nostra personalità. Lo sviluppo del cervello e la sua plasticità si correlano allo sviluppo del SI e alla serie di esperienze che ognuno di noi affronta dal momento della nascita. Di conseguenza, la coscienza di noi stessi è frutto non solo di stimoli culturali ma anche di stimoli biologici, confermando come lo stato mentale sia la summa di una complessa fusione mente-corpo. Il medico, come ha precisato Edoardo Boncinelli (2000, 20062), grazie alle nuove scoperte della genetica si troverà sempre di più di fronte a individui anziché a una serie di fenomeni. Questo sarà un modo nuovo di fare interagire la parte scientifica della medicina (cioè la biologia) con il suo essere arte. Non cambierà però l'idea di obiettività che sta alla base della scienza, basata su verità astratte e su un confronto intersoggettivo di conoscenze. La medicina, sostiene ancora Boncinelli, non è mai stata scienza, non lo è oggi e forse non lo sarà mai. Il medico possiede piuttosto dei rudimenti di conoscenza, proprio perché la scienza della medicina è recente e si chiama biologia. Con il progredire delle conoscenze biologiche non potremo considerare più gli uomini una classe omogenea, e il dogma dei protocolli terapeutici uguali per tutti dovrà essere rivisto alla luce della loro individualità biologica. Si dovrà parlare di singoli individui e delle loro malattie, e quindi lo sforzo maggiore del medico sarà quello di comprendere le caratteristiche individuali dei pazienti. La nuova medicina sarà costruita a misura del paziente.

Le citochine

Si definiscono citochine quelle proteine, secrete in abbondanza nel nostro organismo, con funzioni di regolazione della crescita, della differenziazione e nell'attivazione di numerose cellule. Le citochine inoltre determinano il tipo di risposta immunitaria, controllano la mobilitazione delle cellule immunocompetenti e regolano la disposizione cellulare negli organi immunitari; in altre parole vanno considerate come gli ormoni del SI. Il tipo di citochine rilasciate in seguito a uno specifico stimolo immunologico condiziona il tipo di risposta del SI. Tale risposta può essere: citotossica, umorale, cellulo-mediata o allergica. Una singola citochina può innescare una cascata di numerosi eventi infiammatori. Le citochine comprendono quattro gruppi fondamentali: gli interferoni (IFN, di tipo α , β o γ), i fattori di crescita (GF, Growth Factors), il fattore di necrosi tumorale (TNF, Tumor Necrosis Factor) e le interleuchine (IL, da 1 a 39). Le citochine deputate a promuovere processi infiammatori sono: TNF, IL-1, IL-6, IL-8, IL-12, IL-15, IL-18, IL-23. Sono prodotte principalmente da tutte le cellule immunitarie, dalle cellule neuroendocrine, dalle cellule epiteliali e anche dalle cellule della microglia.

Per microglia si intende parte delle cellule gliali (astrociti, oligodendrociti, cellule della microglia), che rappresentano circa l'85% delle cellule cerebrali e la cui funzione si è andata chiarendo nei primi anni del 21° sec. (Bottaccioli 1995, 20052). Il ruolo delle cellule gliali, che fino a poco tempo fa erano considerate di semplice sostegno alle più nobili cellule neuronali, sta cambiando in modo significativo con il progredire delle ricerche. Attualmente si sa che gli oligodendrociti servono a fabbricare la guaina mielinica che riveste alcuni tipi di nervi, mentre le cellule microgliali hanno assunto un ruolo analogo a quello svolto dai macrofagi del sistema immunitario, ossia quello di cellule 'spazzino', ma nello stesso tempo sono in grado di produrre anche numerose citochine. Gli astrociti invece svolgono una funzione di alimentazione dei neuroni e sono determinanti nella modulazione delle sinapsi.

Da quanto esposto, le citochine appaiono i messaggeri della comunicazione fra i tre grandi sistemi (immunitario, endocrino e nervoso), e rappresentano uno degli aspetti fondamentali della PNEI. Queste evidenze, soprattutto quelle relative al ruolo delle citochine nella regolazione dell'espressione genica nell'SNC, sempre più confermano l'ipotesi che il cervello sia in grado di influenzare i processi immunitari e viceversa, cioè che le risposte immunitarie modifichino le funzioni neuronali e quindi gli stati psicologici. L'azione neurotropica delle citochine è evidente anche nei cambiamenti dell'assetto psichico, e anche nei sintomi psichiatrici che esse possono indurre. Le citochine influenzano il ciclo sonno-veglia, il comportamento alimentare, la percezione del dolore, il tono dell'umore. L'uso delle citochine, come l'interferone e le interleuchine, in medicina interna e in oncologia può essere associato a svariati effetti

psichiatriche collaterali come la depressione, l'inclinazione al suicidio, le disfunzioni cognitive, le psicosi (Canali, Pani 2003).

Il sistema nervoso centrale

Il cervello si può distinguere, secondo la teoria di Paul D. MacLean (Canali, Pani 2003), in tre diverse strutture: la prima, definita cervello di rettile o archencefalo, risale a circa 500 milioni di anni fa ed è responsabile dei comportamenti elementari; la seconda, detta cervello antico o cervello di mammifero, è rappresentata prevalentemente dal sistema limbico, ove risiede l'affettività, e risale a circa 300 milioni di anni fa; la terza, più recente, definita neocorteccia, è responsabile delle attività intellettive superiori. Se tutta la storia del mondo fosse condensata in un periodo di 24 ore, il nostro cervello comparirebbe 5 minuti prima della fine della giornata e la quasi totalità della storia umana occuperebbe l'ultimo minuto. La suddetta ripartizione anatomica non è rigida, ma presuppone continue interazioni di aree cerebrali.

È stato il neurofisiologo Antonio R. Damasio (2003) a valorizzare le emozioni come premessa a ogni atto decisionale. Studiando numerosi pazienti portatori di handicap neurologici, Damasio ha dimostrato come sia impossibile un atto decisionale non supportato da un intervento emozionale. In altre parole, emozione e sentimento sono indispensabili per la razionalità, e quindi nel costruirsi della ragione cooperano sia le regioni cerebrali di livello alto sia quelle di livello basso. Dai lobi frontali, direttori d'orchestra delle nostre azioni, si scende all'ipotalamo, al midollo allungato e, tramite il sistema neuroendocrino diffuso, si interagisce con la periferia attraverso un processo di fusione mente-corpo. Secondo Francisco J. Varela, «la mente è fondamentalmente qualcosa che deriva dalla tonalità affettiva, che è incastonata nel corpo. [...] Nel processo del sorgere momentaneo di uno stato mentale, gli stadi iniziali sono radicati nelle superfici senso-motorie vicino al midollo spinale nel mesencefalo, poi salgono nel sistema cosiddetto limbico» (2000, p. 11) e da ultimo nella corteccia superiore. Tutti noi, in particolare i medici, siamo convinti che il processo cognitivo sia solo quello legato alla comunicazione razionale espressa attraverso il linguaggio e la scrittura, ma se ci abituassimo a considerare cognitivo ogni stimolo percettivo riusciremmo a sviluppare una medicina molto più ricca di contenuti biologici. L'emozione infatti è già intrinsecamente cognitiva. Il tronco encefalico, proseguimento del midollo allungato che risiede nello speco vertebrale, tramite i nervi cranici riceve segnali da tutto il corpo, al quale ne invia poi, a sua volta, in continuazione. È nel tronco che sono collocati i nuclei che, in integrazione con l'ipotalamo, governano i sistemi simpatico e parasimpatico. In tale area, antichissima in senso evolutivo, si concentra il controllo delle funzioni vitali che riguardano la respirazione, l'attività cardiaca, la motilità intestinale, il sonno e la veglia. Da queste strutture cerebrali vengono secreti i più

importanti neurotrasmettitori, quali la dopamina, la serotonina, l'acetilcolina, la noradrenalina e l'istamina. Nel tronco encefalico, secondo alcuni neuroscienziati, si può ipotizzare la nascita della coscienza. Proseguendo verso l'alto si trova una porzione del cervello definita diencefalo, che comprende il talamo e l'ipotalamo. Attraverso il talamo passano tutti i segnali che vanno dalla corteccia al tronco e viceversa, e quindi questa struttura si può considerare a tutti gli effetti come una ricetrasmittente. L'ipotalamo invece, che alcuni vorrebbero associare all'area limbica, è composto da una serie di nuclei neuronali che integrano numerose funzioni vitali, quali, per es., la fame, la sete, la temperatura corporea, l'attività endocrina, il comportamento sessuale, l'attività del SI e così via. Per questo motivo l'ipotalamo si collega con quasi tutte le strutture cerebrali, ma in realtà riceve informazioni anche dalla periferia e in particolare dal SI. I nuclei ipotalamici inoltre si interfacciano con aree cruciali quali l'amigdala, depositaria della memoria emozionale e in parte cognitiva, e l'ippocampo che svolge un ruolo chiave nella memoria cognitiva e sul quale i più recenti studi hanno fornito nuove importanti conoscenze. Infatti l'ippocampo produce nuovi neuroni (neurogenesi) e quindi nuovi ricordi a qualsiasi età, ed è collegato alla corteccia prefrontale, fondamentale per l'integrazione della memoria e il suo continuo aggiornamento. L'ippocampo e gli strati profondi della corteccia cerebrale, come il giro del cingolo, costituiscono l'area limbica, così definita nel 19° sec. da Pierre-Paul Broca. Questa struttura, con amigdala e diencefalo, è alla base dei processi emozionali e cognitivi.

La corteccia cerebrale, spesso pochi millimetri, ricopre gli emisferi e ha un aspetto convoluto, grazie a solchi o giri che le consentono di contenere circa 30 miliardi di neuroni. La corteccia viene divisa in quattro aree o lobi: frontale, parietale, temporale e occipitale. Una caratteristica peculiare della corteccia è la sua organizzazione in strati e in colonne. Le colonne sono come dei microscopici circuiti integrati costituiti da neuroni appartenenti ai diversi strati, che quindi lavorano in sinergismo fra di loro. Alcuni neuroscienziati considerano le colonne corticali come gli elementi unitari da cui nasce il network biologico origine della coscienza. Le funzioni della corteccia, per quanto riguarda la vista e l'udito, sono rappresentate prevalentemente nei lobi parietoccipitale e temporale. Le informazioni che giungono dai sensi vengono integrate ed elaborate nelle diverse aree con un meccanismo associativo. Nel caso della vista, per es., l'immagine di un oggetto viene scomposta in dimensioni, forma, profondità, colore e collocazione nello spazio. Tutti questi frammenti, situati in diverse aree associative, vengono poi ricomposti in un'immagine unitaria. Nella corteccia prefrontale, invece, si trovano le aree che presiedono ai movimenti e i circuiti dell'attenzione e della memoria. Le connessioni fra le aree della corteccia e le aree profonde del cervello sono bidirezionali. Dal talamo, per es., le informazioni raggiungono gli strati inferiori della corteccia, che a loro volta le trasmettono agli strati superiori, da cui verranno poi inviate al sistema limbico, ai nuclei della base e al cervelletto. La funzione del cervelletto è stata recentemente rivalutata, in quanto non è solo responsabile dei

movimenti, ma collabora alla formazione della memoria, sia procedurale sia cognitiva. Ricordiamo infine che la maggior parte degli organi riceve una innervazione dal sistema sia simpatico sia parasimpatico o vagale, mentre uno dei pochi organi che riceve solo l'innervazione simpatica è la midollare del surrene, che attraverso particolari cellule di tipo neuroendocrino libera catecolamine (adrenalina, noradrenalina e dopamina). Questa via diretta che collega il cervello e il surrene è importante nella regolazione dello stress.

Lo stress

Il primo clinico a utilizzare il termine stress fu Hans Selye, che lo ricavò da strain, utilizzato in fisica con il significato di strappo, sforzo. Nel 1936 Selye, in seguito ad alcuni esperimenti, arrivò a identificare questo fenomeno come una condizione morbosa prodotta nelle cavie da laboratorio da stimoli nocivi e caratterizzata da modificazioni fisiopatologiche quali ipertrofia della corticale del surrene, ipotrofia del timo e degli organi linfatici e comparsa di ulcere sanguinanti dello stomaco. Più in generale, lo stress può essere considerato un insieme di reazioni a catena scatenate da uno stimolo esterno (stressor), che si estrinseca seguendo due vie, una comportamentale e l'altra biologica. Dal punto di vista comportamentale si osserva una modifica di atteggiamento dell'individuo che tenta di rimuovere l'evento stressante; dal punto di vista biologico l'attivazione del sistema neurovegetativo e neuroendocrino mette l'individuo in una condizione di 'allerta' (aumento della frequenza cardiaca, della pressione arteriosa, degli atti respiratori), al fine di rispondere allo stimolo esterno. Gli eventi stressanti o stressor sono stimoli di varia natura che interessano comunemente gli individui; essi vengono classificati in biologici (infezioni), fisici (esposizione al caldo, al freddo, traumi), psicosociali (disoccupazione, separazione, lutti ecc.) e intrapsichici (paure, conflitti interni ecc.). I meccanismi che coinvolgono a catena il SNC, il SI e il SNE sono molteplici e dimostrati da numerose ricerche scientifiche sperimentali e cliniche (Cafiero, Prota, Marenzi et al. 2006). Gli ormoni ipotalamici e ipofisari e gli ormoni timici regolano la risposta immunitaria che, in presenza di eventi stressanti, può deprimersi o al contrario potenziarsi. La grande novità, dimostrata da pochi anni, è rappresentata dalla scoperta che le cellule di sostegno del SNC (astrociti, oligodendrociti e cellule della microglia) esprimono un'attività simile a quella delle cellule immunitarie, con liberazione di citochine, direttamente immesse nel sangue da parte delle cellule della microglia. Il nostro organismo è in grado di tollerare solo per brevi periodi uno stato di alterata omeostasi, che viene definito allostasi. Quanto più si rimane in questa condizione organica disarmonica o 'eroica', tanto più vi saranno conseguenze negative, che si possono così riassumere: a) aumenta il cortisolo ematico; b) si riducono i globuli bianchi e si altera la formula leucocitaria; c) si riducono i linfociti CD4 responsabili delle difese immunitarie; d) si riducono i linfociti natural killer; e) si riduce l'indice di blastizzazione, ossia la capacità dei linfociti di reagire a stimoli estranei e nuovi per l'organismo; f) si riduce

la produzione di IFN- γ , IL-1, IFN- β ; g) aumentano i titoli anticorpali dei virus latenti (herpes simplex 1 e 2, virus Epstein-Barr, citomegalovirus ecc.); h) si riducono le cellule nervose dell'ippocampo; i) aumenta la pressione arteriosa; l) aumenta la frequenza cardiaca.

Lo stress può essere nocivo, ma anche benefico. Una certa tensione, paragonabile al tono muscolare, è persino necessaria per potere fornire prestazioni efficienti. Non è semplice capire quando siamo in pericolo, in quanto lo stress è una condizione personalizzata sia per quanto riguarda la capacità di risposta del nostro organismo sia per il tipo di eventi scatenanti. Molti ricercatori nel campo della endocrinologia e della neuropsichiatria sono alla ricerca di indicatori dello stress al fine di elaborare uno strumento che ci permetta di capire quale sia la nostra tolleranza allo stress.

L'omeostasi, come ha spiegato Steven Rose (1997), è la tendenza dell'organismo a operare per regolare il proprio ambiente interno, ovvero si tratta della costante messa a punto fra il biologico e il sociale. I valori programmati per l'omeostasi cambiano continuamente in quanto lo stesso organismo gioca un ruolo attivo nel determinare il proprio destino, essendo dotato di grande plasticità nel corso dello sviluppo. Rose ha introdotto il concetto di darwinismo dinamico, secondo il quale l'organismo si modifica in relazione all'ambiente non in maniera passiva bensì attiva, in base all'ambiente sociologico nel quale si trova. Questa autopoiesi, ossia costruzione del Sé, è quindi caratteristica di noi umani, ma è importante, quando affrontiamo situazioni eroiche, avere la percezione di ciò che stiamo pagando in quel momento per sostenere quella determinata situazione operativa. A quel punto abbiamo due possibilità: o rientrare rapidamente nello status quo ante per evitare di ammalarci, o capire che l'organismo è in grado di sostenere quella scelta in quanto è riuscito a modificare la sua omeostasi. Chiave di volta del controllo dello stress è l'ippocampo, piccola formazione situata nei nuclei della base cerebrale, che immagazzina in memorie precostituite o engrammi neurali la rappresentazione dell'ambiente esterno frutto di esperienze precedenti. In tal modo l'ippocampo è in grado di valutare gli eventi reali con modelli teorici predeterminati. Una volta eseguito questo esame, l'ippocampo innesca una cascata neuroendocrina attivando l'asse ipotalamo-ipofisi-surrene. Così facendo, questa efficientissima struttura cerebrale opera in due modi: controllando il mondo esterno e, in certe situazioni, trasformandosi in centro di attivazione neuroendocrina. Questa cascata neuroendocrina a sua volta si ripercuote sul comportamento dei linfociti T help-er, registi della risposta immunitaria.

I linfociti T helper sono suddivisi in due classi, Th1 e Th2, il cui equilibrio definisce la bilancia immunitaria analogamente al modello yin-yang della medicina cinese, ossia polarità opposte di un medesimo processo. Una condizione di stress cronico, creando uno sbilanciamento a favore dei Th1, può favorire la comparsa di

malattie autoimmuni, quali la sclerosi multipla per il sistema nervoso, il morbo di Crohn per l'intestino e l'uveite per l'occhio. Una polarizzazione opposta invece può portare a un eccesso di risposta anticorpale, in particolare verso gli allergeni, con una iperproduzione di immunoglobuline di tipo E (IgE). Si ritiene che le allergie e il LES (Lupus Eritematoso Sistemico, malattia autoimmune da immunocomplessi) siano da attribuire all'eccessiva polarizzazione del circuito Th2.

Effetto placebo

Per effetto placebo s'intende la capacità dell'organismo di liberare sostanze endogene con finalità terapeutiche. L'effetto placebo viene utilizzato con frequenza nel campo della ricerca scientifica e in oncologia, e spesso vengono sviluppati protocolli scientifici terapeutici che comparano un nuovo farmaco antitumorale a un prodotto inerte definito appunto placebo. La statunitense Food and drug administration (FDA) considera il controllo effettuato con il placebo il migliore possibile. Le sue linee guida per la registrazione di nuove molecole ne prevedono l'utilizzo almeno per certe classi di farmaci. Sul piano scientifico sono tre gli argomenti che vengono addotti a sostegno dell'utilizzo del placebo nella ricerca clinica: a) il placebo costituisce un punto di riferimento; b) spesso risulta difficile decidere con quale trattamento sia più opportuno confrontare una nuova molecola; c) è più facile valutare la significatività statistica negli studi clinici controllati con il placebo. Che i pensieri e le emozioni possano influire sulla nostra salute, alla luce dello sviluppo della PNEI e delle ricerche scientifiche su di essa, non è una novità, e sempre più in questi ultimi anni stanno nascendo pratiche sanitarie scientificamente validate i cui risultati vengono ascritti al placebo.

Studiosi dell'University of Michigan hanno dimostrato che il placebo induce il nostro cervello a produrre una maggiore quantità di endorfine, analgesici naturali. In un lavoro del 1997 (Fields, Price) si è potuto osservare, grazie alle tecniche più avanzate di imaging cerebrale, ossia PET (Positron Emission Tomography) e fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging), quello che succede nel cervello dopo la somministrazione di un placebo. Questo studio conferma quanto riportato in un precedente lavoro (Ma, Shi, Han 1992), da cui si evince che il naloxone, farmaco che blocca l'azione della morfina e delle endorfine, somministrato assieme al placebo ne riduce gli effetti. La mente, quindi, in qualche modo controlla la chimica del cervello. Come si attivi questa capacità e come indurla in base alla necessità sono oggetto di studio. La sfida della medicina odierna consiste nell'identificare i percorsi che collegano le condizioni mentali alle risposte organiche fisiologiche e patologiche. Da anni è noto il circuito del piacere, conosciuto come sistema dopaminergico mesolimbico e caratterizzato da una rete specializzata di neuroni che usano come neurotrasmettitore la

dopamina. Si tratta di una via cerebrale comune a diversi stimoli positivi, naturali o sintetici che siano, nella quale il risultato finale è sempre lo stesso, e cioè il rilascio di dopamina, il neurotrasmettitore coinvolto nei processi di gratificazione.

Più di recente è stato identificato il sistema endocannabinoide con i suoi recettori per la morfina (CB1), che ha consentito di capire meglio i collegamenti fra le cellule del sistema nervoso. Recettori CB1 sono stati trovati anche negli adipociti, e infatti il sistema endocannabinoide è coinvolto nell'assunzione del cibo, nel bilancio energetico e nel consumo di tabacco. Gli endocannabinoidi svolgono un importante ruolo nella regolazione dell'ansia e del vomito, nel controllo del dolore e nel prevenire la morte neuronale; questo è il motivo per cui la ricerca scientifica è impegnata a sviluppare farmaci derivati dalla marijuana, senza i suoi effetti collaterali. La marijuana, infatti, presenta notevoli vantaggi terapeutici in quanto allevia l'ansia e il dolore ed elimina il riflesso del vomito, riducendo i danni tossici della chemioterapia. Recenti scoperte della biologia e della neurobiologia permettono di ricostruire l'interpretazione dell'effetto placebo in modo assai nuovo e accurato, in quanto questo particolare effetto costituisce per ogni individuo un patrimonio biologico frutto di una complessa storia evuzionistica collettiva, e nel contempo è espressione di una individualità biologica correlata a una summa di esperienze cognitive. Lo sviluppo della PNEI, infatti, ha potuto spiegare come ogni minimo stimolo cerebrale si traduca in uno stimolo elettrico, e come questo a sua volta possa indurre modificazioni neurochimiche e liberazione di neurotrasmettitori che attraverso la via ematica si diffondono in tutto l'organismo.

Le risposte del SI e i neurormoni prodotti dalle cellule immunitarie inducono parallelamente una serie di modificazioni a carico del sistema neuroendocrino e del sistema nervoso centrale, per cui questa intricata rete di recettori e messaggeri cellulari rappresenta il complesso sistema di comunicazione fra psiche e soma e spiega ampiamente sia l'effetto placebo sia l'effetto nocebo. A proposito di quest'ultimo, è stato dimostrato come l'ansia attivi una serie di circuiti nervosi che dall'ipotalamo passano all'ipofisi e da qui arrivano alla ghiandola surrenale, con conseguente liberazione di ormoni dello stress (come il cortisolo). Questo meccanismo spiega l'aumento del dolore o del vomito nei pazienti portatori di tumori, in chemioterapia.

Come ha scritto Edelman (2004), la mente di un individuo non risiede nel cervello, ma è rappresentata da un Io cognitivo inteso come struttura in continuo mutamento; da questa considerazione deriva che l'effetto placebo è frutto di una summa di eventi biologici vissuti dall'organismo attraverso continui mutamenti indotti dalle varie esperienze. Le conclusioni finora raggiunte nel campo delle neuroscienze indicano che i processi mentali derivano dall'attività di sistemi cerebrali straordinariamente intricati a molti e diversi livelli di

organizzazione. Allo stato attuale delle conoscenze, tali livelli comprendono sicuramente quelli molecolari, cellulari, di organismo (l'intera creatura) e di transorganismo (la comunicazione empatica). È sorprendente, afferma Edelman, rendersi conto di quante connessioni si proiettino da ognuno di questi livelli a un altro, da una reazione di paura indotta, da un grido di avvertimento a un processo biochimico che condiziona il comportamento futuro. Da un'infezione virale come stimolo del sistema immunitario si arriva a una modificazione dello sviluppo del cervello con una sua conseguente diversa maturazione. Esemplicando, se un bambino contrae una malattia esantematica di natura virale con forte reazione febbrile, espressione della produzione di anticorpi in risposta all'attacco virale, viene indotta un'intensa modificazione delle strutture cerebrali conseguente al bombardamento di neurotrasmettitori e ormoni prodotti dai linfociti, che contemporaneamente si attivano per produrre anticorpi. Questo evento biologico determina, come conseguenza, notevoli modifiche a carico delle strutture cerebrali plasmandole in senso evolutivo come risposta a uno stimolo cognitivo derivante dal sistema immunitario. Quindi, la somma di eventi emozionali e biologici modella lo sviluppo del bambino che potrà, a seconda delle esperienze vissute, costruire un'immagine di sé forte o inadeguata, distaccata o dipendente. Lo sviluppo della mente va reintegrato all'interno della natura; nel corso dell'evoluzione, infatti, i corpi sono pervenuti ad avere menti, ma questa osservazione non basta ad affermare che la mente è parte integrante del corpo: occorre dimostrare in che rapporto strutturale e funzionale la prima interagisca con il secondo.

Se riportiamo queste riflessioni sullo sviluppo della mente attraverso il processo evuzionistico all'effetto placebo, possiamo comprendere come tale risposta biologica, collegata al processo dell'apprendimento, non sia esclusivo appannaggio dell'uomo, ma appartenga in generale al mondo animale. L'effetto placebo, infatti, è collegato alle aspettative costruitesi attraverso l'apprendimento. Se a un topo di laboratorio viene iniettata sottocute una minima dose di apomorfina in un ambiente che gli è familiare, all'animale aumenta la salivazione e si rizza il pelo; quindi esso si appallottola manifestando sintomi di sofferenza per un breve periodo. Qualche mese dopo, se allo stesso topo, posto nello stesso ambiente, si inietta una minima dose di soluzione fisiologica, egli ripropone lo stesso tipo di comportamento sofferente. Questa reazione si definisce, al contrario dell'effetto placebo, effetto nocebo collegato all'apprendimento (Wall 1999). Se l'effetto placebo è la realizzazione di un'aspettativa, le aspettative si apprendono a livello individuale; se più persone condividono le stesse aspettative si genera una cultura. La cura, in generale, non può prescindere dall'aspetto relazionale, per cui se medico e malato nutrono fiducia l'uno nell'altro, la terapia, se corretta, in genere funziona. Conseguentemente, anche la compressa assume nella cultura medica occidentale il valore di un simbolo, quello della vittoria dell'intelligenza umana sui mali provocati dalla natura.

Conclusioni

Allo scopo di rendere chiaro quanto l'assetto psichico possa modificare una risposta biologica, riporto un caso clinico, paradigmatico, affrontato negli anni Novanta all'ospedale di Niguarda, a Milano. Il paziente era un uomo di 40 anni, vestito sempre con grande accuratezza, molto preciso nel suo eloquio e nella spiegazione dei suoi sintomi che registrava su un piccolo blocco di appunti. Soffriva di asma notturna e fin dalle prime visite il suo caso risultò di difficile soluzione terapeutica. Clinicamente l'auscultazione del torace e la spirometria confermavano l'asma bronchiale. Ricevuta la prescrizione dell'adeguata terapia, il paziente si presentava mensilmente alla visita, specificando che dopo qualche giorno di benessere l'asma notturna si era comunque ripresentata. Si proseguì in questo modo per oltre un anno; di questo paziente colpiva l'atteggiamento estremamente pignolo nella descrizione dei sintomi, il che rappresentava la spia di uno stato psichico ossessivo. Dopo che gli era stata prescritta l'ennesima terapia, il paziente non si fece vedere per un lungo periodo. In seguito ricomparve per un controllo, comunicando la sua guarigione dall'asma e specificando di essersi finalmente liberato grazie all'intervento di una fattucchiera, che aveva infilato una serie di spilloni nel suo letto. Inviato dallo psichiatra, il paziente risultò in una condizione psicotica tipica dei malati borderline, che passano da stati normali a stati psicotici. Clinicamente, in quella condizione psichica, il paziente non risultava asmatico e la spirometria era normale. La deduzione ricavata da questo caso fu lineare: quando il paziente si trovava in uno stato psichico di normalità soffriva d'asma, quando invece entrava nella condizione psicotica l'asma scompariva, a conferma di come l'assetto psichico possa modificare il comportamento biologico.

Ormoni e meccanismi dell'azione ormonale

Enciclopedia della Scienza e della Tecnica (2007)

di Domenico Andreani, Paolo Ciampalini

Ormoni e meccanismi dell'azione ormonale

Il termine 'ormone' indica una sostanza che, prodotta da una cellula endocrina, cioè a secrezione interna, viene liberata nel circolo sanguigno, provocando risposte funzionali in cellule localizzate a varia distanza dalla sua sede di produzione. Per l'espletamento dell'azione ormonale sono necessari, oltre alla sintesi e alla secrezione, il trasporto nel circolo sanguigno e la destinazione nei tessuti bersaglio dove sono presenti i recettori, strutture specializzate che riconoscono lo stimolo specifico e ne traducono il messaggio.

I recettori possono essere sulla membrana della cellula o all'interno di essa; l'ormone che non può attraversare la membrana (per es., un peptide) si lega a recettori localizzati sulla membrana plasmatica, mentre quello che diffonde attraverso la membrana plasmatica all'interno della cellula (steroidi, iodotironine) si lega a recettori intracellulari (in genere situati nel nucleo). Indipendentemente dalla struttura e dal tipo di ormone, i recettori hanno caratteristiche comuni: tutti presentano una regione in grado di riconoscere e legare l'ormone e un'altra deputata alla generazione di un segnale intracellulare che traduce il messaggio ormonale in risposte funzionali della cellula bersaglio; anche le proprietà che regolano il legame dell'ormone (affinità, specificità, saturabilità, capacità di trasduzione, cioè di evocare effetti specifici) sono comuni per tutti i recettori.

La comunicazione affidata agli ormoni avviene per la maggior parte attraverso il circolo ematico (azione endocrina), ma, in parte minore, anche mediante altre modalità. Alcuni ormoni agiscono infatti sulle cellule immediatamente circostanti la cellula che li produce (azione paracrina); in altre evenienze, invece, interagiscono con la stessa cellula secretrice (azione autocrina); altri ormoni, infine, vengono prodotti dai neuroni del sistema nervoso (azione neurocrina, che in realtà rappresenta una forma specializzata di azione paracrina). Nell'ultimo ventennio del Novecento sono stati condotti approfonditi studi su sostanze che presentano grande importanza biologica, quali le citochine, i fattori di crescita, le endorfine (oppioidi endogeni) e le endoteline, le cui modalità di produzione e azione sono, per molti aspetti, assimilabili a quelle ormonali; tali principi, in via diretta o indiretta, sono in grado di influenzare, generalmente in piccola misura, le secrezioni endocrine e gli effetti ormonali. In questa sede, tuttavia, ci si atterrà all'elencazione e alla trattazione più classica degli ormoni. Sono stati identificati più di cinquanta ormoni, le cui caratteristiche funzionali vengono determinate dalla diversa struttura molecolare. In base a questa, essi vengono suddivisi in quattro grandi categorie: proteine e peptidi; steroidi; derivati dagli amminoacidi; derivati dagli acidi grassi polinsaturi.

Gli ormoni, interagendo con i recettori localizzati a livello dei tessuti bersaglio, evocano risposte specifiche: regolano le attività enzimatiche, l'espressione genica e la sintesi delle proteine.

sommario

1. Classificazione. 2. Recettori ormonali. 3. Azioni degli ormoni. 4. Sistema di feedback o di regolazione retrograda. 5. Bioritmi. □ Bibliografia.

1. Classificazione

Ormoni peptidici e proteici

Comprendono peptidi di piccole dimensioni, polipeptidi e glicoproteine di grandezza molecolare maggiore (tab. 1).

Tab. 1 Ormoni peptidici e proteici

ORMONE	SEDE PRODUZIONE	AZIONE BIOLOGICA PRINCIPALE
<i>Peptidi e polipeptidi</i>		
adrenocorticotropo (ACTH)	adenoipofisi	regola la produzione ormonale del surrene
angiotensina (I e II)	rene (attivazione diffusa)	regola la pressione arteriosa
arinvasopressina (ADH)	neuroipofisi	regola il riassorbimento di acqua a livello del rene
calcitonina	tiroide	regola il metabolismo del calcio
colecistochina	intestino	regola la mobilità e le secrezioni intestinali, agisce da neurormone
endotelina	endotelio vasale	ha effetto vasocostrittore e ipertensivo
gastrina	stomaco	regola l'acidità dello stomaco
glucagone	pancreas	aumenta la glicemia
insulina	pancreas	regola l'utilizzazione del glucosio
fattore di liberazione del corticotropo	ipotalamo	regola la produzione di ACTH
fattore di liberazione delle gonadotropine (GnRH)	ipotalamo	regola la produzione di LH e FSH
fattore di liberazione del somatotropo	ipotalamo	regola la produzione di GH
fattore di liberazione del tireotropo (TRH)	ipotalamo	regola la produzione di TSH
peptide natriuretico atriale	cuore	regola la diuresi
ossitocina	neuroipofisi	regola la lattazione e la motilità dell'utero gravidico
paratormone (PTH)	paratiroidi	regola il metabolismo del calcio
polipeptide intestinale vasoattivo (VIP)	intestino	regola la motilità e le secrezioni intestinali, agisce da neurormone
polipeptide pancreatico	intestino	regola la motilità e le secrezioni intestinali
prolattina (PRK)	adenoipofisi	regola la produzione del latte
renina	rene	regola la pressione arteriosa
somatomedina-C	fegato	media gli effetti del GH
somatostatina	ipotalamo	inibisce la produzione di alcuni ormoni ipofisari e pancreatici
somatotropo (GH)	adenoipofisi	regola i processi della crescita
<i>Glicoproteine</i>		
ormone follicolostimolante (FSH)	adenoipofisi	regola la produzione ormonale delle gonadi
ormone luteinizzante (LH)	adenoipofisi	regola la produzione ormonale delle gonadi
ormone tireostimolante (TSH)	adenoipofisi	regola la produzione ormonale della tiroide
gonadotropina corionica (HCG)	placenta	regola la progressione della gravidanza
eritropoietina	rene	regola la produzione midollare dei globuli rossi

Sono idrosolubili e pertanto circolano liberi nel plasma; di solito non penetrano all'interno delle cellule ed esplicano i loro effetti grazie al legame con i recettori localizzati in superficie sulla membrana cellulare. La

sintesi degli ormoni peptidici avviene con modalità identiche a quelle di tutte le altre molecole proteiche non ormonali (dal reticolo endoplasmatico alle cisterne di Golgi, ai granuli secretori), anche se sono peculiari degli ormoni peptidici la sintesi codificata da più geni, la formazione di più ormoni da un precursore comune e la sintesi in più subunità. Il processo di sintesi inizia con la trasformazione delle indicazioni contenute nel DNA genico e prosegue con un preciso ordine, grazie all'esistenza di specifici segnali, mediati dall'mRNA (RNA messaggero).

Gli ormoni proteici provengono invece da precursori più grandi e complessi, che subiscono processi proteolitici successivi fino al formarsi dell'ormone finale; su tale base, essi possono essere suddivisi in vari gruppi: vi sono polipeptidi che già prima di essere trasformati in prodotto finale possono essere immessi in circolo sotto forma di pre-pro-ormone e svolgere una qualche attività biologica, come è il caso dell'insulina, mentre per altri i complessi molecolari sono rappresentati da sequenze che non vengono poi riscontrate nell'ormone finale, oppure danno luogo a diversi prodotti biologicamente attivi. Un altro gruppo di ormoni proteici più complessi è caratterizzato dal fatto di essere sintetizzato in due pre-subunità che successivamente si uniscono: questo meccanismo di secrezione avviene, per es., per gli ormoni ipofisari TSH (Thyroid stimulating hormone), FSH (Follicle stimulating hormone), LH (Luteinizing hormone) e per la gonadotropina corionica (HCG, Human chorionic gonadotropin), che hanno un contenuto elevato di carboidrati e, pertanto, appartengono alla classe delle glicoproteine.

Gli ormoni peptidici si accumulano all'interno della cellula nei granuli secretori con un processo sintetico continuo; vengono liberati in seguito a stimoli specifici attraverso la cosiddetta 'esocitosi', che consiste nella fusione della membrana dei granuli con la membrana cellulare e nella successiva immissione nel circolo capillare che circonda la cellula. Questa immissione in circolo avviene immediatamente, al fine di rispondere ai bisogni del momento. Una volta secreti, gli ormoni proteici circolano in forma libera nel plasma, in quanto, a eccezione delle somatomedine, non contraggono legami con le proteine plasmatiche. Le loro concentrazioni nel plasma sono nell'ordine di 10^{-10} mol; la loro emivita plasmatica, e quindi la loro presenza in circolo, varia a seconda del tipo di ormone: da 3 a 10 min (ADH, Antidiuretic hormone; PTH, Parathyroid hormone; TRH, Thyrotropin-releasing hormone; GnRH, Gonadotropin-releasing hormone), da 50 a 80 min (LH, TSH), fino a 4 ore (FSH e HCG). Gli ormoni glicoproteici sono metabolizzati a livello epatico, mentre quelli non glicoproteici vengono invece metabolizzati e degradati prevalentemente a livello delle cellule bersaglio. Solo piccole quantità di ormoni peptidici vengono escreti direttamente attraverso le urine.

Ormoni steroidei

Sono liposolubili, diffondono liberamente all'interno della cellula ed esercitano la loro azione dopo essersi legati a recettori localizzati nel nucleo. La loro struttura chimica, che è policiclica, deriva dal colesterolo. Sono

suddivisi, in base alla sede di produzione, in steroidi gonadici e surrenalici; vengono inclusi in questa categoria anche la vitamina D e i suoi analoghi (tab. 2).

Tab. 2 Ormoni steroidei

ORMONE	SEDE PRODUZIONE	AZIONE BIOLOGICA PRINCIPALE
aldosterone	surrene	regola la pressione arteriosa
corticosterone	surrene	regola la pressione arteriosa
cortisolo	surrene	regola il metabolismo glucidico, proteico, la reattività tissutale ecc.
diidrotosterone	cute	azione androgenica (mascolinizante)
estradiolo (E ₂)	ovaio	ha effetti femminilizzanti e regola il ciclo mestruale
progesterone	ovaio	regola il ciclo mestruale
testosterone	testicolo	azione androgenica e anabolizzante
1,25-diidrossicolecalciferolo	rene	regola il metabolismo del calcio (assorbimento intestinale)
25-idrossicolecalciferolo	fegato	regola il metabolismo del calcio (assorbimento intestinale)

Gli ormoni steroidei prodotti dal surrene e dalle gonadi si dividono in sottogruppi in base al numero di atomi di carbonio del nucleo steroideo: il progesterone, i glicocorticoidi e i mineralcorticoidi derivano per sintesi successive dal pregnano, una sostanza semplice che contiene 21 atomi di carbonio, mentre gli estrogeni provengono dal nucleo dell'estrano che ha 18 atomi di carbonio, e gli androgeni dal nucleo dell'androstano, che contiene 19 atomi di carbonio.

La sintesi degli ormoni steroidei segue tappe biosintetiche identiche sia nel surrene sia nell'ovaio o nel testicolo e la differenziazione nelle tre ghiandole endocrine dipende da una diversa distribuzione tessuto-specifica degli enzimi di sintesi. La steroidogenesi passa attraverso una serie di tappe enzimatiche, in massima parte catalizzate dagli enzimi citocromo P450 (cP450) localizzati all'interno delle cellule, e inizia dalla trasformazione del colesterolo in pregnenolone. Questa tappa enzimatica è la più importante in quanto controlla la sintesi di tutti gli ormoni steroidei; anche in presenza di notevoli quantità di colesterolo, la possibilità di proseguimento della via biosintetica appare limitata, poiché dipende dall'attività dagli enzimi cP450. Il pregnenolone formato fuoriesce dal mitocondrio e viene trasferito sul reticolo endoplasmatico, dove subisce le successive modificazioni enzimatiche da parte dei cP450. Il pregnenolone è quindi il precursore comune dei principali ormoni steroidei.

I glicocorticoidi vengono sintetizzati nella zona fascicolata e, in minor misura, nella zona reticolare del surrene. L'ormone più importante del gruppo è rappresentato dal cortisolo che si forma attraverso successivi passaggi: dapprima il pregnenolone viene trasformato in progesterone e 17-idrossipregnenolone, quindi in 17-idrossiprogestosterone, successivamente in 11-desossicortisolo e infine in cortisolo. Il cortisone, che è il prodotto commercialmente più noto, è un deidro cortisolo; perché possa agire è necessario che avvenga la sua trasformazione in cortisolo.

I mineralcorticoidi vengono sintetizzati nella zona glomerulare del surrene. A partire dal pregnenolone, la via biosintetica porta alla formazione di progesterone e da questo a quella di desossicorticosterone. Le tappe successive consistono nella trasformazione del desossicorticosterone in corticosterone, quindi in 18-idrossicorticosterone e infine in aldosterone, che è l'ormone fondamentale del gruppo.

Gli androgeni vengono sintetizzati dalle cellule di Leydig del testicolo, dalla zona reticolare del surrene e dalle cellule della teca del follicolo e dall'interstizio dell'ovaio. La via biosintetica che procede dal pregnenolone segue due possibili direzioni: la prima via consiste nella trasformazione del pregnenolone in 17-idrossipregnenolone, di questo in deidroepiandrosterone, quindi in androstenediolo, e infine in testosterone, che è il principale ormone maschile. La seconda via consiste nella trasformazione del pregnenolone in progesterone, di questo in 17-idrossiprogestosterone e quindi nella formazione di androstenedione, a sua volta successivamente trasformato in testosterone. In alcuni tessuti il testosterone necessita di un'ulteriore reazione di trasformazione in 5α -diidrottestosterone per esplicare la sua attività. Nel surrene dove, rispetto al testicolo, vi è una diversa distribuzione degli enzimi che catalizzano queste vie biosintetiche, la maggior parte della produzione di androgeni surrenali è diretta verso l'elaborazione di precursori del testosterone e, in maniera particolare, di deidroepiandrosterone e androstenedione, che hanno un'attività ormonale di più modesta entità. Circa il 50% del pregnenolone metabolizzato nella corteccia surrenale viene convertito in deidroepiandrosterone.

Gli estrogeni e il progesterone, i principali ormoni femminili, sono gli steroidi prodotti in maggiore quantità dall'ovaio e sono coinvolti nella regolazione del ciclo mestruale e nella gravidanza. La formazione di questi steroidi deriva da tappe enzimatiche diversificate nei compartimenti cellulari dell'ovaio: follicoli e cellule interstiziali. Le cellule della granulosa, che contornano l'ovulo nel contesto del follicolo, subiscono la trasformazione in cellule luteiniche dopo l'ovulazione e il prodotto della trasformazione del pregnenolone è rappresentato dal progesterone. Le cellule della teca del follicolo e quelle interstiziali producono in prevalenza androstenedione attraverso le vie biosintetiche che sono già state descritte per gli androgeni. Anche le tappe enzimatiche coinvolte nel successivo destino metabolico dell'androstenedione hanno una caratteristica localizzazione cellulare: infatti il testosterone è sintetizzato solamente nelle cellule dell'ilo, mentre all'interno

delle cellule della granulosa l'androstenedione viene trasformato in testosterone e a sua volta in estrone e estradiolo. Le cellule interstiziali hanno anche la capacità di trasformare il testosterone in diidrotestosterone. La vitamina D e i suoi analoghi sono sintetizzati a partire dal colesterolo e gli enzimi biosintetici sono localizzati nella cute, nel rene e nel fegato; la struttura chimica differisce dagli ormoni steroidi a 21 atomi di carbonio per la rottura del legame tra due atomi di un anello della catena del colesterolo. Con vitamina D si intende un gruppo di steroidi che, introdotti con gli alimenti, vengono trasformati nell'organismo in ormoni regolatori del ricambio del calcio: il colecalciferolo (vitamina D3) è la forma naturale della vitamina prodotta nella cute a partire da un precursore, il 7-deidrocolesterolo, che viene convertito in colecalciferolo con una reazione indotta dalle radiazioni ultraviolette; l'ergocalciferolo (vitamina D2) è un composto di origine vegetale, che differisce leggermente dal colecalciferolo e deriva dalla trasformazione dell'ergosterolo indotta dalle stesse radiazioni; questo, trasportato a livello epatico, viene trasformato in 25-idrossicolecalciferolo, o calcifediolo, e successivamente nel rene, a livello del tubulo prossimale, dove viene trasformato in 1,25-diidrossicolecalciferolo, o calcitriolo. Con quest'ultima tappa si ha la vitamina propriamente detta, la quale esercita in pieno la sua attività biologica.

Al contrario degli ormoni peptidici, la secrezione degli steroidi in circolo non procede attraverso un loro immagazzinamento all'interno delle cellule ma segue immediatamente la sintesi. Essi viaggiano nel plasma legati a proteine di trasporto specifiche, dotate di alta affinità, quali la globulina legante il cortisolo (CBG, Cortisol binding protein), le globuline leganti gli steroidi sessuali (SHBG, Sex hormone binding protein) e la proteina legante la vitamina D (DBP, Vitamin D binding protein). La CBG è una glicoproteina in grado di legare con uguale affinità cortisolo e progesterone. Le SHGB sono globuline che legano con elevata affinità il testosterone, mentre l'estradiolo è legato in prevalenza all'albumina. Il 98% degli steroidi gonadici, il 95% del cortisolo e il 50% dell'aldosterone circolano legati alle rispettive proteine di trasporto. Poiché solo l'ormone libero è in grado d'interagire con i recettori, e quindi di esprimere l'attività biologica, il legame plasmatico costituisce un'importante fase di riserva nel metabolismo di questi ormoni. Gli steroidi sintetici impiegati in terapia solitamente non contraggono legame con le proteine di trasporto e sono quindi in grado di esercitare effetti biologici immediati. I glicocorticoidi e i mineralcorticoidi vengono metabolizzati attraverso reazioni enzimatiche che determinano la perdita della loro attività ormonale oppure attraverso coniugazione con gruppi chimici che li rendono idrosolubili e ne determinano l'eliminazione con le urine. L'unica reazione metabolica che non si traduce in una perdita dell'attività biologica è rappresentata dalla conversione del testosterone in diidrotestosterone nelle cellule bersaglio.

Ormoni derivati da amminoacidi

In questo gruppo vengono compresi gli ormoni tiroidei, le catecolamine e i derivati dal triptofano (tab. 3).

Tab. 3 Ormoni derivati da amminoacidi

ORMONE	SEDE PRODUZIONE	AZIONE BIOLOGICA PRINCIPALE
<i>Triptofano</i>		
melatonina	pineale	regola il ritmo sonno veglia
serotonina	ipotalamo e apparato gastrointestinale	neuromediatore
<i>Tirosina</i>		
adrenalina	surrene	risponde allo stress, agisce sulla pressione arteriosa
dopamina	ipotalamo	neuromediatore
noradrenalina	surrene	risponde allo stress, agisce sulla pressione arteriosa
tiroxina (T ₄)	tiroide	regola il metabolismo energetico
triiodotironina (T ₃)	tiroide, tessuti periferici	regola il metabolismo energetico

Gli ormoni tiroidei prodotti dalle cellule follicolari della tiroide sono le iodotironine, derivate dall'unione di due nuclei di tirosina con lo iodio proveniente dall'alimentazione. Gli ormoni tiroidei vengono sintetizzati all'interno di una macromolecola proteica, la tireoglobulina, mediante la iodazione di due molecole di tirosina unitesi per formare la tironina; costituiscono il 2-3% degli amminoacidi della proteina e solo il 25% di questi residui tirosinici viene iodato; la biosintesi avviene subito dopo la captazione dello iodio dal circolo sanguigno. La tireoglobulina, che costituisce il 70% della secrezione proteica della cellula follicolare della tiroide, viene sintetizzata all'interno della cellula e quindi trasportata verso la membrana apicale dove è presente una proteina di membrana, la tireoperossidasi, che catalizza l'ossidazione e l'organificazione dello iodio. All'interno della proteina si formano così la monoiodotirosina (MIT) e la diiodotirosina (DIT), dal cui accoppiamento derivano la triiodotironina (T₃) e la tiroxina o tetraiodotironina (T₄). La tireoglobulina viene riversata nel lume dei follicoli tiroidei come colloide e ha il significato sia di precursore sia di deposito degli ormoni tiroidei. Questi, staccati dalla tireoglobulina, si diffondono all'esterno della membrana nella regione basale della cellula follicolare.

La T₃ e la T₄ vengono secrete in un rapporto di 10/1; la MIT e la DIT rimangono all'interno della cellula dove sono metabolizzate subendo la rimozione dello iodio che viene immagazzinato e riutilizzato per l'ormonosintesi. Il 99% della T₃ circola legato alle proteine plasmatiche: in particolare il 75% risulta legato

alla TBG (Thyroxine binding globulin), una glicoproteina che viene prodotta dal fegato, il 15-20% è legato alla prealbumina e il 5-10% all'albumina. La T3 è legata in prevalenza all'albumina e solamente in proporzione minore alla prealbumina. L'emivita plasmatica della T4 è di 6-8 giorni, mentre quella della T3 è di 1-3 giorni. Il distacco di un atomo di iodio dalla T4 (desiodazione) permette la formazione della T3, che rappresenta l'ormone biologicamente attivo. La T3 deriva per il 20-30% direttamente come tale dalla tiroide e per il 75-80% dalla desiodazione della T4 nei tessuti; inoltre, dalla desiodazione della T4 deriva anche un prodotto privo di attività biologica: la cosiddetta reverse-T3. La produzione periferica della T3 risulta connessa alla disponibilità della T4, ma anche all'attività della desiodasi, che subisce variazioni in conseguenza di condizioni fisiologiche e/o patologiche, come il digiuno, le malattie sistemiche croniche, la terapia con corticosteroidi o con propiltiouracile. Questa inibizione causa una riduzione della produzione di T3, che comporta un rallentamento dei processi metabolici e quindi della richiesta energetica. Inoltre alla conversione di T4 in T3 è dovuto il controllo retrogrado (feedback) negativo sulla secrezione di TSH a livello ipofisario. Questo meccanismo permette che la secrezione del TSH sia sotto il controllo della T4 circolante, le cui concentrazioni plasmatiche sono stabili e non risentono delle più rapide variazioni periodiche che può subire la T3.

Le catecolammine dotate di effetti ormonali sono l'adrenalina e la noradrenalina, sintetizzate, oltre che dai neuroni del sistema nervoso simpatico, anche a livello della midollare del surrene. Dal punto di vista chimico, sono derivati dell'amminoacido tirosina. La sintesi consiste nella trasformazione della tirosina in dopa (diossifenilalanina); da questa si forma la dopamina che viene trasformata in noradrenalina; la noradrenalina, a sua volta, è trasformata in adrenalina esclusivamente nella midollare del surrene. Le catecolammine sono immagazzinate all'interno della cellula e secrete in risposta alla liberazione locale di acetilcolina. Hanno un'emivita brevissima (20 sec) e vengono inattivate con due diversi meccanismi: la degradazione, che avviene nel fegato, e il recupero all'interno delle cellule da cui sono state secrete.

I derivati dal triptofano sono la serotonina e la melatonina. La conversione del triptofano in serotonina avviene tramite due passaggi enzimatici, mentre dalla metilazione della serotonina si ha la formazione della melatonina. Tanto la serotonina quanto la melatonina sono peptidi di piccole dimensioni che, una volta prodotti, vengono immediatamente liberati nel circolo ematico.

Ormoni derivati da acidi grassi polinsaturi

Gli eicosanoidi sono molecole derivanti da un acido grasso polinsaturo a 20 atomi di carbonio, l'acido arachidonico. In base alla loro struttura chimica vengono distinti in tre gruppi: prostaglandine (fra le quali un posto a parte merita la prostaciclina), trombossani e leucotrieni (tab. 4).

Tab. 4 Ormoni derivati da acidi grassi polinsaturi

ORMONE	SEDE PRODUZIONE	AZIONE BIOLOGICA PRINCIPALE
prostaglandine	prostata e sedi diverse	regolano le risposte alle infiammazioni e la circolazione capillare
prostaciclina	parete vascolare	regola il circolo capillare e la coagulazione
trombossani	piastrine e sedi diverse	regolano le risposte infiammatorie e la coagulazione
leucotrieni	sedi diverse	regolano le risposte infiammatorie

Queste sostanze hanno effetti biologici notevoli similormonali od ormonostimolanti molto diversificati e il più delle volte agiscono con azione eminentemente locale. Non sono immagazzinate all'interno delle cellule, ma immediatamente secrete secondo le necessità del momento; la loro produzione dipende dalla disponibilità di acido arachidonico. Hanno un'emivita di pochi secondi e sono degradate dagli enzimi tissutali. Le prostaglandine sono molecole con struttura basilare rappresentata dall'acido prostanico, acido polinsaturo contenente l'anello del ciclopentano modificato dalla presenza di specifici gruppi chimici.

A seconda delle caratteristiche di questi gruppi, le prostaglandine vengono suddivise in classi, delle quali quella E e quella F costituiscono i principali composti attivi. I trombossani si distinguono dalle precedenti molecole per il legame tra una molecola di ossigeno in posizione 6 e una di carbonio in posizione 11 con la formazione di un endoperossido. I leucotrieni vengono prodotti dall'acido arachidonico e presentano effetti eminentemente proflogistici.

2. Recettori ormonali

Nel corpo umano vi sono all'incirca duecento tipi di cellule di cui solo una minoranza produce ormoni. Tuttavia, quasi tutte le cellule dell'organismo sono il bersaglio di uno o più ormoni. La caratteristica del sistema di comunicazione endocrino risiede nel fatto che gli ormoni circolano nel plasma a concentrazioni bassissime e, pertanto, le cellule bersaglio devono essere stimulate selettivamente. La capacità di riconoscimento selettivo è garantita dalla presenza nelle cellule bersaglio di strutture specializzate, cioè i recettori, i quali legano gli ormoni e ne mediano le azioni (fig. 2).

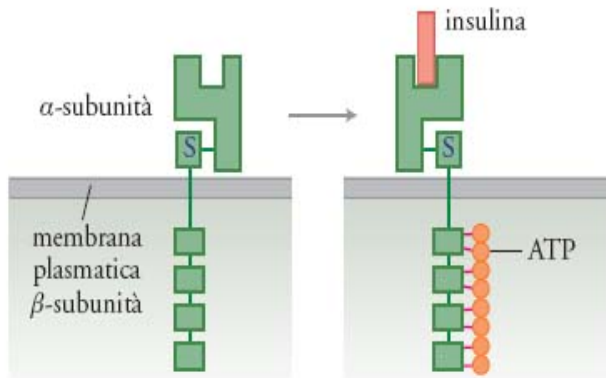


Fig. 2. Struttura del recettore per l'insulina. Il recettore è formato da due subunità : una esterna alla membrana (α -subunità), che serve per il legame con le molecole di insulina, e una intracellulare (β -subunità), attraverso cui si esplica, in seguito ad attivazione enzimatica (legame con ATP), l'azione mediata dall'insulina (utilizzo del glucosio per la produzione di energia, stimoli alla proliferazione cellulare ecc.); S: ponti disolfuro.

I rapporti fra ormone e recettore sono in molti casi tali da consentire un aumento dei recettori (regolazione anterograda o up-regulation) o una loro riduzione (regolazione retrograda o down-regulation).

L'interazione ormone-recettore è regolata da una complementarità stereochimica e da affinità di legame fra l'uno e l'altro. Questa affinità strutturale non riguarda necessariamente tutta la molecola del recettore e dell'ormone, ma può essere limitata solo a una porzione di uno o di entrambi. Pertanto, il legame di un ormone al rispettivo recettore è garantito da specifici gruppi chimici dislocati in modo da poter interagire con definite regioni del recettore; di conseguenza, qualsiasi molecola, anche non ormonale, ma con le stesse caratteristiche strutturali, può, interagendo con il recettore, evocare una risposta ormonale (fig. 3).

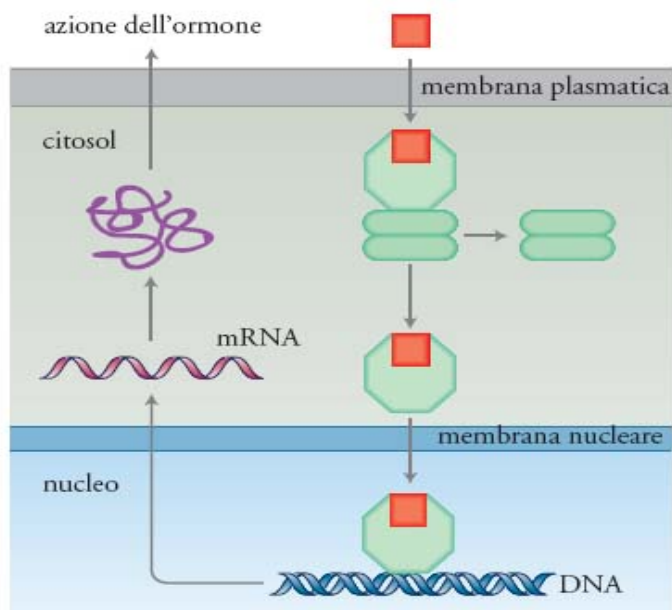


Fig. 3. Meccanismo di azione degli ormoni steroidei. L'ormone (in rosso) penetra nella cellula, dove si lega alla forma inattiva del recettore (in verde); questo legame modifica la conformazione del recettore e porta alla sua attivazione; il complesso recettore-ormone così formato penetra nel nucleo della cellula dove si lega al DNA, aumentando poi la velocità di formazione dell'mRNA e della sintesi della proteina codificata dal gene regolato dall'ormone.

In relazione alla capacità di evocare una risposta recettoriale, esistono nell'organismo principi biologici capaci di influenzare l'azione ormonale; questi principi si distinguono in agonisti, superagonisti e antagonisti. Gli agonisti sono molecole in grado di associarsi al recettore con la stessa affinità dell'ormone naturale, provocando la medesima risposta cellulare. I superagonisti si comportano come gli agonisti, ma si legano ai recettori con migliore affinità rispetto all'ormone naturale ed evocano un'azione maggiore e di più lunga durata. Gli antagonisti, invece, non evocano risposte biologiche in quanto, pur legandosi al recettore, non sono in grado di attivarne il meccanismo; la loro azione consiste perciò nel competere con l'ormone naturale per il legame al recettore e, di conseguenza, se l'antagonista è presente insieme all'ormone naturale, la risposta delle cellule bersaglio viene in qualche modo compromessa.

La presenza dei recettori nelle cellule bersaglio è direttamente connessa al patrimonio genetico; tuttavia, in condizioni fisiologiche, sia il numero dei recettori sia la loro affinità vengono regolati da stimoli ormonali. I meccanismi molecolari che intervengono in questi fenomeni sono molteplici; essi possono coinvolgere l'intensità della sintesi e della degradazione dei recettori, il loro sequestro in compartimenti subcellulari inaccessibili all'ormone e anche il cambiamento delle loro proprietà funzionali.

3. Azioni degli ormoni

Virtualmente, tutti i tessuti dell'organismo sono sensibili agli ormoni e le azioni ormonali sono fondamentalmente quattro.

Sviluppo e crescita. L'influenza degli ormoni sullo sviluppo appare evidente fin dalla vita fetale, come dimostrato, per es., dalle alterazioni del sistema nervoso centrale dovute alla carenza di ormoni tiroidei o dalle anomalie della differenziazione sessuale legate alle alterazioni secretorie degli steroidi gonadici, con conseguente ermafroditismo o pseudoermafroditismo maschile o femminile. Nel periodo postnatale gli ormoni che risultano prevalentemente deputati al controllo della crescita sono il GH (Growth hormone, od ormone somatotropo) e le somatomedine; contribuiscono in maniera importante anche la vitamina D, necessaria per la maturazione scheletrica, gli steroidi sessuali, che inducono la saldatura delle epifisi, e gli ormoni tiroidei.

Produzione di energia e utilizzazione di substrati metabolici. - L'insulina, il glucagone, il GH, le catecolamine, gli ormoni tiroidei e i glicocorticoidi regolano il metabolismo dei carboidrati, come pure quello dei grassi, delle proteine e degli acidi nucleici, e sono responsabili della conversione dei composti che vengono introdotti con la dieta in energia utilizzabile immediatamente (per es. produzione di calorie) oppure in processi sintetici (per es., impalcature dei tessuti, depositi ecc.).

Mantenimento dell'omeostasi. - Gli ormoni controllano il mantenimento e la regolazione delle condizioni ottimali di tutti gli organi e apparati anche in rapporto alle modificazioni ambientali. Tutti i maggiori sistemi omeostatici, cioè la pressione arteriosa, la frequenza cardiaca, il bilancio idroelettrolitico, l'equilibrio acido-base, la temperatura corporea, la composizione dei tessuti corporei (massa ossea, tessuto muscolare, tessuto adiposo), sono sotto il diretto controllo ormonale.

Riproduzione. - Gli ormoni svolgono un'azione di controllo relativa allo sviluppo e alla funzione delle gonadi; inoltre, contribuiscono in modo determinante alla differenziazione anatomica, funzionale e comportamentale dei due sessi. Gli estrogeni, il progesterone e gli androgeni, regolati dagli ormoni ipofisari, e in collaborazione con questi, consentono la maturazione sessuale, l'acquisizione e il mantenimento della capacità riproduttiva, nonché la gravidanza, l'espletamento del parto e la lattazione.

4. Sistema di feedback o di regolazione retrograda

Il feedback, o meccanismo di retroregolazione, è un sistema mediante il quale gli ormoni controllano gli effetti biologici che essi stessi determinano; tali effetti, a loro volta, regolano la secrezione dell'ormone. Il sistema

consiste in un flusso bidirezionale continuo di informazioni tra la sede di produzione dell'ormone e il tessuto bersaglio (fig. 4).

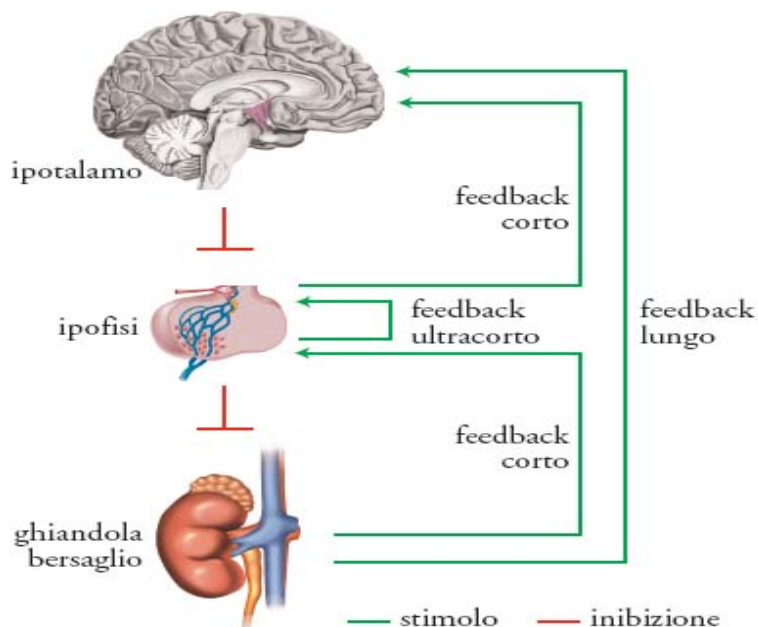


Fig. 4. Esempio di controllo ormonale secondo un sistema di feedback tra sistema nervoso, ipofisi e ghiandola bersaglio.

Il feedback viene definito positivo o negativo, a seconda che provochi una stimolazione oppure un'inibizione dell'azione ormonale, e lungo, corto o ultracorto, a seconda della distanza che intercorre tra l'ormone e il tessuto bersaglio. Il feedback pertanto risulta fondamentale per mantenere l'omeostasi. L'esistenza dei meccanismi di feedback riveste una grande importanza clinica e diagnostica; infatti la maggior parte dei test dinamici si basa sulla valutazione dell'integrità di questi sistemi che vengono alterati in numerose malattie endocrine.

Un feedback lungo è quello che si verifica tra l'ipotalamo, l'ipofisi e la ghiandola bersaglio e viceversa, con effetto sia stimolatorio sia inibitorio; un feedback corto si verifica tra gli ormoni ipofisari e i loro releasing hormones ipotalamici, con effetto sia stimolatorio sia inibitorio; infine, un feedback ultracorto è quello che si verifica con meccanismo paracrino e con effetto inibitorio sulle stesse cellule che producono l'ormone o sulle cellule circostanti.

5. Bioritmi

Il sistema endocrino è regolato in modo dinamico con oscillazioni temporali variabili (da pochi minuti a un anno) delle secrezioni ormonali. Queste oscillazioni sono quantificate mediante alcuni parametri fondamentali. Il periodo di un ritmo è l'intervallo di tempo che intercorre tra due episodi identici; in sostanza rappresenta una misura della frequenza delle variazioni dei livelli ormonali. A seconda della loro ampiezza, i ritmi si dividono in infradiani, con durata inferiore alle venti ore, circadiani, con durata compresa tra venti e ventotto ore, e ultradiani, con durata superiore alle ventotto ore. L'ampiezza del ritmo viene definita come la differenza tra il valore massimo (acrofase) e quello minimo; il valore medio dei livelli ormonali durante il ritmo è denominato mesor.

I ritmi biologici e quelli endocrini necessari a mantenere l'omeostasi rappresentano l'espressione delle capacità adattative dell'organismo alle variazioni ambientali (ciclo buio/luce) e alle esigenze fisiologiche (sonno/veglia, flussi mestruali, ovulazione); essi costituiscono una sorta di orologio interno che regola la sequenza temporale degli eventi fisiologici. In condizioni patologiche, i ritmi endocrini essenziali per la normale funzione della maggior parte degli ormoni sono invece alterati. Il riconoscere queste alterazioni del ritmo è importante dal punto di vista clinico e diagnostico, perché permette una corretta interpretazione delle variazioni dei valori ormonali.

La secrezione dell'ormone della crescita (GH) è caratterizzata dalla presenza di livelli basali bassi e picchi improvvisi, specie nella prima fase del sonno; si riduce con l'età, in modo più marcato nella femmina.

Nell'asse ipofisi-surrene la secrezione di ACTH (Adrenocorticotropic hormone), ormone stimolante il surrene, e di cortisolo risulta caratterizzata da un ritmo circadiano: è massima al mattino, si riduce gradualmente durante il resto del giorno per raggiungere livelli minimi nella notte. Non è influenzata significativamente dai ritmi sonno/veglia e non mostra differenze nei due sessi.

La secrezione di prolattina (PRL) presenta un ritmo circadiano contraddistinto da valori minimi intorno a mezzogiorno, un lieve incremento nel corso del pomeriggio e una fase di massima secrezione nelle prime ore del mattino. Oltre alle fluttuazioni circadiane, la PRL presenta brusche elevazioni dei livelli plasmatici in seguito allo stress, a stimolazione del capezzolo oppure ad attività fisica.

Il ritmo di secrezione del TSH (ormone tireotropo) presenta variazioni circadiane con picchi di secrezione notturna; tali picchi, nella donna, si verificano nelle prime ore del mattino, mentre nell'uomo si riscontrano in tarda serata.

Nell'asse ipotalamo-ipofisi-gonade il ritmo della secrezione di gonadotropine (FSH e LH) costituisce un esempio di ritmo ultradiano: nella fase prepuberale esso mostra, in entrambi i sessi, oscillazioni di bassa ampiezza durante l'arco delle ventiquattro ore; la comparsa di picchi di secrezione notturna precede l'inizio della pubertà e diventa più evidente con il progredire dell'età, associandosi a un aumento dell'estradiolo nella

femmina e del testosterone nel maschio. Uno spiccato aumento delle gonadotropine si può osservare nella donna a ogni ovulazione.

Neuroni e sinapsi

Enciclopedia della Scienza e della Tecnica (2007)

di Fabio Benfenati, Ottavio Cremona

I neuroni sono i componenti fondamentali del tessuto nervoso e formano circuiti complessi in grado di ricevere, elaborare, conservare e trasmettere l'informazione con grande rapidità anche a notevole distanza all'interno del corpo umano. Nel sistema nervoso centrale dell'uomo sono presenti approssimativamente 1012 neuroni coadiuvati, nelle loro attività, da un numero dieci volte superiore di cellule gliali. Attualmente gli studi condotti su queste cellule, ritenute un mero supporto meccanico per i neuroni, stanno rivelando un'enorme complessità di funzioni che includono: guida della crescita dei neuroni, regolazione del flusso ematico regionale, funzioni immunitarie per il sistema nervoso ed elaborazione e rilascio di fattori di crescita e neurotrasmettitori. Tuttavia, i neuroni rimangono le uniche cellule in grado di operare in tempi molto brevi, necessari per garantire la sopravvivenza e l'adattamento dell'organismo al continuo e rapido mutamento delle condizioni e degli stimoli ambientali. Le cellule gliali, pur partecipando alla comunicazione nervosa, non sono capaci di segnalazione elettrica.

Il trasferimento di informazioni tra le cellule nervose è operato dai neurotrasmettitori, il cui messaggio viene riconosciuto dalla cellula ricevente e tradotto in risposte biologiche in corrispondenza di una struttura specializzata detta 'sinapsi'. Tutte le attività nervose, dalle più semplici attività riflesse alle funzioni superiori, come apprendimento e memoria, dipendono dal trasferimento di informazioni tra cellule nervose e quindi dal numero di sinapsi e dall'efficienza di ciascuna sinapsi nel rilasciare il neurotrasmettitore. La trasmissione sinaptica riveste quindi un ruolo chiave per comprendere il funzionamento del sistema nervoso. Numerose patologie neurologiche dipendono da alterazioni funzionali della trasmissione sinaptica e le sinapsi rappresentano il principale bersaglio dei farmaci attivi sul sistema nervoso. Gli studi che negli ultimi anni hanno permesso di chiarire a livello molecolare la fisiologia della trasmissione sinaptica e che stanno intensamente procedendo verso una completa descrizione dei meccanismi biochimici coinvolti sono quindi di fondamentale importanza per le neuroscienze.

Le sinapsi si possono dividere in due tipi in base alla loro struttura: sinapsi elettriche e sinapsi chimiche. Nelle sinapsi elettriche, molto comuni negli invertebrati, l'impulso nervoso presinaptico provoca un flusso di corrente ionica che penetra nella cellula postsinaptica attraverso ampi canali proteici chiamati 'connessoni', che formano le cosiddette 'giunzioni gap'. La corrente depolarizza la cellula postsinaptica ed è in genere sufficiente a raggiungere la soglia per generare un potenziale d'azione propagato. Le sinapsi elettriche trasmettono l'eccitazione molto rapidamente (il ritardo sinaptico è minimo) ma l'informazione trasferita è esclusivamente eccitatoria e non modulabile. Ci soffermeremo su due aspetti della neurobiologia, i cui avanzamenti in questi ultimi anni sono stati così cruciali da influenzare profondamente i concetti stessi di identità e funzionalità del neurone: il processo di neurogenesi durante lo sviluppo e nell'adulto e i complessi rapporti tra neuroni e glia. Questi aspetti, per molti anni considerati marginali rispetto allo studio della comunicazione interneuronale, svolgono oggi un ruolo importante non solo dal punto di vista fisiologico, ma anche per i possibili coinvolgimenti in vari settori della neurologia, dalla cura delle patologie degenerative, ischemiche e di sviluppo del sistema nervoso, a quella delle patologie di alterata propagazione del segnale nervoso.

sommario

1. Caratteristiche generali delle cellule nervose. 2. Neurogenesi. 3. Sinapsi. 4. Rapporti funzionali tra neuroni e cellule gliali.

1. Caratteristiche generali delle cellule nervose

Da un punto di vista citologico, i neuroni sono simili alle altre cellule del nostro organismo. Essi sono rivestiti da una membrana plasmatica e contengono organelli fondamentali, quali il nucleo, il reticolo endoplasmatico, i ribosomi, l'apparato di Golgi e i mitocondri. Nei neuroni però tutto è organizzato per svolgere al meglio un solo compito, quello della comunicazione nervosa, una forma molto specializzata di comunicazione intercellulare. I neuroni hanno una forma altamente asimmetrica, caratterizzata da lunghi prolungamenti e mantenuta da uno scheletro interno estremamente sviluppato (citoscheletro neuronale). Inoltre, i vari componenti cellulari e le stesse proteine della membrana plasmatica sono distribuiti in modo fortemente asimmetrico. Nella struttura polarizzata dei neuroni sono riconoscibili quattro principali compartimenti: (a) un compartimento di ricezione dei segnali costituito dai dendriti e parte del corpo cellulare (soma); (b) un compartimento di integrazione costituito dal segmento iniziale dell'assone; (c) un compartimento di trasferimento rapido del segnale elettrico (potenziale d'azione) costituito dall'assone; (d) un compartimento di trasferimento delle informazioni ad altre cellule costituito dalle terminazioni presinaptiche.

Il soma contiene il nucleo, la sostanza di Nissl (costituita da aggregati di ribosomi e di reticolo endoplasmatico rugoso) e apparati di Golgi multipli. Da esso si dipartono i vari prolungamenti. I dendriti sono prolungamenti corti (di solito $< 700 \mu\text{m}$), in numero molto variabile, contenenti un'impalcatura di microtubuli e neurofilamenti. Essi presentano in molti casi una specializzazione strutturale chiamata spina dendritica, che costituisce un sito privilegiato di comunicazione fra neuroni. La spina dendritica si interfaccia con un terminale nervoso (bottono terminale), che è l'estremità dell'assone di un altro neurone. L'assone è di solito un prolungamento più lungo dei dendriti (lungo fino a 1 m nel nervo sciatico). Esso inizia, dal soma, con il cono di emergenza; in questa zona vi è una eccezionale concentrazione di canali per Na^+ voltaggio-dipendenti che servono a generare il potenziale d'azione del neurone. Al cono di emergenza segue un lungo segmento cilindrico riempito di citoplasma, microtubuli, neurofilamenti e piccole vescicole in transito che, in molti casi, è avvolto da una guaina discontinua, la guaina mielinica, che lo isola dai tessuti circostanti migliorando notevolmente la propagazione degli impulsi elettrici.

A differenza della maggior parte delle cellule dell'organismo, che mantengono una stabile differenza di potenziale tra l'interno e l'esterno della membrana (potenziale di membrana), i neuroni e le cellule muscolari hanno acquisito la capacità di variare in maniera assai rapida il loro potenziale di membrana invertendone la polarità, generando un segnale elettrico di brevissima durata ($2 \div 3 \text{ msec}$) e in grado di propagarsi rapidamente lungo la membrana senza attenuarsi, detto 'potenziale d'azione'. Luigi Galvani chiamò questa proprietà 'forza nervea' e ipotizzò che l'elettricità fosse presente nell'organismo in uno stato di disequilibrio (un eccesso di cariche negative sulla faccia interna della membrana e di cariche positive sulla faccia esterna, generando una differenza di potenziale nota come 'potenziale di membrana'). Tuttavia, bisogna aspettare il Novecento per una completa descrizione delle basi ioniche dell'elettricità animale e delle modalità con cui il potenziale d'azione si genera e si propaga lungo i prolungamenti dei neuroni. Il potenziale d'azione è caratterizzato da un'improvvisa e rapida ($1 \div 2 \text{ msec}$) inversione della polarità della membrana cellulare (il potenziale di membrana si sposta da un valore di riposo negativo di circa -80 mV a un valore positivo di circa $+40 \text{ mV}$) generata dal passaggio di una corrente entrante di ioni sodio attraverso canali ionici voltaggio-dipendenti presenti nella membrana neuronale. L'inversione di polarità della membrana ha una brevissima durata, sia per l'interrompersi della corrente di sodio (i canali per Na^+ rimangono aperti per un tempo brevissimo e poi entrano in uno stato di refrattarietà), sia per la comparsa di una corrente 'uscente' di ioni potassio determinata dalla sequenziale apertura di canali per K^+ voltaggio-dipendenti che riporta il potenziale della membrana al valore di riposo. Tali canali attivi (cioè in grado di rispondere a una depolarizzazione del potenziale della membrana) rappresentano il tratto fenotipico fondamentale che distingue i tessuti eccitabili (come i neuroni) dalle altre cellule non eccitabili (come le cellule gliali).

Nei neuroni il potenziale d'azione rappresenta un segnale binario di eccitazione che viene rapidamente trasmesso a lunghe distanze. La caratteristica principale della propagazione del potenziale d'azione è che l'ampiezza del segnale non si attenua con la distanza, ma rimane sorprendentemente costante. Questo è possibile grazie al fatto che ogni successiva area di membrana genera un proprio potenziale d'azione in una precisa successione temporale dipendente dalle proprietà elettriche della membrana dell'assone. La velocità di conduzione del potenziale d'azione, che dipende dalle proprietà elettriche passive (resistive e capacitive) della membrana, è proporzionale al diametro dell'assone (che diminuisce la resistenza assiale al flusso degli ioni) e alla resistenza della membrana. Mentre la prima via per aumentare la velocità di conduzione è stata seguita soprattutto nel sistema nervoso degli invertebrati (assoni giganti), l'aumento di resistenza di membrana ottenuto rivestendo l'assone con la guaina mielinica ha permesso, nei sistemi nervosi più complessi come quelli dei Mammiferi, di ottenere alte velocità di conduzione con dimensioni delle fibre relativamente ridotte.

2. Neurogenesi

Per neurogenesi si intende il processo attraverso il quale vengono generati nuovi neuroni da cellule immature. Dal punto di vista della successione temporale si possono distinguere due tipi di neurogenesi: la neurogenesi durante lo sviluppo, che forma il neurone, e la neurogenesi nell'adulto, il cui significato è legato alla plasticità funzionale di determinate aree nervose.

Neurogenesi durante lo sviluppo

Lo scopo di questo processo è di creare una prima 'stesura' dei circuiti nervosi che verranno in seguito finemente rimaneggiati dall'azione plastica dell'esperienza. Questo processo procede attraverso una serie di tappe ben definite che riassumeremo sinteticamente (tab. 1).

Tab. 1 Le fasi della neurogenesi durante lo sviluppo

induzione neuronale: la cellula ectodermica intraprende un processo di differenziamento in cellula nervosa
specificazione neuronale: la cellula nervosa si specializza a diventare un particolare tipo (e sottotipo) di neurone
crescita assonale e riconoscimento del bersaglio: i neuroni emettono i loro prolungamenti e vanno a formare i circuiti nervosi
sinaptogenesi: formazione delle sinapsi tra i vari neuroni e tra questi e le loro cellule effettrici
sopravvivenza neuronale: selezione di circuiti efficaci e di omeostasi del tessuto nervoso

Induzione neuronale. - Il tessuto nervoso deriva dallo stesso ectoderma da cui si originano l'epidermide e i suoi annessi. Per 'induzione neuronale' s'intende quel processo per cui cellule ectodermiche vengono determinate a diventare cellule staminali neurali. Ciò avviene come effetto di segnali intracellulari indotti da una serie di fattori rilasciati in maniera paracrina o espressi sulla membrana da cellule vicine. Le cellule ectodermiche su cui hanno agito questi fattori tendono a non rispondere più ad altri segnali che inducono percorsi differenziativi alternativi, avviandosi così definitivamente a poter diventare solo e soltanto neuroni. Storicamente, la prima evidenza dell'induzione neuronale è venuta da studi di trapianto in embrioni di Anfibi compiuti alla metà degli anni Venti del XX secolo. In questi studi si era visto che se si trapiantava il labbro dorsale del blastoporo (zona successivamente chiamata 'organizzatore') di un embrione in gastrulazione nella regione che forma l'epidermide di un altro embrione di pari età, le cellule ectodermiche circondanti il trapianto formavano un secondo sistema nervoso completamente sviluppato. Questa osservazione ha generato l'idea che l'organizzatore sia una fonte di segnali induttivi in senso proneuronale per le cellule ectodermiche vicine. È di questi ultimi dieci anni l'identificazione di alcuni dei segnali molecolari secreti dall'organizzatore e l'elaborazione di un modello (modello default) che ben spiega l'induzione neuronale negli Anfibi. L'idea centrale è che le cellule ectodermiche, in mancanza di altri segnali, seguano un programma spontaneo (o di default) di differenziazione neuronale, mentre sono deviate verso un programma epiteliale se in esse viene attivata la via di segnalazione dipendente da BMP (Bone morphogenetic protein). BMP è una proteina secreta ubiquitariamente da tutti i tessuti, che stimola fortemente il differenziamento in cellule epiteliali di tutte le cellule ectodermiche, sopprimendo il loro programma endogeno proneuronale. Durante la gastrulazione,

l'organizzatore secerne però fattori che inibiscono l'azione di BMP (principalmente noggin e chordin), permettendo così alle cellule ectodermiche circostanti di eseguire il loro programma intrinseco di sviluppo, che è quello neuronale.

Studi successivi hanno dimostrato che l'organizzatore non è richiesto per l'induzione neuronale negli Amnioti (inclusi i Mammiferi), avvenendo questa allo stadio di blastula, prima della formazione dell'organizzatore. In generale, negli Amnioti l'induzione neuronale appare come un processo più complesso che negli Anfibi, con uno straordinario concorso di istruzioni non solo negative ma anche positive, solo in parte dipendenti dalla segnalazione di BMP. In particolare, l'azione di BMP, Wnt e del sistema di segnalazione intercellulare Delta-Notch (sistema ligando-recettore che, se espresso sulla membrana di cellule contigue, inibisce il destino neuronale) determinerebbe un destino epiteliale nelle cellule ectodermiche, mentre l'azione dei fattori di crescita FGF (Fibroblast growth factor) e IGF (Insulin growth factor) e della proteina citoplasmatica numb (che inibisce la segnalazione dipendente da Notch) favorirebbe la neurogenesi. Wnt e BMP sono segnali ricorrenti nello sviluppo neuronale, che vengono attivati nuovamente per il processo di specificazione neuronale e poi per mantenere il pool delle cellule staminali neuronali.

I geni trascritti in seguito all'attivazione delle varie vie di segnalazione neurogeniche da parte dei vari morfogeni sono poco conosciuti. Studi in *Drosophila* e poi nei Vertebrati hanno identificato in un piccolo numero di fattori di trascrizione della classe bHLH (Basic helix-loop-helix) alcuni dei più potenti geni proneurali. Un'altra famiglia emergente di tali fattori è quella dei geni SOX che appartengono alla superfamiglia HMG (High motility group). L'espressione di entrambi questi fattori di trascrizione in cellule ectodermiche (a) sopprime il programma di differenziamento gliale; (b) blocca la proliferazione cellulare; (c) induce l'ulteriore differenziazione neuronale; (d) stimola la differenziazione gliale nelle cellule vicine, attraverso attivazione in queste ultime della via di segnalazione di Notch.

Specificazione neuronale. - Una volta che la prima decisione è presa, e cioè che una cellula ectodermica inizia a differenziarsi in senso neuronale, le successive decisioni riguardano: (a) quale tipo di neurone tale cellula diventerà – un neurone sensitivo, un neurone motorio, un interneurone o un altro tipo di neurone; (b) quale posizione occuperà nel sistema nervoso; (c) quali contatti formerà con altri elementi nervosi, andando così via via a costituire i circuiti del sistema nervoso adulto. Il processo di specificazione neuronale dipende da due sistemi di segnalazione paracrina che creano gradienti lungo i due assi principali del tubo neurale, l'asse dorso-ventrale e quello rostro-caudale. Questi due sistemi di segnalazione si intersecano lungo tutto il tubo neurale generando una griglia di stimoli posizionali. In altre parole, la posizione delle cellule progenitrici neuronali lungo gli assi dorso-ventrale e cranio-caudale influenza il loro destino, a causa della differente concentrazione e identità dei segnali induttivi a cui esse sono sottoposte.

La differenziazione dorsale è inizialmente indotta da segnali provenienti dall'adiacente ectoderma, mentre la differenziazione ventrale dipende da segnali del mesoderma assiale che costituisce la notocorda. Questi segnali, provenienti da tessuti non nervosi, sono rapidamente trasferiti alle cellule dorsali e ventrali del tubo neurale per induzione omogenica. Numerosi studi hanno mostrato che i segnali chiave per il differenziamento ventrale (dei motoneuroni) e dorsale (dei neuroni sensitivi) sono, rispettivamente, le proteine secrete Shh (Sonic hedgehog) e BMP. Esiste inoltre almeno un altro sistema di segnalazione dipendente dai retinoidi che serve per la specificazione di alcuni tipi di interneuroni. Il gradiente di concentrazione di Shh, progressivamente decrescente in senso ventrodorsale, reprime l'espressione di fattori di trascrizione omeodominio di classe I e induce l'espressione di fattori di classe II, permettendo così di specificare diverse classi di motoneuroni (MN) e interneuroni ventrali (V) (fig. 2).

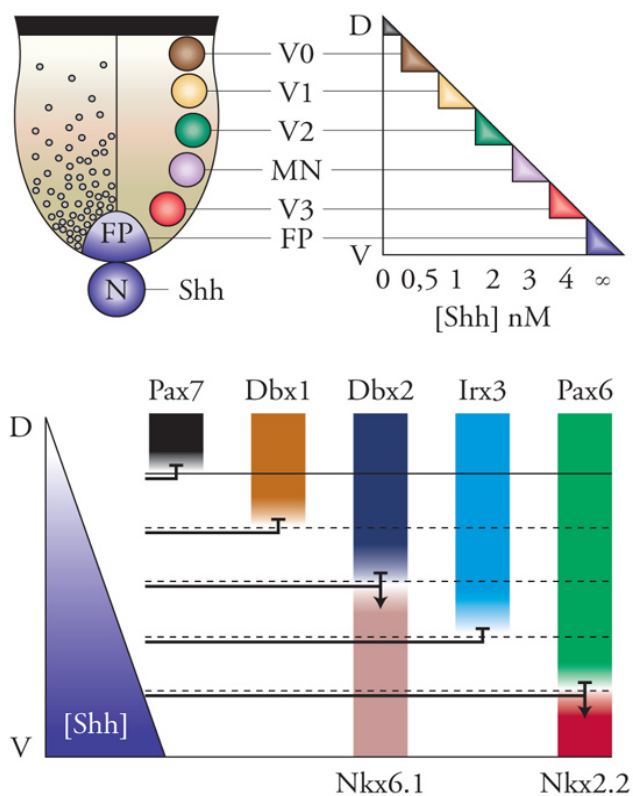


Fig. 2. Il gradiente di concentrazione di Shh e l'espressione di fattori di trascrizione. Il gradiente di Shh determina il differenziamento di cinque classi di neuroni nella metà anteriore del midollo spinale (N, notocorda; FP, pavimento della piastra, floorplate). Ci?? ?? dovuto alla sua azione di repressione su fattori di trascrizione omeodominio di classe I, di induzione di fattori di trascrizione omeodominio di classe II (D, dorsale; V, ventrale).

Fattori trascrizionali indotti da BMP hanno anch'essi effetti opposti, alternativamente di blocco differenziativo (il fattore della famiglia HD Msx e la zinc-finger zic) o di stimolazione differenziativa (le proteine

omeodominio Math1 e Ngn1), delineando così un'intricata griglia di segnali che serve a organizzare e a determinare diversi tipi di interneuroni commissurali e associativi.

Crescita assonale. - Il prolungamento assonico è quella porzione del neurone che durante lo sviluppo va attivamente alla ricerca di altre cellule (nervose e non) allo scopo di stabilire con esse contatti sinaptici. Questi siti privilegiati di comunicazione non sono scelti a caso, ma rappresentano bersagli finemente selezionati in base all'analisi di molteplici segnali ambientali. Il compito di guidare l'assone verso i propri bersagli è svolto dal cono di crescita, una struttura specializzata, altamente mobile, posta all'estremità dell'assone. Attraverso cicli dinamici di estensione e retrazione di sottili propaggini citoplasmatiche, chiamate 'filopodi', il cono di crescita esplora i segnali ambientali e seleziona accuratamente una corretta traiettoria per giungere al bersaglio. Il meccanismo che permette il movimento del cono di crescita è il citoscheletro formato da actina, che polimerizza e depolimerizza rapidamente in risposta agli stimoli ambientali. La polimerizzazione dell'actina è regolata da una serie di molecole citosoliche poste in una lunga cascata di segnalazione che parte dall'attivazione delle proteine G monomeriche cdc42 e Rac, le quali a loro volta attivano la proteina citosolica N-WASP (Neural Wiskott-Aldrich syndrome protein) che induce la polimerizzazione de novo dell'actina attraverso l'attivazione del complesso multiproteico Arp2/3.

Le molecole che attivano la motilità del cono di crescita, guidandolo verso il bersaglio, possono essere divise, in base alla loro funzione, in molecole chemotattiche oppure in molecole chemorepulsive; esse possono agire a breve raggio (molecole attaccate alla matrice extracellulare o ad altre cellule) o a lunga distanza (molecole diffusibili). Fino a ora, sono state individuate quattro famiglie principali di fattori che regolano la crescita dei neuriti: netrine, semaforine, efrine, slit e loro specifici recettori appartenenti, rispettivamente, alle famiglie DCC/Unc5, plexine/neuropiline, Eph e robo (fig. 3).

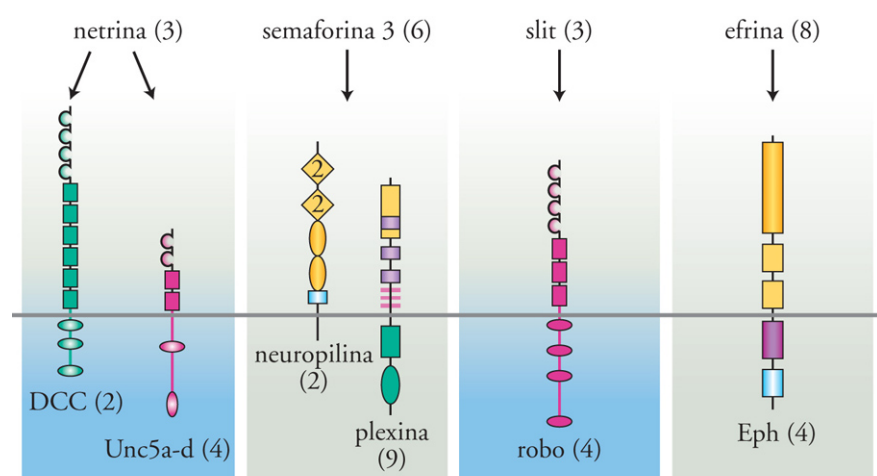


Fig. 3. Molecole proteiche coinvolte nella crescita assonale. Le quattro principali famiglie di ligandi e i loro rispettivi recettori

implicati nella crescita assonale; tra parentesi è indicato il numero di membri delle varie famiglie.

Netrine (legate ai recettori DCC/Unc5) e slit (legate ai recettori robo) sono, rispettivamente, molecole chemotattiche legate alla matrice e fattori solubili chemorepulsivi per assoni che passano la linea mediana; questi assoni vanno quindi a formare le vie crociate motorie e sensitive e le connessioni intercorticali. Le rimanenti molecole possono agire da fattori chemotattici o chemorepulsivi a seconda dei recettori espressi dal neurone o dei secondi messaggeri che in esso vengono attivati. Le semaforine, per esempio, sono fattori in parte secreti e in parte associati alla membrana, che hanno azioni a lungo raggio chemorepulsive, se vengono legate dai complessi recettoriali plexinaA/neuropilina, o chemotattiche se legate dal complesso recettoriale plexinaB/Met. Le efrine, invece, sono fattori legati alla membrana che, interagendo con recettori tirosin-chinasi (Trk) della famiglia Eph presenti sul cono di crescita, ne inducono il collasso con conseguente retrazione dell'assone. È di questi ultimi anni l'importante osservazione che tutte queste molecole sono anche essenziali per guidare lo sviluppo del sistema vascolare, fornendo così una base molecolare all'osservazione fatta agli albori dell'anatomia (da Andrea Vesalio) che vasi e nervi seguono percorsi comuni (si pensi, per es., ai vari fasci vascolo-nervosi che attraversano gli arti o il collo). Ai fattori descritti vanno aggiunte anche le neurotrofine, che funzionano come fattori chemotattici, e i fattori morfogenetici precedentemente descritti (Shh, Wnt e BMP) che cooperano, con funzione regolatoria, alla crescita neuritica.

Sinaptogenesi. - La formazione delle sinapsi nei Vertebrati avviene in un arco di tempo piuttosto lungo, iniziando nell'embrione ed estendendosi poi nelle fasi iniziali della vita postnatale. In alcune aree del sistema nervoso centrale la sinaptogenesi non cessa mai, continuando anche nella vita adulta. La formazione della sinapsi durante lo sviluppo è intimamente accoppiata al processo di riconoscimento del bersaglio, ossia a quel processo che permette agli assoni di neuroni localizzati in differenti regioni di trovare la corretta terminazione, formando così circuiti nervosi funzionanti. In questo processo giocano un ruolo determinante i cosiddetti 'recettori di adesione' che includono le molecole di adesione CAM (Cell adhesion molecules), appartenenti alla superfamiglia delle immunoglobuline, le caderine e le integrine. Tali molecole dirigono l'assone a selezionare il corretto bersaglio interagendo specificamente con molecole della matrice extracellulare o con molecole espresse sulla superficie della cellula bersaglio. Le CAM, che includono N-CAM, L1 e Sdk, e le caderine si legano in trans a molecole omologhe presenti sul bersaglio, mentre le integrine sono recettori eterodimerici che legano molecole della matrice extracellulare come laminina, collagene e fibronectina e attivano vie di segnalazione intracellulare che coinvolgono Trk non recettoriali. In tutti i casi, lo stabilirsi di questi legami extracellulari attiva vie di trasduzione intracellulari che regolano l'assemblaggio del citoscheletro di actina e quindi, in ultima analisi, il rafforzamento o la retrazione del contatto sinaptico. Il

riconoscimento del giusto bersaglio da parte degli assoni è tuttavia un presupposto necessario ma non sufficiente per la sinaptogenesi: anche dopo che il bersaglio è stato raggiunto, le sinapsi attendono ancora giorni o settimane prima di diventare funzionali e non è detto che sopravvivano dopo aver iniziato la loro attività.

La maturazione finale del terminale nervoso è considerata un problema di traffico di membrana. È nozione condivisa che i vari componenti della presinapsi non vengono trasportati ai loro siti di azione individualmente ma in pacchetti di trasporto, ossia in vescicole che riuniscono assieme proteine e lipidi necessari a espletare specifiche funzioni. Nella presinapsi, poco prima della sua attivazione, si possono distinguere almeno tre differenti classi di vescicole. Le piccole vescicole a centro chiaro sembrano essere precursori delle vescicole sinaptiche, trasportando principalmente proteine di queste ultime. Le vescicole di 80 nm a centro scuro contengono proteine impalcatura della zona attiva (RIM, Piccolo e Bassoon) e componenti dell'apparato esocitotico (tra cui syntaxina, SNAP-25 e canali per Ca^{2+} voltaggio-dipendenti). Infine, le strutture tubulo-vescicolari contengono membrane di origine golgiana e precursori degli endosomi. La fusione delle vescicole di 80 nm porta alla formazione della zona attiva che precede la generazione delle vescicole sinaptiche, capaci di rilasciare ciclicamente il neurotrasmettitore.

A differenza della presinapsi, il terminale postsinaptico sembra invece formarsi per graduale accumulo di singole molecole trasportate in vescicole che poi si fondono per esocitosi alla membrana postsinaptica. Spetterebbe alla proteina impalcatura PSD-95 il ruolo di organizzatore dell'addensamento postsinaptico; essa infatti aggregerebbe i recettori per i neurotrasmettitori sulla membrana postsinaptica e poi recluterebbe, via via, diverse altre molecole postsinaptiche, determinando in questo modo la formazione dell'addensamento postsinaptico. È importante notare che le pre- e postsinapsi si sviluppano in maniera coordinata, mantenendo una stretta correlazione fra le dimensioni dei loro vari componenti (inclusi il volume del compartimento presinaptico e postsinaptico, il numero totale di vescicole sinaptiche, il numero di vescicole attaccate alla zona attiva, l'estensione della zona attiva e della densità postsinaptica). L'esistenza di questa correlazione fa supporre che vi sia un continuo scambio di informazioni fra la pre- e la postsinapsi, operato probabilmente dai complessi giunzionali che stabilizzano la sinapsi e/o da fattori secreti pre- e postsinapticamente. Il numero di sinapsi che si forma durante lo sviluppo è esorbitante, rispetto alle sinapsi presenti nell'adulto. Intrinseco alla sinaptogenesi è quindi il processo speculare di eliminazione sinaptica. Evidenze genetiche e sperimentali mostrano come l'attività sinaptica, e quindi l'uso, sia il principale mezzo di sopravvivenza dei contatti nervosi. I modelli genetici (in particolare i topi knock out per Munc18 e Munc13) mostrano al contempo che l'attività sinaptica non è richiesta per la formazione delle sinapsi, potendosi generare sinapsi normali, per numero e aspetto, anche in assenza di rilascio del neurotrasmettitore. Tali sinapsi mutanti non sono però stabili e degenereranno subito dopo la nascita, poiché inattive. Evidenze sperimentali sembrano indicare che la

proteolisi ubiquitina-dipendente sia uno dei principali meccanismi di regolazione della stabilità dei componenti sia del compartimento presinaptico che postsinaptico.

Sopravvivenza neuronale. - La formazione della complessa architettura circuitale del sistema nervoso è un processo largamente antieconomico, in cui vengono non solo generate più sinapsi del necessario, ma anche molti più neuroni di quelli che poi costituiranno il sistema nervoso dell'adulto. Il processo biologico che opera l'eliminazione dei neuroni sovrannumerari è l'apoptosi, o morte cellulare programmata, un complesso programma genetico presente in tutte le cellule. Il ruolo essenziale dell'apoptosi nello sviluppo del sistema nervoso è illustrato da esperimenti genetici nel topo, in cui la mancata espressione di componenti chiave del processo apoptotico risulta invariabilmente in un'enorme sovracrescita del tessuto nervoso, con gravi alterazioni strutturali. L'effetto della mancata apoptosi negli altri tessuti è molto meno drammatico.

Dal momento in cui divengono postmitotici, i neuroni vivono in un delicato equilibrio tra sopravvivenza e apoptosi. Questo equilibrio è regolato da una costellazione di fattori trofici e/o proapoptotici che sono responsabili, legandosi a specifici recettori, di attivare i programmi cellulari della sopravvivenza, crescita e differenziamento neuronale o, viceversa, i programmi che portano all'autodistruzione o suicidio cellulare, rappresentato dalla morte cellulare programmata.

Numerose evidenze sperimentali mostrano che la sopravvivenza di un neurone dipende da una serie di fattori trofici o di sopravvivenza rilasciati dalle cellule circostanti che sopprimono attivamente il programma dell'apoptosi, mantenendo in vita il neurone. Nelle prime fasi della neurogenesi, i fattori trofici sono essenzialmente gli stessi che regolano l'induzione e la specificazione neuronale (in particolare, morfogeni e citochine) e vengono poi sostituiti da fattori di crescita secreti dalle cellule gliali come il GDNF (Glial-derived neurotrophic factor) che hanno il compito di mantenere in vita i neuroni fino al raggiungimento del bersaglio. Una volta giunto in prossimità del bersaglio, l'assone inizia a captare e a trasportare in maniera retrograda, verso il soma, nuovi fattori neurotrofici rilasciati dal bersaglio stesso che, per un periodo di tempo limitato, risultano indispensabili per la sopravvivenza del neurone. Il Nerve growth factor (NGF) è il primo identificato, più noto e meglio studiato di questi fattori; esso è essenziale per la sopravvivenza dei neuroni simpatici. I neuroni centrali necessitano invece di una costellazione di fattori neurotrofici quali il ciliary neurotrophic factor, l'IGF-1 e le neurotrofine NT-3, NT-4 e il BDNF (Brain-derived neurotrophic factor) per non andare incontro ad apoptosi nel periodo critico del raggiungimento del bersaglio. Infine, quando il neurone si inserisce in uno specifico circuito nervoso, lo stabilirsi di una efficace attività elettrica (grazie all'attività di appropriate afferenze) ha un effetto positivo sulla sopravvivenza del neurone e ne rafforza le connessioni sinaptiche.

Il programma dell'apoptosi opera incessantemente durante ogni tappa del processo di neurogenesi. Esso è tuttavia tanto più attivo quanto più i neuroni si instradano nel processo differenziativo, a suggerire che

l'apoptosi operi essenzialmente un controllo di qualità atto a eliminare neuroni anomali o carenti funzionalmente. Durante l'induzione e la specificazione neuronale verrebbero quindi eliminati neuroni con difetti proliferativi, che non rispondono correttamente ai morfogeni o ne disturbano i gradienti. Poi verrebbero eliminati i neuroni i cui assoni imboccano strade errate, non raggiungono il loro bersaglio fisiologico o non si integrano correttamente nei circuiti nervosi. Il processo di selezione vero e proprio è operato attraverso l'instaurarsi di una competizione fra i vari neuroni per concentrazioni limitanti dei vari fattori trofici.

Neurogenesi nell'adulto

All'inizio del XX sec., le osservazioni di Santiago Ramón y Cajal avevano escluso che la maggior parte dei neuroni fossero capaci di riprodursi dopo la nascita. L'introduzione di tecniche specifiche di marcatura del DNA in fase di replicazione permisero di scoprire, alla fine degli anni Sessanta, che vi erano ristrettissime popolazioni di cellule in attiva proliferazione in specifiche aree del nevrassa. Queste osservazioni furono completamente ignorate per quasi quindici anni, fino a quando fu notato che tali cellule proliferanti erano perfettamente incorporate in circuiti nervosi e che l'attiva proliferazione di neuroni era fondamentale, per esempio, per il canto stagionale di alcuni uccelli. Oggi sappiamo che la neurogenesi nell'adulto è attiva in due sole aree del nevrassa: la zona subventricolare dei ventricoli laterali e la zona subgranulare del giro dentato dell'ippocampo. La neurogenesi fuori da queste due zone appare estremamente limitata nell'individuo sano; tuttavia, in seguito a processi patologici, altre aree del sistema nervoso centrale possono diventare attivamente neurogeniche.

La neurogenesi nell'adulto si sviluppa attraverso quattro fasi. Nella prima fase alcune cellule delle zone subventricolari e subgranulari, esprimendo marcatori dell'astroglia, formano una popolazione residente di cellule staminali adulte. Tale popolazione è caratterizzata da una continua e lenta proliferazione che automantiene il pool delle cellule staminali stesse e che genera, contemporaneamente, cellule che si amplificano transitoriamente (transiently amplifying cells). Nella seconda fase, queste ultime cellule vanno incontro al processo di specificazione neuronale diventando neuroni immaturi. Nella terza fase, i neuroni immaturi migrano verso le aree dove risiederanno definitivamente e si integrano nei circuiti nervosi delle rispettive aree bersaglio.

Diverse evidenze sperimentali indicano che, nell'adulto, solo il bulbo olfattivo e l'ippocampo sono aree adeguate per permettere la sopravvivenza dei nuovi neuroni. Danni ischemici, epilessia e malattie degenerative sono potenti stimoli proliferativi per aree apparentemente non neurogeniche del nevrassa. Tuttavia i neuroni che proliferano nelle aree ischemiche o colpite da processi degenerativi non sopravvivono che per brevi periodi, non raggiungendo mai la piena integrazione funzionale. L'epilessia con focus ippocampale indurrebbe invece la crescita di neuroni capaci di integrarsi funzionalmente. Si pensa che siano specialmente gli astrociti e

le cellule endoteliali delle aree neurogeniche e delle corrispondenti aree bersaglio a fornire i fattori trofici necessari per la maturazione e l'integrazione dei nuovi neuroni (a differenza della neurogenesi embrionale, dove le cellule gliali si differenziano dopo gli elementi neuronali).

Il significato funzionale della neurogenesi nel bulbo olfattivo e nell'ippocampo è ancora piuttosto oscuro. Sappiamo tuttavia che l'ablazione delle cellule staminali ippocampali (a seguito di irradiazione) produce una riduzione delle prestazioni in paradigmi comportamentali che saggiavano la funzionalità di quest'area. Parimenti, l'esercizio intensivo in alcuni di questi paradigmi stimola potentemente la neurogenesi ippocampale. Evidenze simili sono state ottenute anche per la funzione olfattiva, a indicare che la neurogenesi è cruciale per la plasticità funzionale di queste aree.

3. Sinapsi

Esistono sinapsi chimiche e sinapsi elettriche. Le sinapsi chimiche sono formate da due compartimenti, il compartimento presinaptico (o presinapsi) e quello postsinaptico (o postsinapsi), che si fronteggiano separati dalla fessura sinaptica. Nella presinapsi sono presenti organelli secretori specializzati, le vescicole sinaptiche, che contengono il neurotrasmettitore. Le vescicole sinaptiche sono concentrate lungo una specializzazione della membrana presinaptica, chiamata 'zona attiva'. L'arrivo del potenziale d'azione provoca, a questo livello, l'entrata di Ca^{2+} attraverso canali voltaggio-dipendenti di tipo P/Q o N e questo segnale scatena l'esocitosi del neurotrasmettitore nello spazio sinaptico. Da qui, esso diffonde verso specifici recettori posti nella membrana postsinaptica. Tali recettori possono essere: (a) proteine-canali, che traducono il segnale chimico del neurotrasmettitore in un nuovo impulso elettrico; (b) recettori metabotropici, che attivano processi di segnalazione intracellulare. Le risposte evocate dai neurotrasmettitori delle molteplici sinapsi vengono integrate nella cellula postsinaptica in risposte elettriche e/o metaboliche (variazioni funzionali e trascrizionali). Le sinapsi chimiche operano quindi un elaborato processo di trasduzione vettoriale del segnale, attraverso il quale un impulso elettrico viene convertito nel rilascio di un segnale chimico da parte della cellula nervosa che invia il messaggio, il quale viene riconosciuto e trasdotto in una risposta biologica elettrica e/o metabolica a livello della cellula postsinaptica. In questo modo, il codice digitale rappresentato dal potenziale d'azione (fenomeno 'tutto o nulla' e di ampiezza costante che si trasmette fedelmente a lunga distanza) diviene analogico, trasformandosi in un rilascio di quantità graduate di neurotrasmettitore. Mentre il linguaggio elettrico dei neuroni può solo variare in frequenza dei segnali, il linguaggio chimico possiede un repertorio di segnali più graduato e suscettibile di integrazione. In questa sinergia tra fenomeni elettrici e chimici e nell'incessante trasformazione dei segnali tra questi due mondi risiedono le formidabili capacità di percezione, elaborazione e risposta del nostro sistema nervoso.

Il ciclo delle vescicole sinaptiche

La trasmissione chimica dell'impulso nervoso avviene attraverso il rilascio esocitotico di un neurotrasmettitore – contenuto in pacchetti elementari detti 'quanti' – in organelli specializzati, le vescicole sinaptiche. Fin dalla scoperta della neurotrasmissione è stato quindi fondamentale identificare e caratterizzare il macchinario molecolare alla base di questo processo. Le vescicole sinaptiche si dividono in due grandi classi: (a) vescicole piccole, con un diametro sorprendentemente uniforme di circa 50 nm, che contengono neurotrasmettitori non peptidici, sintetizzati in loco nel terminale nervoso e rilasciati nello stretto vallo sinaptico, e che operano un sistema di segnalazione rapido e spazialmente selettivo tra le due cellule connesse sinapticamente; (b) vescicole più grandi (100÷300 nm di diametro) a nucleo denso, che contengono neuropeptidi e che, in numero generalmente inferiore, sono localizzate in zone più periferiche del terminale e rilasciano il loro contenuto nello spazio interstiziale, operando un sistema di segnalazione di tipo paracrino, lento e spazialmente non focalizzato (fig. 6A).

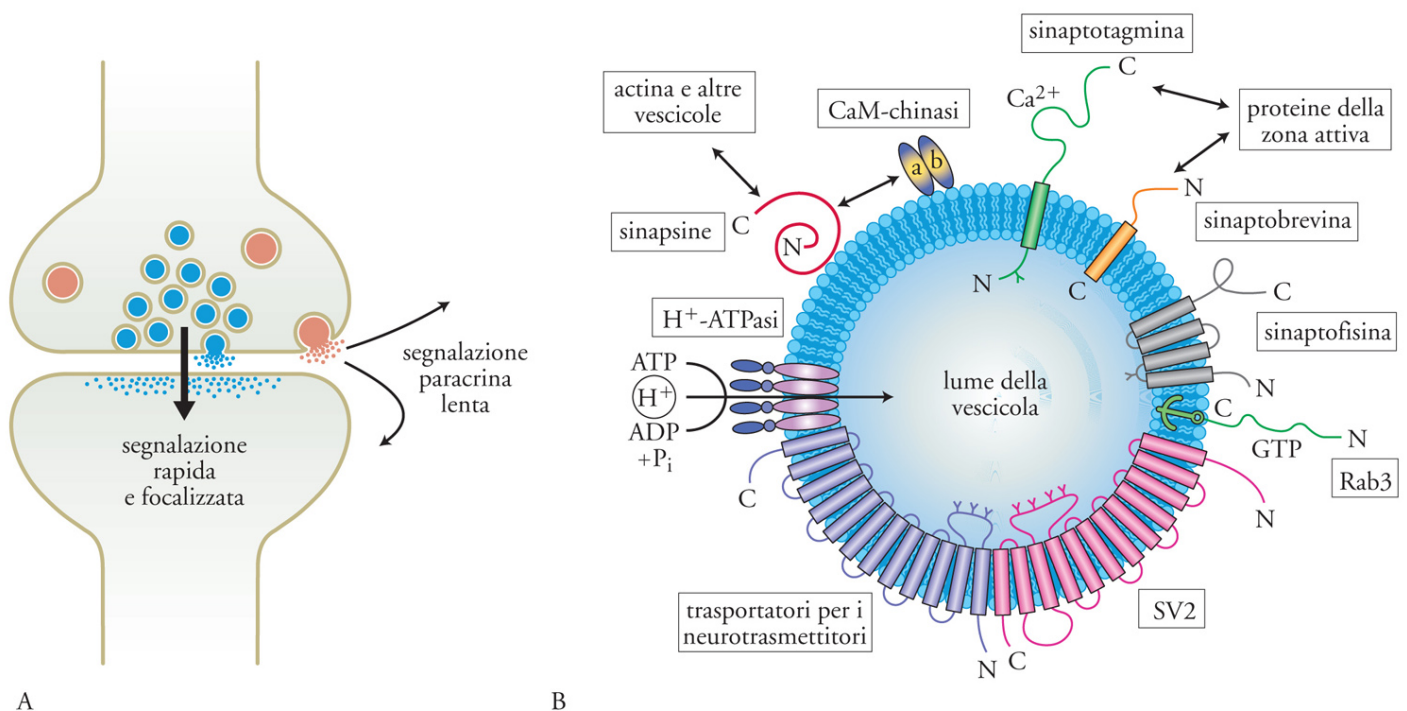


Fig. 6. Ruolo delle vescicole sinaptiche nella neurotrasmissione. (A) Rappresentazione schematica di una sinapsi centrale con i principali tipi di vescicole sinaptiche. (B) Complessità del fenotipo proteico delle vescicole sinaptiche piccole che contengono neurotrasmettitori ad azione rapida. La maggior parte delle proteine vescicolari sono specifiche e il loro corredo si mantiene inalterato nel tempo nonostante i frequentissimi cicli di esoendocitosi con la membrana plasmatica.

Nelle vescicole sinaptiche che contengono neurotrasmettitori ad azione rapida sono presenti due classi di componenti obbligatori: (a) proteine che servono a riempire la vescicola con il neurotrasmettitore; (b) fattori implicati nel ciclo esoendocitotico (fig. 6B).

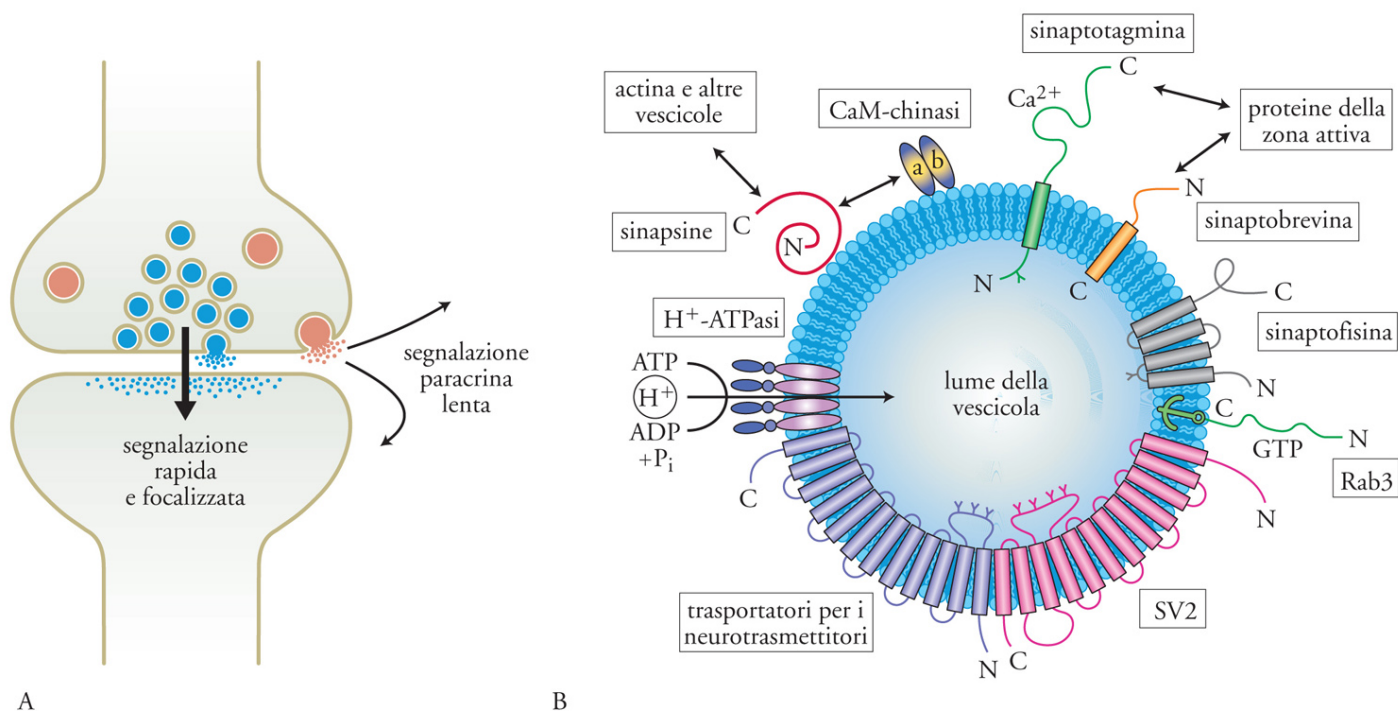


Fig. 6. Ruolo delle vescicole sinaptiche nella neurotrasmissione. (A) Rappresentazione schematica di una sinapsi centrale con i principali tipi di vescicole sinaptiche. (B) Complessità del fenotipo proteico delle vescicole sinaptiche piccole che contengono neurotrasmettitori ad azione rapida. La maggior parte delle proteine vescicolari sono specifiche e il loro corredo si mantiene inalterato nel tempo nonostante i frequentissimi cicli di esoendocitosi con la membrana plasmatica.

Le vescicole sinaptiche accumulano il neurotrasmettitore per trasporto attivo. L'energia utilizzata per quest'operazione deriva dal gradiente elettrochimico creato dalla pompa protonica vacuolare, un complesso multiproteico che consuma ATP per spostare idrogenioni all'interno del lume vescicolare. Il neurotrasmettitore entra poi nella vescicola, attraverso uno specifico trasportatore. Vi sono quattro classi di trasportatori vescicolari, rispettivamente per glutammato, ammine biogene, GABA/glicina e acetilcolina. L'espressione di un determinato sistema di trasporto è, in molti casi, sufficiente a far sì che il neurone rilasci il neurotrasmettitore proprio di quel sistema di trasporto. I fattori che controllano il traffico delle vescicole sinaptiche costituiscono un insieme molto complesso, di natura mista proteico-lipidica, di cui si conoscono in dettaglio solo alcuni aspetti. Per ragioni di semplicità e chiarezza, ci focalizzeremo solo su quegli aspetti del processo che sono stati indagati con maggior successo in questi ultimi anni.

La fusione intracellulare di due compartimenti di membrana è ottenuta con l'interazione di proteine SNARE, i recettori per le SNAP presenti su entrambe le membrane che si fondono (fig. 7).

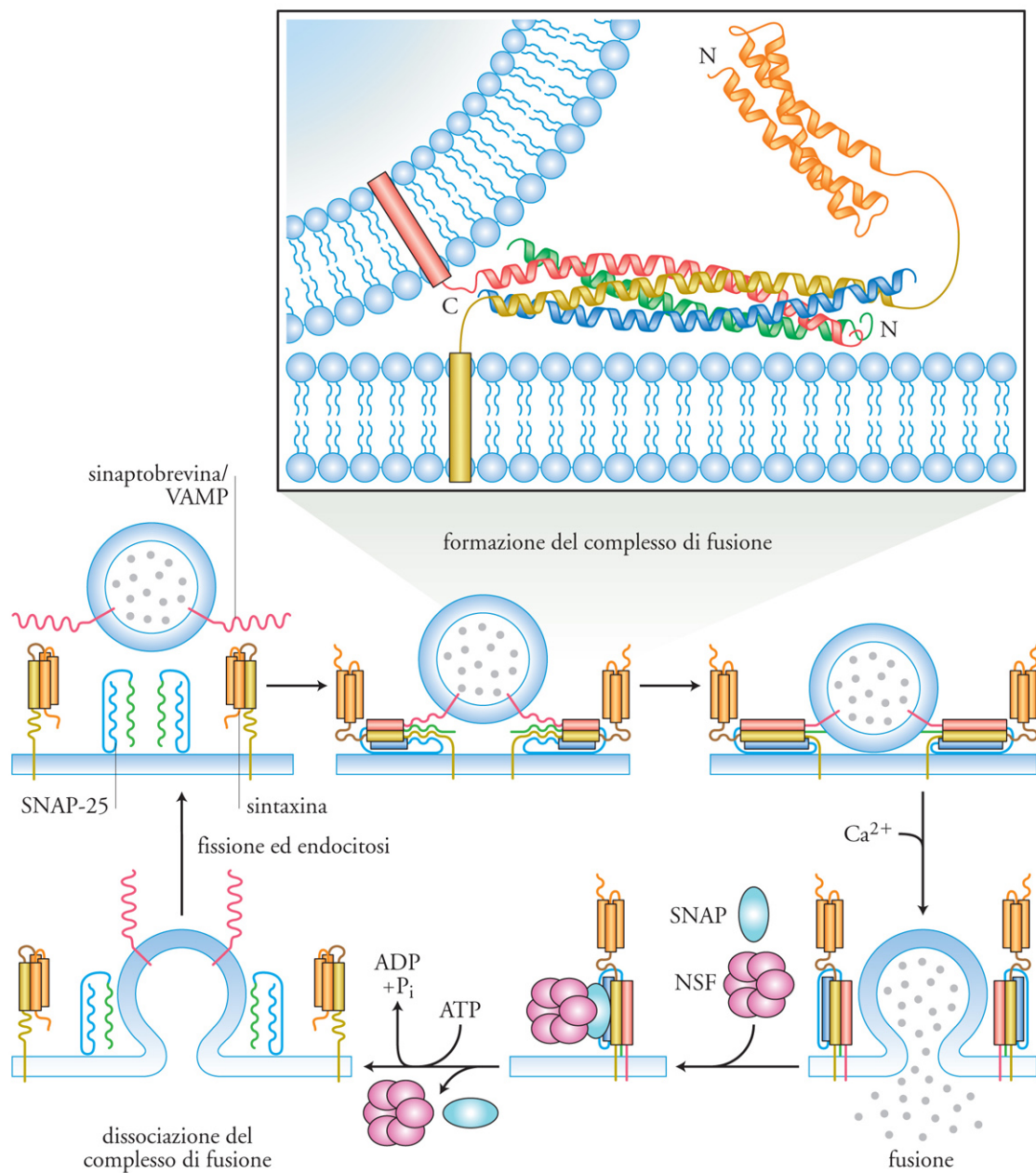


Fig. 7. Formazione e dissociazione del complesso di fusione durante le fasi di esocitosi delle vescicole sinaptiche. Le proteine SNARE sono mostrate in vari colori (syntaxine in giallo, sinaptobrevina/VAMP in rosso e SNAP-25 in bluverde); nel riquadro superiore ?? illustrato in dettaglio il meccanismo di 'zippering' in cui i quattro domini ad α -elica delle tre proteine si associano in una superelica che avvicina la membrana della vescicola alla membrana presinaptica.

L'esocitosi sinaptica è mediata da tre proteine SNARE: sinaptobrevina sulla vescicola sinaptica, syntaxina e SNAP-25 (Soluble NSF acceptor protein) sulla membrana presinaptica. Queste proteine associano spontaneamente fra loro attraverso motivi SNARE costituiti da 70 residui amminoacidici. L'associazione di quattro differenti motivi SNARE (di cui due forniti da SNAP-25 e uno ciascuno da sinaptobrevina e syntaxina) forma, attraverso un processo esoergonico, il complesso di fusione necessario e sufficiente per guidare la fusione delle membrane. La formazione di tale complesso, la cui struttura è oggi conosciuta a livello atomico, inizia dalle estremità citoplasmatiche delle proteine SNARE e procede verso le loro porzioni inserite nella membrana avvicinando la membrana vescicolare a quella presinaptica fino a farle toccare (stato di emifusione). Tale processo, per analogia con il meccanismo della chiusura lampo, è stato chiamato 'zippering'. Il ruolo determinante delle proteine SNARE nel processo di fusione è testimoniato dal fatto che sono il bersaglio dell'azione proteolitica delle tossine tetaniche e botuliniche che determinano un blocco totale e irreversibile dell'esocitosi. Se l'associazione di queste proteine fornisce l'energia per la fusione, ciò implica che esse debbano venire dissociate e riassegnate ai compartimenti di origine per permettere alle membrane vescicolare e presinaptica di riacquistare la competenza per ulteriori cicli di fusione. Poiché la loro associazione è un processo energeticamente favorito, la loro dissociazione richiede energia fornita dall'idrolisi di ATP da parte di una ATPasi solubile, l'NSF (N-ethylmaleimide sensitive factor) che, coadiuvato da proteine adattatrici SNAP, agisce nel breve intervallo di tempo che va dalla fusione al recupero endocitotico della vescicola sinaptica.

Le vescicole sinaptiche non si fondono spontaneamente con la membrana presinaptica, ma attendono l'entrata di Ca^{2+} nel terminale nervoso per rilasciare il loro neurotrasmettitore. All'arrivo del potenziale d'azione, il Ca^{2+} entra nel terminale presinaptico per l'apertura di canali per Ca^{2+} voltaggio-dipendenti di tipo P/Q o N. Transienti di Ca^{2+} intorno a $5\div 10\ \mu\text{M}$ per meno di 1 msec sono sufficienti a scatenare un rilascio del neurotrasmettitore indistinguibile da quello provocato dall'arrivo dell'impulso nervoso. Un modello matematico di questo processo ha fatto ipotizzare che il Ca^{2+} provochi l'esocitosi per interazione con uno specifico sensore dotato di cinque siti cooperativi di legame con affinità molare. Evidenze accumulate nell'ultimo decennio, in particolare utilizzando modelli genetici murini, hanno identificato nella sinaptotagmina il principale sensore per il Ca^{2+} . La sinaptotagmina appartiene a un'ampia famiglia di proteine transmembrana ed è dotata di due domini citoplasmatici di tipo C2 (C2A e C2B), che legano complessivamente 5 atomi di Ca^{2+} con bassa affinità (nel range mM); tale affinità è cooperativa e aumenta drammaticamente in seguito al legame dei domini C2 con i fosfolipidi di membrana. La sinaptotagmina lega inoltre il complesso SNARE in maniera sia dipendente che indipendente dal Ca^{2+} .

Il modello oggi proposto per spiegare l'attività di sinaptotagmina nel processo di fusione può essere così schematizzato. Il complesso SNARE è altamente instabile e, se lasciato a sé stesso, indurrebbe

spontaneamente la fusione di membrana. Per questa ragione, una volta assemblato, esso deve essere stabilizzato da parte di un gruppo di proteine citosoliche, le complexine. Viene quindi reclutata sinaptotagmina la quale è in grado di legare il complesso SNARE anche in assenza di Ca^{2+} . L'influsso di Ca^{2+} romperebbe questo equilibrio, facendo spostare rapidamente sinaptotagmina dal complesso SNARE verso i lipidi della membrana. La conseguente rapida perturbazione meccanica scatenerebbe il collasso del complesso SNARE, avvicinando le due membrane fino alla fusione.

In aggiunta al Ca^{2+} sono stati recentemente caratterizzati anche altri livelli di controllo del rilascio del neurotrasmettitore che non sono per ora integrabili nel modello precedentemente descritto. Uno dei principali livelli addizionali di controllo è quello esercitato dalle proteine SM (Munc18-1, -2, -3), la cui delezione provoca invariabilmente il blocco dell'esocitosi. Queste proteine legano la syntaxina e probabilmente aiutano la formazione del complesso di fusione agendo da proteine chaperon. Un altro livello è rappresentato dall'interazione del complesso SNARE con alcune proteine della zona attiva, come RIM e Munc13, la cui azione è anche in questo caso essenziale per l'esocitosi. Collettivamente, questi studi mostrano come la vescicola sinaptica abbia bisogno di andare incontro a un complesso processo di maturazione ('priming') prima di essere capace di rispondere al Ca^{2+} , con la probabile funzione di migliorare il controllo sulla secrezione sinaptica.

Evidenze elettrofisiologiche combinate a osservazioni morfologiche hanno evidenziato che non tutte le vescicole sinaptiche hanno la stessa probabilità di fondersi con la membrana presinaptica. In base a queste osservazioni è possibile suddividere le vescicole sinaptiche in tre differenti pool in equilibrio fra loro. In seguito all'arrivo del potenziale d'azione solo le vescicole ancorate alla membrana presinaptica e preparate per la fusione hanno un'elevata probabilità di rilasciare il neurotrasmettitore: esse costituiscono il pool di rilascio (readily-releasable pool). Questo pool viene continuamente rifornito di vescicole rigenerate mediante il processo di endocitosi e ricaricate di neurotrasmettitore: esse costituiscono il pool di riciclo (recycling pool). La stimolazione prolungata mobilita un altro pool di vescicole, più distanti dalla membrana sinaptica, chiamato 'pool di riserva', che va a rifornire il pool di rilascio (fig. 8).

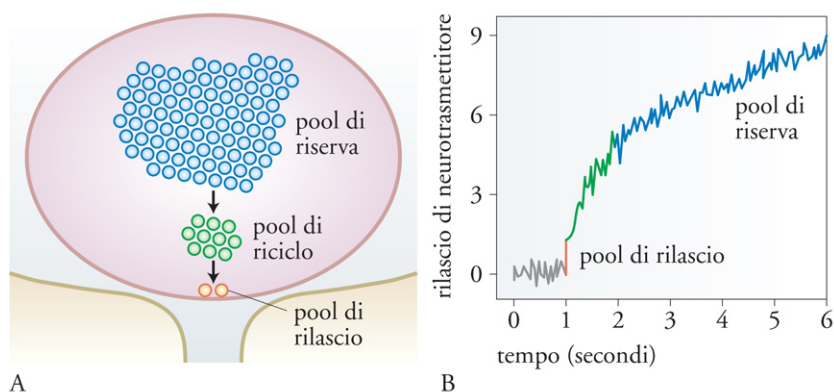


Fig. 8. I pool di vescicole sinaptiche in un terminale nervoso. Il pool di riserva rappresenta l'8090 % del numero totale di vescicole, il pool di riciclo circa il 1015 % e il pool di rilascio, costituito da vescicole ancorate alla zona attiva e già preparate alla fusione, solo l'1 % circa. Le proporzioni relative dei tre pool variano da sinapsi a sinapsi. L'analisi dell'esocitosi mediante l'uso di sonde fluorescenti rivela le diverse cinetiche di esocitosi e rilascio di neurotrasmettitore da parte dei vari pool.

L'analisi ultrastrutturale ha rilevato che le vescicole del pool di riserva sono organizzate in cluster circondati da un'impalcatura di filamenti di actina che tuttavia non penetrano all'interno. Le dimensioni relative dei vari pool variano da sinapsi a sinapsi e dipendono anche dal tipo di attività neuronale. Inoltre, il rapporto fra pool di rilascio e pool di riserva varia in maniera dinamica in base all'attività pregressa della terminazione nervosa, attraverso un meccanismo che coinvolge i livelli intracellulari di Ca^{2+} . Il Ca^{2+} attiverebbe quindi non solo la deplezione del pool di rilascio, ma anche il suo riempimento, in un equilibrio dinamico che determina l'efficienza della trasmissione sinaptica. Questo meccanismo offre una spiegazione molecolare dei processi di plasticità che coinvolgono un'aumentata o diminuita efficienza dei neuroni a rilasciare il neurotrasmettitore. Il traffico delle vescicole sinaptiche tra i vari pool è regolato dall'attività di proteine G monomeriche specifiche delle vescicole sinaptiche, le proteine Rab3, e dalle sinapsine, una famiglia di fosfoproteine interagenti con il citoscheletro di actina. Le sinapsine sono proteine estrinseche della membrana delle vescicole sinaptiche che vengono codificate nell'uomo da tre geni distinti che sono trascritti in numerose isoforme. Le sinapsine si associano alle vescicole sinaptiche ad alta affinità e legano actina, quando non sono fosforilate. Queste interazioni vengono reversibilmente inibite dalla fosforilazione dipendente da parte di specifiche chinasi attivate da cAMP (PKA), Ca^{2+} /calmodulina (CaM-chinasi I e II) e neurotrofine (MAPK, Mitogen activated protein kinase). Le sinapsine formerebbero un sistema di ancoraggio delle vescicole più esterne a questa impalcatura citoscheletrica e servirebbero anche ad ancorare fra loro le vescicole all'interno del cluster, attraverso la loro capacità di formare dimeri legati a vescicole adiacenti. La fosforilazione durante la depolarizzazione del terminale perturberebbe ciclicamente l'aggregazione del pool di riserva, mobilizzandone le vescicole verso il pool di rilascio.

Per sostenere il rilascio del neurotrasmettitore nel tempo, i componenti della vescicola sinaptica devono essere recuperati rapidamente ed efficientemente. Sono stati proposti due modelli per spiegare meccanicisticamente questo processo. Il primo modello ipotizza che le vescicole sinaptiche aprano un poro transitorio di fusione nella zona attiva da cui fuoriesce il neurotrasmettitore. La semplice chiusura di questo poro porterebbe al riciclo della vescicola sinaptica nella stessa zona in cui è avvenuta la fusione (ipotesi dell'endocitosi rapida o kiss-and-run). Nel secondo modello, le vescicole sinaptiche si fonderebbero nella zona attiva della presinapsi per rilasciare il neurotrasmettitore e poi sarebbero ricaptate in domini adiacenti della membrana presinaptica (zona periattiva), attraverso il processo dell'endocitosi mediata da clatrina (ipotesi dell'endocitosi lenta o mediata da clatrina). Studi elettrofisiologici e morfologici mostrano come i due modelli non siano in

antagonismo fra loro ma anzi coesistono in varie sinapsi, con un 5÷20% di tutti gli eventi di esocitosi che si concludono con endocitosi rapida. Quest'ultima prevarrebbe nelle prime fasi di stimolazione, permettendo il riciclo della vescicola sinaptica in frazioni di secondo. La stimolazione prolungata risulterebbe invariabilmente in un processo di endocitosi più lento ma con maggiore capacità, con una costante di tempo di qualche decina di secondi (fig. 9).

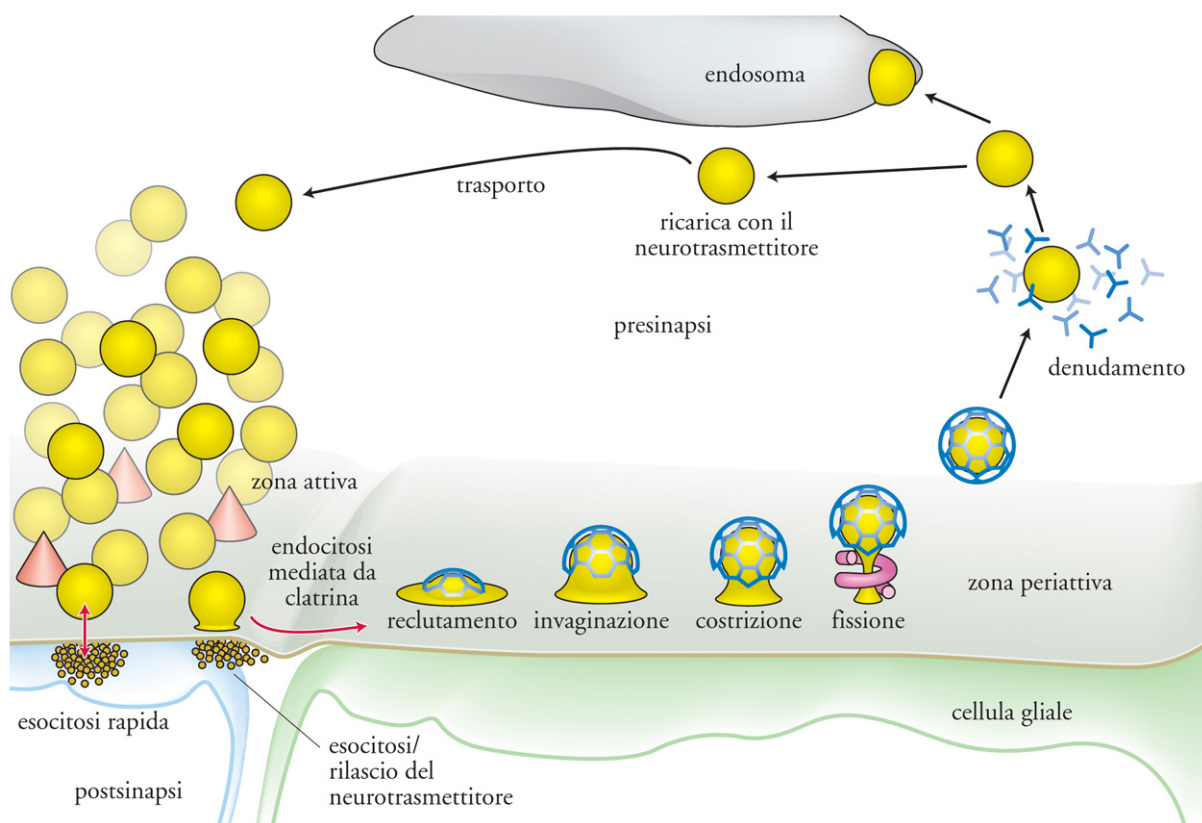


Fig. 9. Fasi del riciclo endocitotico delle vescicole sinaptiche. Il rilascio del neurotrasmettitore pu?? avvenire mediante endocitosi rapida a livello della zona attiva, o per endocitosi mediata da clatrina (in blu) a livello della zona periattiva.

Mentre il meccanismo molecolare che sostiene l'endocitosi rapida è in gran parte sconosciuto, grandi progressi sono stati invece compiuti nella caratterizzazione dei componenti che prendono parte all'endocitosi mediata da clatrina. Si è visto, innanzitutto, che l'apparato dell'endocitosi delle vescicole sinaptiche è simile a quello presente in tutte le cellule per l'endocitosi mediata da recettore. Tale processo inizia con il reclutamento del complesso adattatore tetramerico AP2 alla membrana della zona periattiva della presinapsi, attraverso una serie di segnali in parte proteici (sinaptotagmina) e in parte lipidici – il PIP2 (fosfatidilinositolo 4,5 bifosfato). Quindi AP2 recluta la clatrina che si assembla a formare un lattice piatto; un riarrangiamento spontaneo di questo lattice e possibilmente una modificazione della composizione lipidica di membrana portano a una

progressiva invaginazione della membrana. La costrizione e la fissione della membrana internalizzata richiedono l'attività della GTPasi dinamina (anch'essa ritenuta ugualmente implicata nell'endocitosi rapida). Vengono così generate vescicole libere che sono denudate del loro rivestimento di clatrina da un apposito complesso enzimatico costituito dalle proteine chaperon Hsc70 e dalla proteina auxilin. Nella presinapsi la vescicola è quindi riempita del neurotrasmettitore e riportata nel pool di rilascio o in quello di riserva, per andare incontro a un nuovo evento esocitotico.

Oltre ai componenti strutturali dell'endocitosi, è stata identificata una serie di fattori proteici e lipidici che servono a regolare e a coordinare il processo di riciclaggio vescicolare. Molti di questi fattori, chiamati collettivamente 'fattori accessori dell'endocitosi', sono prevalentemente espressi nella sinapsi. Ciò spiega perché la rapidità e l'efficienza dell'endocitosi sinaptica sono incomparabilmente superiori all'endocitosi che avviene in tutte le cellule. Funzionalmente, i fattori accessori possono essere divisi in almeno tre gruppi. Una serie di proteine adattatrici multidominio (anfifisina, endofilina, epsina, sindapina e intersectina) sono implicate nella formazione di un'impalcatura su cui vengono reclutati componenti del rivestimento di clatrina, enzimi lipidici e proteine citoscheletriche. Esperimenti genetici in varie specie hanno mostrato che il ciclo della vescicola sinaptica è regolato da un parallelo ciclo di fosforilazione e defosforilazione di fosfoinositidi. In particolare, la sintesi di PIP₂, regolata dalla PIP-chinasi I γ , è essenziale per l'efficiente reclutamento ai siti di endocitosi di vari componenti del mantello clatrinico, mentre la successiva defosforilazione del PIP₂, operata dall'enzima sinaptogianina, è richiesta per la rimozione del rivestimento di clatrina. Infine, numerose evidenze sperimentali hanno implicato il citoscheletro di actina nel processo di riciclo della vescicola sinaptica, e in particolare nella propulsione di quest'ultima dalla zona periattiva alla zona attiva. Le recenti osservazioni di un'interazione diretta tra dinamina e actina suggeriscono un ruolo del citoscheletro anche nelle fasi più precoci del processo di endocitosi come la fissione.

Organizzazione dell'addensamento pre- e postsinaptico

Il processo di neurotrasmissione richiede il preciso allineamento della specializzazione pre- e postsinaptica. Le vescicole sinaptiche devono essere vicine e in parte attaccate alla zona attiva, in maniera da rilasciare rapidamente il neurotrasmettitore in un punto estremamente ristretto della membrana presinaptica. Dal lato postsinaptico, i recettori per i neurotrasmettitori devono essere raggruppati in una zona che sia alla minima distanza dalla zona attiva presinaptica, così da essere esposti ad alte concentrazioni di neurotrasmettitore e rispondere il più rapidamente possibile a esso.

Due classi distinte di molecole concorrono a questo compito. Da una parte, molecole di adesione che attraversano lo spazio sinaptico e mantengono in registro la pre- e postsinapsi, formando così uno dei più stabili sistemi di giunzione cellula-cellula del nostro organismo. Dall'altra, fattori solubili citosolici si

associano ai fattori di adesione, in maniera da guidarne il posizionamento, favorendo intorno a essi l'aggregazione delle vescicole sinaptiche e dei recettori per i neurotrasmettitori e innescando un complesso processo di segnalazione intracellulare che andrà a modificare il funzionamento sinaptico (fig. 10).

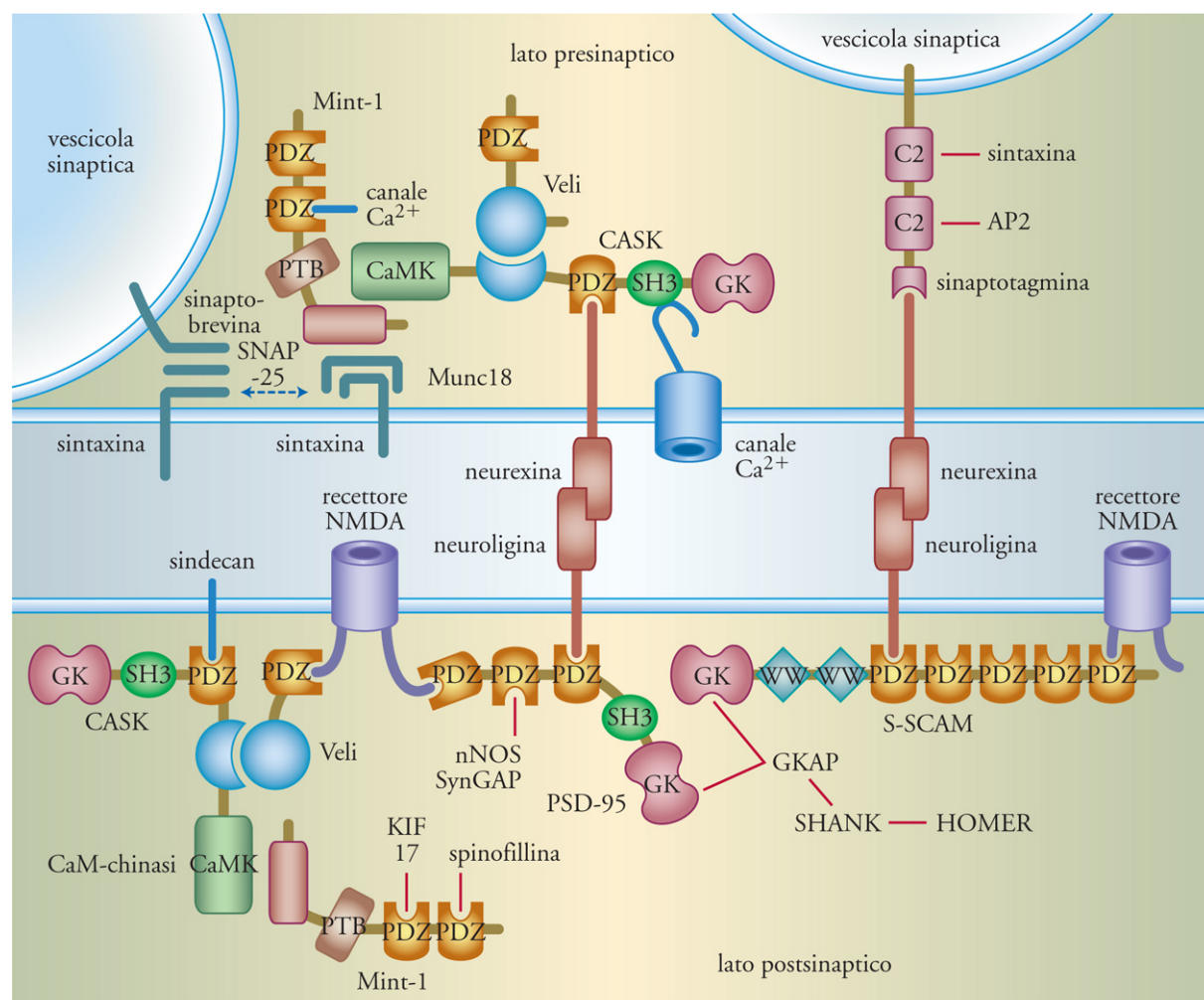


Fig. 10. Organizzazione molecolare degli addensamenti pre- e postsinaptico. Le molecole di adesione attraversano lo spazio sinaptico e sono associate intracellularmente a complessi proteici multimolecolari che accumulano a questo livello le molecole pre- e postsinaptiche fondamentali per la neurotrasmissione.

Le molecole adesive più note della sinapsi sono le caderine, proteine transmembrana che formano giunzioni aderenti negli epitelii di rivestimento e tra le zone periaxiali della presinapsi e della postsinapsi. Nella giunzione sinaptica vi sono due tipi di caderine: le caderine classiche, essenzialmente N-caderina, e le protocaderine. La funzione della N-caderina è legata alla stabilizzazione meccanica della sinapsi nell'adulto. Durante lo sviluppo, la N-caderina esercita invece un ruolo chiave nell'arborizzazione dendritica, nella morfogenesi delle spine e nei processi adesivi che accompagnano la sinaptogenesi. Le protocaderine sembrano esercitare un ruolo ristretto all'embriogenesi del neurone.

In questi ultimi anni è emerso un nuovo complesso giunzionale della sinapsi, rappresentato dall'interazione eterofilica fra due proteine, neurexina e neuroligina, appartenenti rispettivamente alla membrana pre- e postsinaptica. Studi genetici indicano come il complesso di adesione sia uno dei pilastri essenziali attorno ai quali si organizzano l'addensamento pre- e postsinaptico. La neurexina interagisce dal lato citoplasmatico con un complesso di tre proteine impalcatura MALS/Veli, CASK e Mint-1, ricche in domini di interazione PDZ. Tale complesso, a sua volta, recluta le vescicole sinaptiche che sono attaccate alla membrana presinaptica e i canali per Ca^{2+} necessari a scatenare l'esocitosi. Se si interferisce presinapticamente con la funzione del complesso MALS-CASK-Mint-1, si ha una severa riduzione di rilascio del neurotrasmettitore per dispersione di componenti della zona attiva. Dal lato postsinaptico, vi è un'altra proteina impalcatura contenente domini PDZ, la PSD-95, che è la più abbondante proteina della postsinapsi. PSD-95 aggrega i recettori-canale e li lega alla neuroligina. Inoltre essa lega numerose altre proteine impalcatura e molecole di segnalazione intracellulare (fig. 10). Studi genetici, elettrofisiologici e morfologici mostrano come queste interazioni regolino una complessa cascata di segnali che modificano profondamente la struttura dell'addensamento postsinaptico e la plasticità della trasmissione nervosa.

Integrazione e plasticità sinaptica

Mentre nella sinapsi neuromuscolare vengono rilasciate quantità enormi di neurotrasmettitore (acetilcolina) che sono ampiamente sufficienti a generare, in condizioni fisiologiche, una depolarizzazione intensa della cellula muscolare che provoca lo sviluppo del potenziale d'azione, la maggior parte delle sinapsi nel sistema nervoso centrale ha invece un comportamento diverso. I pochi quanti rilasciati in risposta al potenziale d'azione determinano singolarmente depolarizzazioni postsinaptiche inferiori al mV, assolutamente insufficienti a raggiungere la soglia per provocare l'insorgenza di un potenziale d'azione. È quindi necessario sommare nel tempo e nello spazio numerosissimi potenziali postsinaptici perché, a livello del segmento iniziale dell'assone (che è la zona del neurone più eccitabile, ovvero con soglia più bassa), si raggiunga la soglia per l'insorgenza del potenziale d'azione (10-15 mV sopra il potenziale di riposo). Questo processo è indispensabile per permettere ai neuroni centrali, che ricevono normalmente migliaia di contatti sinaptici, di scatenare un potenziale d'azione solo quando il complesso dei segnali in ingresso – opportunamente integrati in base alla loro influenza eccitatoria (depolarizzazione) o inibitoria (iperpolarizzazione) e secondo le caratteristiche geometriche ed elettrotoniche dell'albero dendritico – produce una depolarizzazione adeguata del segmento iniziale dell'assone. Questo processo di integrazione è essenziale per le complesse potenzialità computazionali del singolo neurone e dei circuiti neuronali.

Un'altra proprietà fondamentale dei circuiti nervosi è la loro plasticità. L'efficienza con cui la sinapsi trasferisce l'informazione (forza sinaptica) non è una proprietà immutabile, ma può venire finemente regolata

sulla base della storia recente del neurone e dell'ambiente biochimico intracellulare. Questa capacità di variare l'efficienza sinaptica su base puramente funzionale (variazione del software) è detta 'plasticità funzionale' ed è in genere limitata a un breve periodo di tempo dopo l'evento che l'ha prodotta (plasticità a breve termine).

Questa plasticità a breve termine (che include i fenomeni di facilitazione, depressione, potenziamento post-tetanic) è generalmente integrata a livello presinaptico e si esprime in seguito a variazioni, indotte da secondi messaggeri o dai livelli intracellulari di Ca^{2+} , nella probabilità di rilascio o nel numero di vescicole che vanno incontro a esocitosi in risposta al singolo stimolo.

Alla plasticità a breve termine segue una forma più complessa e duratura di plasticità sinaptica. Tale forma di plasticità a lungo termine (potenziamento o depressione a lungo termine) viene in genere innescata dalla coincidenza di eventi come il rilascio di glutammato in presenza di una forte depolarizzazione postsinaptica che rende responsivi i recettori NMDA (N-metil-aspartato) ed è associata a variazioni nell'espressione genica e nella sintesi di proteine coinvolte nella neurotrasmissione (proteine presinaptiche, canali voltaggio-dipendenti, recettori postsinaptici) o nel rimaneggiamento delle sinapsi (neurotrofine, molecole di adesione). Questi cambiamenti nell'espressione genica portano al rimaneggiamento di sinapsi preesistenti, alla formazione di nuove connessioni sinaptiche o alla regressione di sinapsi preesistenti, modificando permanentemente la connettività. Tale plasticità sinaptica a lungo termine può essere mantenuta per ore, mesi e anni. Nell'ambito dei circuiti nervosi, variazioni transitorie o permanenti nella forza sinaptica e nel volume di informazioni trasferite (conseguenti a variazioni nel numero di sinapsi tra neurone pre- e postsinaptico) sono in grado di incanalare il flusso delle informazioni attraverso le connessioni 'facilitate' distogliendolo dalle connessioni inibite o 'deprese'. Questo tipo di fenomeni, studiabili a livello cellulare e comportamentale, ha mostrato una stretta correlazione tra apprendimento e fenomeni di plasticità sinaptica in aree circoscritte del sistema nervoso centrale, tale da fare ritenere con ragionevole sicurezza che la plasticità sinaptica a lungo termine sia la base cellulare dei fenomeni di apprendimento e memoria.

4. Rapporti funzionali tra neuroni e cellule gliali

Fin dalla sua scoperta, la glia fu considerata un componente passivo, con funzioni di semplice impalcatura del tessuto nervoso. Negli ultimi dieci anni questa visione si è profondamente modificata. L'osservazione che l'oligodendroglia funzioni da guida, nell'embrione, e poi da barriera, nell'adulto, per la crescita assonale ha fornito la prima prova, sebbene indiretta, che la glia è un componente attivo del tessuto nervoso. A ciò si sono aggiunte altre osservazioni che mostrano come l'ependima (la glia che riveste le cavità ventricolari) partecipi alle funzioni neuroendocrine dell'ipotalamo e come la microglia sia fondamentale per le reazioni immunitarie nel tessuto nervoso. Oggi si hanno evidenze che anche l'ultimo e numericamente più importante contingente di

cellule gliali, l'astroglia, è dotato di proprietà attive. Ci soffermeremo su due aspetti emergenti di questo rinnovato interesse sulla glia: (a) rapporti 'simbiotici' fra mielina e assone come condizione necessaria per un'efficace propagazione dell'impulso nervoso; (b) funzione regolatoria dell'astroglia sulla neurotrasmissione.

Il processo di mielinizzazione

La mielina è un rivestimento discontinuo isolante che permette alle fibre nervose mieliniche di condurre il potenziale d'azione a velocità molto superiori alle fibre sprovviste di tale rivestimento. La mielina è formata da sottili prolungamenti citoplasmatici, provenienti dalle cellule di Schwann nel sistema nervoso periferico o dagli oligodendrociti nel sistema nervoso centrale, che si avvolgono a spirale attorno all'assone, formando manicotti di lunghezza variabile tra 30 e 1000 μm (in media 100 volte più lunghi del diametro dell'assone) con un rapporto tra diametro dell'assone e diametro totale della fibra (rapporto G) di circa $0,6 \div 0,7$ (fig. 11A).

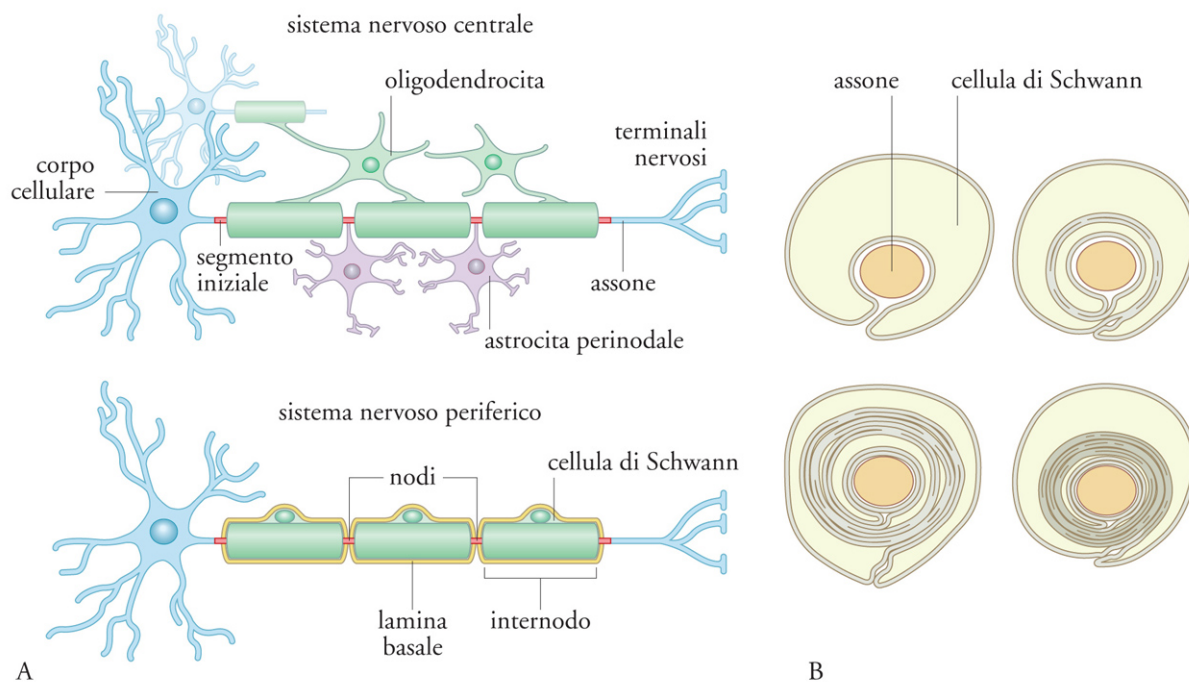


Fig. 11. La mielina e il processo di mielinizzazione del nervo. (A) Formazione della guaina mielinica nel sistema nervoso centrale da parte degli oligodendrociti (sopra) e nel sistema nervoso periferico da parte delle cellule di Schwann. (B) Il processo di mielinizzazione inizia con il riconoscimento dell'assone da parte della glia; quindi viene emesso un prolungamento della cellula gliale che si avvolge attorno all'assone. Infine si ha il processo di compattazione, con la progressiva estrusione del citoplasma dalla guaina mielinica in formazione.

Durante il processo di mielinizzazione, il citoplasma delle cellule gliali è progressivamente estruso (processo di compattazione), portando al collabimento delle facce citoplasmatiche della membrana all'interno della singola spira e delle facce extracellulari della membrana di spire adiacenti (fig. 11B).

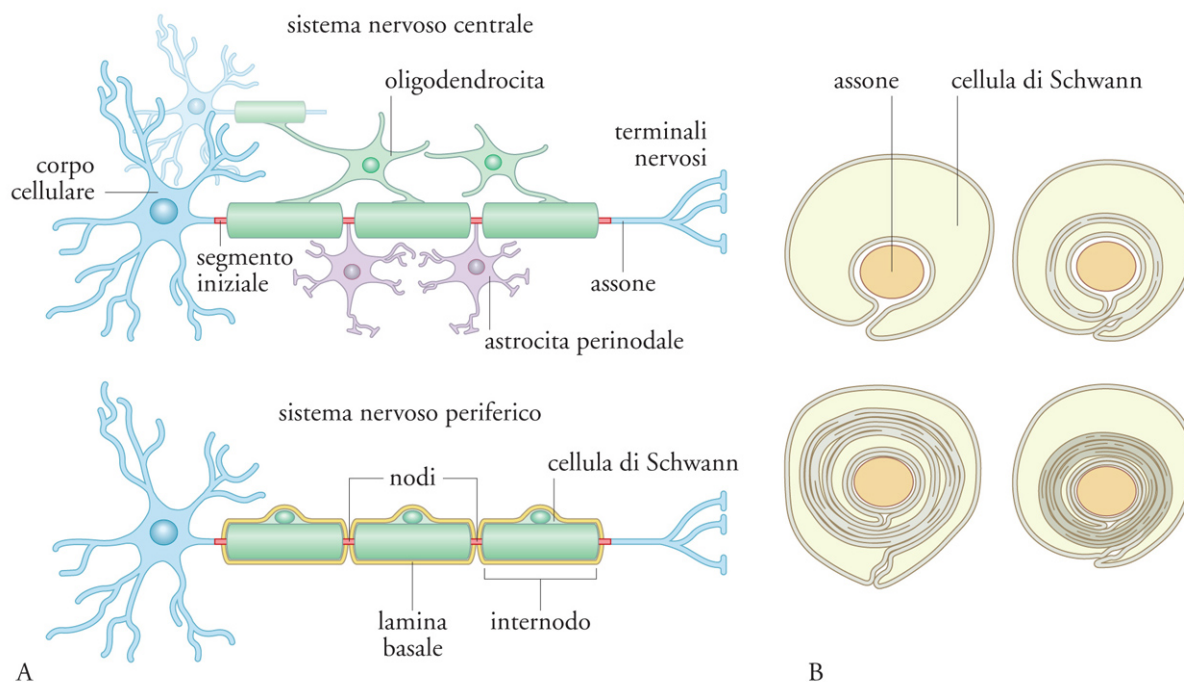


Fig. 11. La mielina e il processo di mielinizzazione del nervo. (A) Formazione della guaina mielinica nel sistema nervoso centrale da parte degli oligodendrociti (sopra) e nel sistema nervoso periferico da parte delle cellule di Schwann. (B) Il processo di mielinizzazione inizia con il riconoscimento dell'assone da parte della glia; quindi viene emesso un prolungamento della cellula gliale che si avvolge attorno all'assone. Infine si ha il processo di compattazione, con la progressiva estrusione del citoplasma dalla guaina mielinica in formazione.

La guaina mielinica è quindi costituita da diversi strati sovrapposti di membrane cellulari. Come per le membrane plasmatiche, la guaina mielinica è composta da lipidi e proteine. I lipidi (fosfolipidi e glicolipidi) costituiscono la frazione percentualmente maggiore; essi conferiscono alla mielina la sua proprietà biofisica più importante: l'isolamento elettrico che determina l'aumento della resistenza di membrana e la diminuzione della sua capacitance. Le proteine sono altrettanto fondamentali, in quanto ognuna delle proteine isolate dalle guaine mieliniche è in qualche modo essenziale per la formazione e/o la stabilità del rivestimento mielinico. La compattazione delle membrane mieliniche è infatti ottenuta da una serie di proteine (come la proteina P0) che si autoassociano in trans nel versante extracellulare e neutralizzano le cariche negative presenti sul versante interno della membrana. Una piccola quantità di citoplasma sopravvive in tre zone del manicotto

mielinico: nei bordi della guaina mielinica, nell'ultimo giro a contatto con il neurone e nel giro più esterno. Tale citoplasma viene continuamente ricircolato attraverso un processo di slaminazione reversibile delle zone compatte (le cosiddette 'strie di Schmidt-Lantermann') che attraversa la guaina mielinica con un movimento lento e spirale. Questo continuo flusso di materiale citoplasmatico è essenziale per mantenere il trofismo della guaina mielinica fino agli strati più interni (fig. 12A).

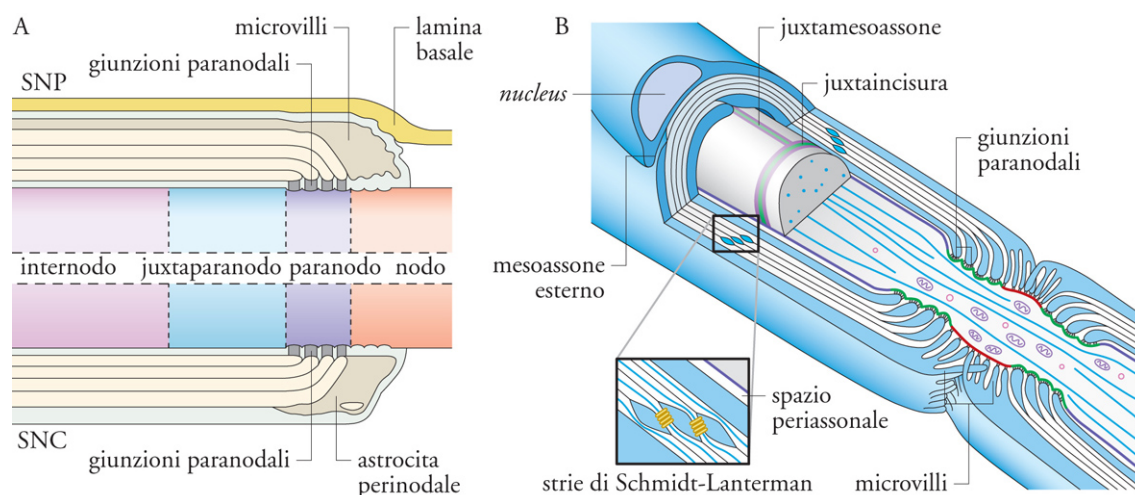


Fig. 12. Domini specifici della giunzione glia-assone in prossimità del nodo di Ranvier e dell'organizzazione fine del manicotto mielinico nell'SNP (parte superiore) e nell'SNC (parte inferiore). (A) Si noti che nell'SNC il nodo di Ranvier è protetto dal processo di un astrocita perinodale. (B) Particolare del nodo di Ranvier e della giunzione tra cellula di Schwann e assone nell'SNP. Sono evidenti i microvilli che ricoprono lassamente il nodo, le giunzioni settate del paranodo che ancorano la cellula di Schwann all'assolemma impedendo lo slaminamento e le strie di Schmidt-Lantermann necessarie per permettere il ricambio del citoplasma nelle spire più interne.

La formazione della guaina mielinica suddivide l'assone in zone funzionalmente differenti. Il segmento di assone a diretto contatto con la mielina compatta prende il nome di 'segmento internodale'. Esso, grazie al manicotto mielinico, è elettricamente isolato dall'ambiente circostante; ciò fa sì che la conduzione del potenziale elettrico in questo segmento avvenga come in un cavo (o per conduzione elettrotonica). Tra un segmento internodale e l'altro sono presenti zone dell'assone lassamente rivestite da prolungamenti delle cellule di Schwann che si embricano fra loro (nel sistema nervoso periferico) o da un prolungamento (piede) di un astrocita perinodale (nel sistema nervoso centrale): queste zone prendono il nome di nodi di Ranvier. In queste zone vi è una straordinaria concentrazione di canali ionici voltaggio-dipendenti (canali per Na^+ e canali per K^+) nella membrana dell'assone, tenuti assieme da interazioni con proteine citoscheletriche, come l'anchirina G e la spectrina, che li ancorano ai filamenti di actina del mantello corticale. I canali ionici

rigenerano il potenziale d'azione in maniera da permetterne la cosiddetta 'conduzione saltatoria' da un nodo ai 4÷7 nodi successivi. Infatti, il numero dei nodi per unità di lunghezza dell'assone è ridondante, con una frequenza circa tre volte superiore a quella necessaria per rigenerare efficacemente il potenziale d'azione. Studi morfologici e funzionali hanno individuato altre due zone della guaina mielinica, comprese fra il nodo di Ranvier e il lungo segmento internodale: il paranodo e lo juxtapanodo (fig. 12B). La zona paranodale è stabilizzata da particolari sistemi giunzionali cellula-cellula, molto antichi filogeneticamente, chiamati 'giunzioni settate' e formati da complessi macromolecolari extracellulari a cui partecipano proteine dell'assone (paranodina e contactina) e della glia (neurofascina-155). La funzione delle giunzioni settate paranodali è triplice: (a) esse formano un blocco alla diffusione di ioni verso l'assone mielinizzato, favorendo così la rigenerazione del potenziale d'azione; (b) rappresentano un valido ancoraggio in cui la mielina periferica del segmento internodale si lega all'assolemma in maniera da impedirne lo slaminamento; (c) costituiscono un'efficace barriera che impedisce la diffusione delle proteine assonali e le mantiene rigidamente compartimentalizzate. La zona juxtapanodale è una zona di transizione tra paranodo e mielina compatta dell'internodo in cui sono presenti elevate concentrazioni di canali per K⁺ voltaggio-dipendenti che smorzano l'eccitazione rientrando mantenendo il potenziale di riposo nell'assolemma internodale.

Solo recentemente si sono iniziati a individuare alcuni fattori che guidano la formazione della guaina mielinica e che ne regolano la precisa geometria. La selezione degli assoni da mielinizzare (in pratica tutti quegli assoni che superano 1 µm di diametro) sembra dipendere da una combinazione di segnali adesivi esposti dagli assoni e riconosciuti dalle cellule gliali, tra cui spiccano N-CAM e integrine. Studi genetici nel topo hanno inoltre dimostrato che fattori neurotrofici derivati dall'assone (come neuregulina e BDNF) regolano lo spessore della mielina. La lunghezza dei manicotti di mielina sembra dipendere da differenti segnali. Nel sistema nervoso periferico, il citoplasma che si trova nel giro più esterno della mielina non avvolge completamente l'assone, ma è organizzato in raccolte discrete chiamate 'bande di Cajal'. La perturbazione di queste bande, attraverso la mancata sintesi di fattori che le stabilizzano, porta a una notevole riduzione della lunghezza dei tratti internodali, non più proporzionati al diametro dell'assone. Nel sistema nervoso centrale non sono presenti bande di Cajal; tuttavia, se si altera il flusso assonico, si ha un blocco della crescita mielinica, la qual cosa indica l'importanza dei segnali assonici per indirizzare la crescita mielinica. Questi studi hanno evidenziato che gli mRNA per le proteine dei vari domini dell'assone sono trasportati in loco dal flusso assonico dove, complessati a microRNA e polisomi, operano la sintesi delle specifiche proteine assoniche.

Il processo di mielinizzazione si sviluppa attraverso una serie di tappe regolate da interazioni reciproche fra assone e glia. Tuttavia anche il processo di crescita assonale e lo stesso trofismo dell'assone dipendono strettamente da queste interazioni. Durante lo sviluppo, gli assoni che non vengono mielinizzati (assoni >

1µm) rimangono piccoli, si allungano molto lentamente non raggiungendo il bersaglio e vanno quindi rapidamente incontro a degenerazione. Nell'adulto sono ben note le conseguenze gravissime sulla funzione neuronale causate dalla perdita del rivestimento mielinico; si pensi alla sclerosi multipla, che rappresenta forse l'esempio tristemente più famoso di sindromi demielinizzanti. Ma forse l'aspetto più drammatico dei rapporti tra assone e glia viene evidenziato dalle patologie traumatiche e ischemiche del sistema nervoso centrale. È noto fin dall'antichità che lesioni al midollo spinale causano danni permanenti, mentre lesioni di nervi periferici possono essere recuperate mediante una rigenerazione del troncone prossimale dell'assone. Agli inizi del secolo scorso, Jorge Francisco Tello e Cajal mostrarono come assoni centrali riuscissero a crescere dentro nervi periferici, mentre non era possibile il contrario. Questi studi evidenziarono come il sistema nervoso centrale dell'adulto non sia un ambiente permissivo per la crescita neuronale e proposero un ruolo inibitorio della mielina centrale sulla crescita rigenerativa degli assoni. Anche se quest'azione inibitoria ha probabilmente una funzione stabilizzante sulla complessa struttura dei circuiti neurali centrali, impedendo connessioni casuali che non siano state dirette dai fattori genetici ed epigenetici fisiologici, essa rappresenta un serio ostacolo alle capacità rigenerative dei neuroni centrali.

La ricerca di questi ultimi anni ha permesso di individuare diversi fattori responsabili dell'effetto inibitorio della mielina centrale rispetto alla mielina periferica, che includono: (a) elevati livelli di espressione o espressione selettiva di alcune proteine negli oligodendrociti; (b) elevati livelli di espressione dei recettori per tali proteine nei neuroni centrali; (c) scarsa degradazione di tali proteine da parte degli oligodendrociti; (d) scarsa downregulation di tali proteine negli oligodendrociti in seguito a lesione. Gli oligodendrociti dell'adulto espongono sulla loro superficie una serie di molecole non omologhe che includono Omgp (Oligodendrocyte myelin glycoprotein), Mag (Myelin-associated glycoprotein) e una proteina della famiglia dei reticoloni chiamata Nogo (in particolare l'isoforma neurospecifica Nogo-A, fig. 13).

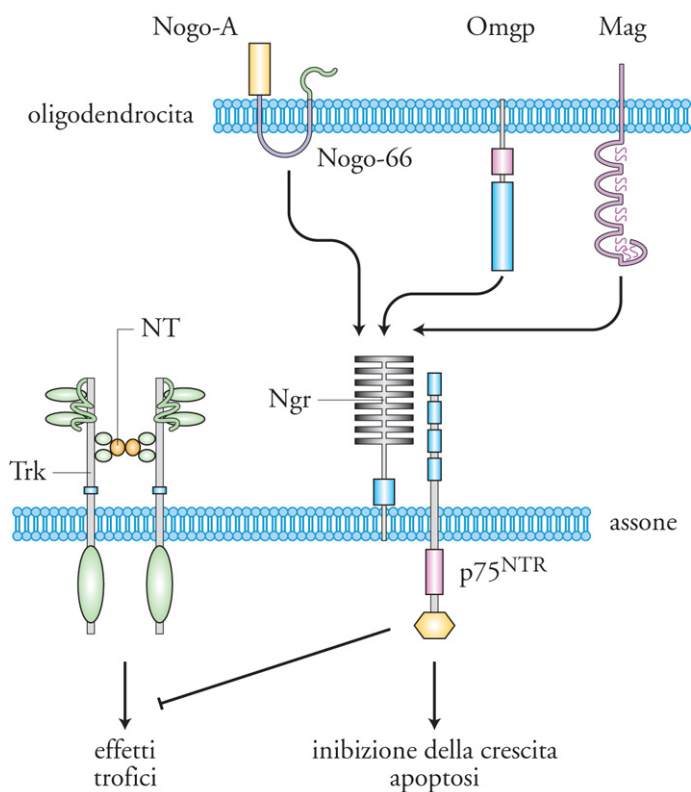


Fig. 13. Rappresentazione schematica delle proteine esposte sulla membrana degli oligodendrociti. Le proteine Nogo-A, Omgp e Mag convergono su un unico complesso recettoriale presente sulla membrana del neurone e composto dal recettore per Nogo e dal recettore per le neurotrofine p75^{NTR}. L'attivazione di quest'ultimo, in assenza delle neurotrofine, inibisce la rigenerazione dell'assone e favorisce l'apoptosi del neurone.

Queste proteine sono espresse dagli oligodendrociti in livelli molto superiori alle cellule di Schwann e convergono su un unico complesso recettoriale costituito dal recettore per Nogo (NgR) e dal recettore p75^{NTR} per le neurotrofine. Quest'ultimo recettore che, se associato ai recettori Trk, coopera agli effetti trofici delle neurotrofine, quando viene stimolato isolatamente promuove apoptosi, depolimerizzazione del citoscheletro e retrazione dell'assone. Studi genetici e farmacologici (con anticorpi anti-Nogo e anti-NgR) hanno confermato il ruolo essenziale di Nogo e del suo recettore nell'impedire la rinnervazione del sistema nervoso centrale in seguito a lesione. Neutralizzando tale azione inibitoria, la crescita delle fibre risparmiate dalla lesione può avvenire con recupero parziale delle connessioni preesistenti o con la creazione di circuiti polisinaptici alternativi che ricreano le connessioni interrotte irreversibilmente dalla lesione.

Interazione tra astrociti e neuroni e gliotrasmissione

Gli astrociti formano una rete estesa di cellule che riveste i neuroni e i vasi, formandone l'impalcatura di sostegno, ma anche separandoli e isolandoli fra loro. Ogni astrocita prende contatto con decine di neuroni e migliaia di sinapsi, occupando un suo proprio territorio in cui penetrano solo poche ramificazioni di altri astrociti. Circa la metà di queste cellule ha un corpo cellulare irregolare, lunghi prolungamenti, un potenziale di membrana molto negativo, la capacità di internalizzare vari neurotrasmettitori e un forte accoppiamento funzionale tramite giunzioni gap (fig. 14).

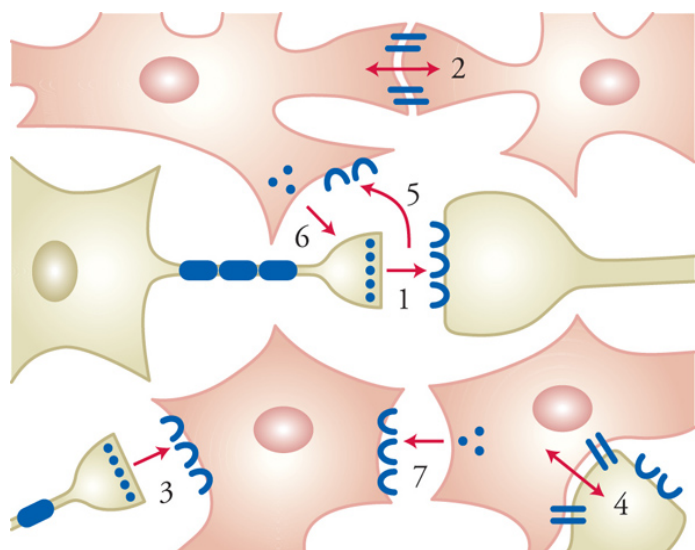


Fig. 14. Interazioni tra neuroni (in verde chiaro) e astrociti (in rosso). 1. Rilascio di neurotrasmettitore a livello sinaptico; 2. giunzioni comunicanti astrocita-astrocita; 3. azione dei neurotrasmettitori sugli astrociti; 4. giunzioni comunicanti neuroneastrocita; 5-7. gli astrociti rispondono al rilascio neuronale di neurotrasmettitore con un rilascio esocitotico di gliotrasmettitore che può agire su recettori neuronali o astrocitari.

L'altra metà degli astrociti costituisce invece una popolazione cellulare eterogenea per caratteristiche morfologiche, biochimiche e funzionali.

Gli astrociti sono in contatto con i terminali nervosi sia indirettamente, concorrendo a sigillare la fessura sinaptica, che direttamente, tramite apposite sinapsi ectopiche che le cellule nervose fanno sugli astrociti. I neurotrasmettitori rilasciati a questi siti sono in grado di agire su specifici recettori accoppiati a proteine G degli astrociti. Tali recettori scatenano a loro volta una cascata di segnalazione intracellulare mediata da $\text{Ins}(3,4,5)\text{P}_3$ che ha come effetto diretto l'aumento della concentrazione intracellulare di Ca^{2+} , per rilascio dai depositi intracellulari (principalmente il reticolo endoplasmatico liscio). Questi transienti di calcio diffondono nella rete astrocitaria (che può essere considerata un sincizio funzionale) e provocano l'esocitosi di

gliotrasmettitori che andranno ad agire sui neuroni e su altre cellule gliali e la secrezione di sostanze vasoattive, in un processo di comunicazione cellula-cellula chiamato 'gliotrasmissione'.

L'effetto dei gliotrasmettitori sui neuroni è vario, come vari sono i loro recettori. In particolare, glutammato e purine regolano il livello di eccitabilità neuronale e la plasticità sinaptica con effetto inibitorio per le purine ed eccitatorio per il glutammato. Data l'organizzazione tridimensionale dei processi astrocitari e il forte accoppiamento fra astrociti vicini (tramite giunzioni gap), è stato visto che la gliotrasmissione può sincronizzare l'attività di ampie popolazioni neuronali, non connesse sinapticamente fra loro (fig. 15A).

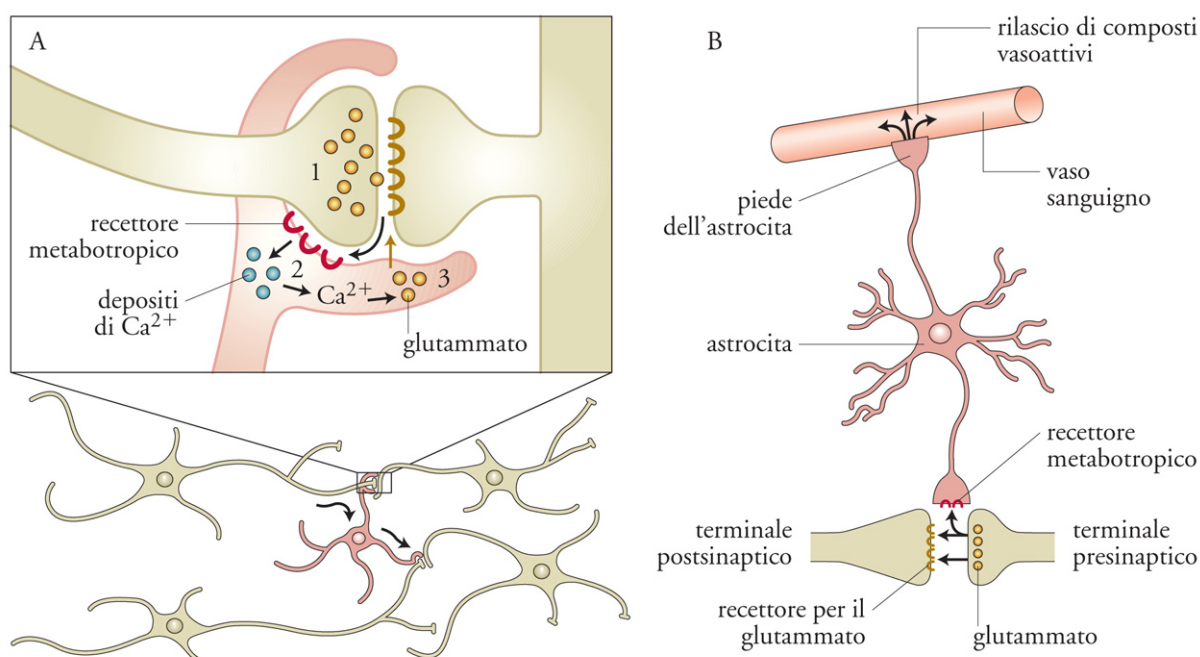


Fig. 15. Meccanismi della gliotrasmissione. Il glutammato rilasciato dagli astrociti genera, stimolando recettori metabotropici astrocitari, transienti di calcio che si propagano nella rete astrocitica e promuovono il rilascio esocitotico di glutammato da parte degli astrociti a livello di sinapsi nella rete neuronale (A) e il rilascio di mediatori vasoattivi a livello dei piedi astrocitari che contattano le arteriole cerebrali (B).

La gliotrasmissione rappresenta anche un importante meccanismo per segnalare ai vasi il livello di attività nervosa, per i necessari adeguamenti del flusso ematico: quando il livello dell'attività sinaptica sale, questa induce l'attivazione degli astrociti (transienti di calcio) e la conseguente liberazione di sostanze vasoattive (fra cui ossido di azoto ed eicosanoidi) che favoriscono la vasodilatazione, contribuendo a sostenere l'aumentato consumo energetico (fig.15B).

In conclusione, gli astrociti sono cellule 'metabolicamente eccitabili' (transienti di calcio) che prendono parte attiva nella neurotrasmissione rilasciando appositi gliotrasmettitori. A differenza dei neuroni, però, gli astrociti non sono in grado di generare potenziali d'azione (essendo privi di canali per Na⁺ voltaggio-dipendenti) e

pertanto non sono in condizione di operare una segnalazione rapida e spazialmente definita come i neuroni. Tuttavia, la gliotrasmissione rappresenta una modalità lenta di segnalazione diffusa nei circuiti nervosi con la capacità di modulare, sincronizzare e modificare sia l'eccitabilità neuronale, sia l'elaborazione delle informazioni e il flusso ematico regionale.

I semafori della Comunicazione Nervosa: Le Sinapsi

XXI Secolo (2010)

di Fabio Benfenati, Luca Berdondini

I semafori della comunicazione nervosa: le sinapsi

Santiago Ramón y Cajal, nella sua *Textura del sistema nervioso del hombre y de los vertebrados* (pubblicata in fascicoli tra il 1899 e il 1904) che costituisce tuttora la base della moderna neurobiologia cellulare e molecolare, afferma che il sistema nervoso è costituito da un numero immenso di individualità, i neuroni, completamente indipendenti, semplicemente in contatto gli uni con gli altri. L'attenzione sul ruolo funzionale dei contatti tra neuroni, contatti chiamati sinapsi dal fisiologo Charles S. Sherrington, suscitata nel primo Novecento dalla disputa se la trasmissione dell'informazione fosse di tipo elettrico o chimico, è cresciuta fino ai giorni nostri e ha subito un'incredibile accelerazione. Risulta ora chiaro che tutte le attività nervose, dalle più semplici attività riflesse alle funzioni superiori come apprendimento e memoria, dipendono dal trasferimento di informazioni tra le cellule nervose e quindi dal numero di sinapsi e dall'efficienza di ciascuna nel rilascio di neurotrasmettitore. La trasmissione sinaptica riveste, quindi, un ruolo chiave per comprendere il funzionamento del sistema nervoso. Numerose patologie neuro-logiche sono legate ad alterazioni funzionali della trasmissione sinaptica e le sinapsi rappresentano il principale bersaglio dei farmaci attivi sul sistema nervoso. Gli studi che negli ultimi anni hanno permesso di chiarire a livello molecolare la fisiologia della trasmissione sinaptica e che stanno procedendo verso una completa descrizione dei meccanismi biochimici coinvolti sono quindi di fondamentale importanza per le neuroscienze. Inoltre, le notevoli capacità computazio-nali delle sinapsi hanno stimolato lo sviluppo di sistemi ibridi neuroelettronici e neurorobotici dove l'attività e la plasticità sinaptiche vengono interfacciate con componenti elettroniche per aumentarne le potenzialità.

Il nodo di comunicazione tra neuroni

Nella stragrande maggioranza delle sinapsi presenti nel cervello dei Mammiferi, il trasferimento di informazioni tra le cellule nervose è operato dai neurotrasmettitori, il cui messaggio viene riconosciuto dalla cellula ricevente e tradotto in risposte biologiche.

Le sinapsi chimiche sono formate dal compartimento presinaptico e da quello postsinaptico che si affrontano, separati dalla fessura sinaptica. Nella presinapsi sono presenti organelli secretori, le vescicole sinaptiche, che immagazzinano e rilasciano il neurotrasmettitore. Le vescicole sinaptiche sono concentrate lungo una specializzazione della membrana presinaptica, chiamata zona attiva. L'arrivo del potenziale d'azione provoca, a questo livello, l'entrata di ioni Ca^{2+} attraverso canali voltaggio-dipendenti di tipo P/Q o N e questo segnale scatena l'esocitosi del neurotrasmettitore nello spazio sinaptico. Da qui, esso diffonde verso specifici recettori posti sulla membrana postsinaptica. Tali recettori possono essere proteine-canale, che traducono il segnale chimico del neurotrasmettitore in una modificazione elettrica, o recettori metabotropici, che attivano processi di segnalazione intracellulare. Le risposte evocate dai neurotrasmettitori delle molteplici sinapsi vengono integrate nella cellula postsinaptica generando risposte elettriche e/o metaboliche (variazioni funzionali e trascrizionali). Le sinapsi chimiche operano quindi un elaborato processo di trasduzione vettoriale del segnale, attraverso il quale un impulso elettrico viene convertito nel rilascio di un segnale chimico da parte della cellula presinaptica che viene riconosciuto e tradotto in una risposta biologica elettrica e/o metabolica a livello della cellula postsinaptica. In questo modo, il codice digitale rappresentato dal potenziale d'azione (fenomeno 'tutto o nulla' e di ampiezza costante che si trasmette fedelmente a lunga distanza) diviene analogico trasformandosi in un rilascio di quantità graduate di neurotrasmettitore. La frequenza dei potenziali d'azione e la natura chimica del neurotrasmettitore rappresentano i simboli dell'alfabeto utilizzato dai neuroni. È quindi possibile che la disponibilità di un maggior numero di neurotrasmettitori nell'alfabeto chimico utilizzato a livello sinaptico offra la possibilità di comporre messaggi più complessi ed elaborati. Inoltre, la complessità è aumentata ulteriormente dalla presenza di recettori multipli per gli stessi neurotrasmettitori e dal fatto che lo stesso neurone può liberare neurotrasmettitori diversi. Così, mentre il linguaggio elettrico di tipo binario rappresentato dal potenziale d'azione può solo variare in frequenza, ma non in ampiezza, il segnale analogico rappresentato dal neurotrasmettitore possiede un repertorio di segnali molto più complesso e articolato. Il numero pressoché infinito di combinazioni che si possono generare rende possibile, a livello di singola sinapsi, un'enorme potenzialità di regolazione e di trasmissione di informazioni in parallelo.

Le numerose molecole con funzione di neurotrasmettitore possono essere raggruppate in due grandi famiglie: neurotrasmettitori classici o piccole molecole, come amminoacidi, acetilcolina, ammine che possono essere

sintetizzate localmente nel terminale assonico, e neuropeptidi, sintetizzati come precursori proteici a livello del corpo cellulare del neurone. I due tipi di neurotrasmettitore, immagazzinati nelle vescicole, sono liberati nello spazio extracellulare in seguito all'aumento della concentrazione citosolica di Ca^{2+} . A loro volta, i due tipi di vescicole sono distinti per morfologia, ciclo cellulare e modalità di secrezione. I neurotrasmettitori classici sono immagazzinati in vescicole sinaptiche con un diametro sorprendentemente omogeneo di 40-50 nm, accumulate in grande numero nei terminali nervosi e particolarmente addensate presso le zone attive della membrana presinaptica, dove avviene preferenzialmente la loro esocitosi. I neuropeptidi sono invece contenuti, da soli oppure in presenza di neurotrasmettitori classici, in vescicole secretorie di maggiori ed eterogenee dimensioni che mostrano un contenuto elettrondenso dovuto all'alta concentrazione di proteine, simili ai granuli di secrezione presenti nelle cellule esocrine ed endocrine. Le vescicole sinaptiche piccole, organelli specifici per le sinapsi del sistema nervoso, vanno incontro a rapida esocitosi in corrispondenza delle zone attive e vengono efficacemente e velocemente ricaptate mediante un processo di endocitosi rapida (kiss and run) o mediante un più complesso e lento processo di endocitosi dipendente da clatrina che avviene nelle aree adiacenti alle zone attive.

Una volta ricaptate, le vescicole piccole vengono rapidamente ricaricate con neurotrasmettitore neosintetizzato o ricaptato dal vallo sinaptico e divengono così disponibili per un nuovo ciclo secretorio. La liberazione dei neurotrasmettitori classici appare quindi un processo non solo molto efficiente, ma anche molto economico in termini energetici, basandosi in larga parte sul riciclaggio endocitotico sia del contenitore (vescicola sinaptica) sia del contenuto (ricaptazione del neurotrasmettitore). Le vescicole contenenti i neuropeptidi, invece, non possono essere riciclate e ricaricate di peptidi localmente e, pertanto, le terminazioni non sono autosufficienti per quanto riguarda il rilascio di neuropeptidi così come lo sono nel rilascio di neurotrasmettitori classici. Inoltre, queste vescicole non sono in genere localizzate vicino alle zone attive dove vi è un'elevata concentrazione di canali per il Ca^{2+} voltaggio-dipendenti; essendo quindi esposte a concentrazioni di Ca^{2+} molto inferiori durante l'attività elettrica, hanno una bassa probabilità di rilascio e liberano neuropeptidi solo durante periodi di attività elettrica ad alta frequenza che provoca un aumento diffuso della concentrazione di Ca^{2+} nelle terminazioni.

Il ciclo delle vescicole sinaptiche

Negli ultimi anni, si sono chiariti molti aspetti molecolari del ciclo esoendocitotico delle vescicole sinaptiche e si sono caratterizzate le principali proteine coinvolte, identificando disfunzioni sinaptiche alla base di malattie del sistema nervoso e possibili bersagli per la terapia farmacologica. Il complesso corredo proteico delle

vescicole sinaptiche è composto da proteine che interagiscono con il citoscheletro, proteine deputate all'accumulo del neurotrasmettitore, proteine che mediano l'ancoraggio alle zone attive, proteine sensori per il Ca^{2+} , proteine di fusione, proteine coinvolte nella biogenesi delle vescicole, proteine G monomeriche che assicurano la corretta direzionalità al ciclo esoendocitotico, proteine che regolano la reattività delle proteine di fusione, proteine-segnale per i domini della membrana vescicolare, enzimi come le proteinchinasi. Le interazioni di queste proteine vescicolari tra loro, con fattori citosolici e con specifici partner presenti nelle zone attive sono fondamentali per la sequenzialità del processo di rilascio di neurotrasmettitore.

Vista l'enorme rapidità della trasmissione sinaptica, soltanto le vescicole già ancorate alla membrana presinaptica sono coinvolte nella fase più precoce della liberazione di neurotrasmettitore. Queste vescicole sinaptiche formano un pool disponibile all'esocitosi, molto importante funzionalmente ma di dimensioni piuttosto ristrette (rappresenta lo 0,5-10% del contenuto totale di vescicole del terminale a seconda del tipo di sinapsi considerata). Un secondo pool di maggiori dimensioni è costituito dalle vescicole che riciclano attivamente per rifornire il pool disponibile evitando la sua deplezione durante l'attività elettrica basale (pool di riciclo). La maggioranza delle vescicole fa invece parte di un pool di riserva in cui le vescicole sono organizzate in clusters trattenuti in sede da interazioni con la densa matrice citoscheletrica della terminazione formata principalmente da actina e spectrina. Tali vescicole rappresentano una riserva funzionale per i siti di ancoraggio alla membrana presinaptica rimasti liberi dopo l'esocitosi delle vescicole del pool disponibile.

Il complesso processo di liberazione di neurotrasmettitore implica il passaggio delle vescicole sinaptiche attraverso una serie di reazioni che comprendono, in primo luogo, il rilascio dal citoscheletro, il direzionamento e l'ancoraggio alle zone attive della membrana presinaptica e la predisposizione alla fusione (priming o emifusione). A questo punto può verificarsi la fusione con la membrana presinaptica, sia spontanea sia scatenata istantaneamente dall'ingresso di Ca^{2+} . Infine, la membrana della vescicola deve venire recuperata dall'asolemma e la vescicola deve riacquisire la sua individualità (endocitosi). Mentre l'ancoraggio si verifica attraverso interazioni specifiche tra proteine associate alle zone attive e alle vescicole sinaptiche, il priming avviene mediante la formazione di un complesso di fusione tra tre proteine, dette SNARE (SNAP REceptors), di cui una vescicolare (sinaptobrevina o VAMP) e due presinaptiche (syntaxina e SNAP-25). Nella figura 1 la syntaxina è mostrata in giallo, la sinaptobrevina/VAMP in rosso e la SNAP-25 in blu e verde; nel riquadro superiore è illustrato in dettaglio il meccanismo di zippering in cui i quattro domini ad α -elica delle 3 proteine si associano in una superelica che avvicina la membrana della vescicola alla membrana presinaptica. La formazione di tale complesso libera l'energia necessaria per avvicinare la vescicola alla membrana presinaptica (emifusione), rendendo possibile il successivo processo di fusione. Tali

proteine sono il bersaglio selettivo delle tossine tetaniche e botuliniche che bloccano irreversibilmente la liberazione di neurotrasmettitore. Dopo l'esocitosi, il complesso di fusione deve essere dissociato a spese di energia, mediante l'intervento di ATPasi solubile e NSF (N-ethylmaleimide Sensitive Factor); le proteine SNARE vengono rigenerate in forma monomericamente per poter catalizzare un successivo ciclo di fusione. Per mantenere la corretta compartimentalizzazione delle SNARE, la dissociazione del complesso di fusione deve precedere la prima fase dell'endocitosi, quando la vescicola viene separata dalla membrana presinaptica (fissione).

Il neurotrasmettitore liberato nel vallo sinaptico viene riconosciuto dai recettori del neurone postsinaptico e tradotto in una varietà di risposte biologiche. Le risposte più rapide sono quelle risultanti dall'apertura di canali ionici che inducono il passaggio di corrente attraverso la membrana, con conseguenti variazioni del suo stato elettrico che possono tramutarsi in influenze eccitatorie o inibitorie e quindi in una maggiore o minore probabilità di sviluppo di un potenziale d'azione. Accanto a risposte ioniche, vi è tuttavia una serie di risposte enzimatiche che, attraverso la produzione di messaggeri intracellulari (o secondi messaggeri), produce effetti elettrici, effetti metabolici locali (fosforilazioni e defosforilazioni) in grado di modulare la risposta postsinaptica ed effetti sui processi di trascrizione e traduzione genica che producono modificazioni a lungo termine nella cellula postsinaptica (per es., variazioni nell'espressione di molecole recettoriali, di enzimi, di molecole di adesione ecc.). In questo caso, il legame del neurotrasmettitore con il recettore innesca una variazione conformazionale che si trasmette alla proteina G associata al recettore e che a sua volta è in grado di attivare in maniera specifica una serie di effettori che includono canali ionici ed enzimi.

Il numero e l'attività dei recettori non sono costanti nel tempo, ma possono essere finemente regolati dalla cellula postsinaptica che può divenire sovransensibile al neurotrasmettitore nel caso di un suo diminuito rilascio (supersensibilità da denervazione) o, al contrario, refrattaria al neurotrasmettitore in caso di una sua concentrazione eccessiva e persistente nel vallo sinaptico (desensitizzazione). La desensitizzazione è un fenomeno comune a molti sistemi biologici e assume un rilievo particolare nel caso dei recettori. La desensitizzazione recettoriale consiste nella perdita parziale o totale della capacità di rispondere al ligando specifico (desensitizzazione omologa). Questo fenomeno interessa sia i recettori ionotropici sia quelli metabotropici, anche se con meccanismi diversi. In linea di principio, la desensitizzazione può coinvolgere variazioni nel numero assoluto di recettori esposti sulla membrana postsinaptica (e quindi variazioni nella loro espressione, mobilità o turnover, downregulation) o variazioni nell'efficienza di legame o di trasduzione del segnale. Nel caso dei recettori ionotropici, la desensitizzazione consiste nella diminuita capacità di rispondere al ligando con la variazione conformazionale responsabile dell'apertura del canale ionico ed è ascrivibile a

variazioni postraduzionali che coinvolgono la fosforilazione dei domini intracellulari delle varie subunità da parte di specifiche proteinchinasi. Nel caso dei recettori metabotropici, la desensitizzazione può agire a multipli livelli: può comportare perdita di affinità per il ligando, riduzione dell'attivazione della proteina G o diminuzione del numero dei recettori esposti sulla membrana. Il recettore che viene internalizzato entra a far parte di un pool intracellulare endosomale nel quale il recettore può avere diversi destini funzionali: può, con il proprio dominio citoplasmatico, interagire con proteine intracellulari e attivare vie di trasduzione del segnale, essere destinato alla degradazione lisosomiale o ritornare a essere esposto sulla membrana cellulare. Quest'ultimo evento configura il fenomeno del riciclaggio recettoriale tra il pool di membrana e il pool intracellulare, che rappresenta un efficientissimo meccanismo attraverso il quale la cellula postsinaptica può regolare rapidamente il numero dei recettori esposti e quindi la sua sensibilità al neurotrasmettitore.

Sinaptogenesi

La formazione delle sinapsi è lo stadio finale dello sviluppo del sistema nervoso. Quando le fibre nervose che sono cresciute sotto la guida di una serie di molecole attraenti o repellenti hanno raggiunto la loro destinazione e sono in prossimità di una serie di possibili bersagli neuronali, entra in azione un meccanismo di riconoscimento sia di contatto sia umorale, più o meno simile a quanto può avvenire nel contatto tra due persone. Se il neurone bersaglio secerne una miscela di fattori di crescita e possiede proteine di membrana appropriate, la zona dell'assone che aveva contattato il bersaglio si differenzia in terminazione presinaptica, inizia ad accumulare vescicole sinaptiche e a formare zone attive. Il rilascio di neurotrasmettitore, che avviene con modalità spontanea anche prima dello stabilirsi del contatto sinaptico, matura rapidamente acquisendo le proprietà che si osservano nelle sinapsi adulte, ovvero diviene regolato dall'attività elettrica e acquisisce alcune peculiari proprietà quali la precisione, la rapidità, l'efficienza e la resistenza all'esaurimento. Se il bersaglio neuronale invece non è appropriato, esso esercita un'azione inibitoria sulla formazione e maturazione delle terminazioni presinaptiche. Una volta che la terminazione si è sviluppata, è lo stesso rilascio di neurotrasmettitore che induce la maturazione e specializzazione della membrana postsinaptica che consiste nell'aggregazione dei recettori, effettori e canali ionici mantenuti in sede da aggregati di proteine 'adattatrici' che li vincolano al citoscheletro sottomembranario di actina. La formazione della sinapsi è quindi espressione del cross talk (scambio di segnali) tra neurone presinaptico e postsinaptico, in cui il neurone bersaglio lancia messaggi che, se adeguati, inducono la specializzazione presinaptica la quale, a sua volta, induce la specializzazione postsinaptica. Nella figura 2 è rappresentato il neurone gangliare (C1) del mollusco *Helix pomatia* coltivato in presenza di un bersaglio fisiologico (il neurone B2, a sinistra) o di un bersaglio non

fisiologico (il neurone C3, a destra); in presenza di B2 proliferano i contatti sinaptici, mentre in presenza di C3 si nota l'inibizione della formazione di sinapsi.

Neurotrasmissione

Questo processo richiede il preciso allineamento della specializzazione pre- e postsinaptica. Le vescicole sinaptiche devono essere vicine e in parte attaccate alla zona attiva, in maniera da rilasciare rapidamente il neurotrasmettitore in un punto estremamente ristretto della membrana presinaptica. Dal lato postsinaptico, i recettori per i neurotrasmettitori devono essere raggruppati in una zona che sia alla minima distanza dalla zona attiva presinaptica, così da essere esposti ad alte concentrazioni di neurotrasmettitore e rispondere il più rapidamente possibile a esso. Due classi distinte di molecole concorrono a questo compito. Da una parte, molecole di adesione che attraversano lo spazio sinaptico e mantengono in registro la pre- e postsinapsi, formando così uno dei più stabili sistemi di giunzione cellula-cellula del nostro organismo. Dall'altra, fattori solubili citosolici si associano ai fattori di adesione, in maniera tale da guidarne il posizionamento, favorendo intorno a essi l'aggregazione delle vescicole sinaptiche e dei recettori per i neurotrasmettitori e innescando così un processo di segnalazione intracellulare che andrà a modificare il funzionamento sinaptico.

Connectomica e computazione

Il cervello è stato più volte paragonato a un computer per quanto riguarda sia le capacità computazionali sia la velocità con cui tali attività vengono svolte. In realtà, il singolo neurone è molto più lento delle attuali central processing units (cpu) dei computer (la massima frequenza di scarica di potenziali d'azione è di circa 500 Hz, contro gli oltre 3 GHz delle più comuni cpu). Tuttavia, le reti nervose funzionano non tanto con componenti neuronali posti in serie, ma tramite una miriade di unità di elaborazione disposte in parallelo e impegnate simultaneamente nell'esecuzione di compiti multipli. Come nei prototipi degli elaboratori a processori paralleli, i compiti sono distribuiti internamente a diversi gruppi di processori (singoli neuroni e reti neurali) e questo assicura non solo una maggiore efficienza nell'esecuzione di compiti diversi, ma anche enormi possibilità d'integrazione tra compiti elaborativi che vengono eseguiti simultaneamente da circuiti distinti ma profondamente interconnessi. Altri grandi vantaggi del sistema nervoso a fini computazionali sono l'estrema miniaturizzazione del singolo processore, l'elevatissimo numero di processori che compongono il sistema e l'enorme numero di connessioni fra loro (circa 10¹¹ neuroni interconnessi da circa 10¹⁵ sinapsi). Tali connessioni governano complesse geometrie di elaborazione caratterizzate da incessanti fenomeni di

convergenza e divergenza delle informazioni che sono la base dell'attività olistica del sistema nervoso centrale.

Risulta pertanto chiaro che la descrizione delle connessioni tra processori neurali, una sorta di cartografia del cervello nota con il nome di connectomica, è di fondamentale importanza per comprendere le basi della computazione nervosa e del funzionamento del cervello. In altre parole, la conoscenza del connectoma per le neuroscienze ha la stessa importanza della conoscenza del genoma per la biologia. A causa dell'estrema complessità strutturale, tracciare nelle tre dimensioni le linee che connettono i miliardi di elaboratori e il modo in cui queste connessioni vengono modificate dall'esperienza è un compito che fino a pochi anni fa si riteneva irraggiungibile. Gli studi pionieristici di Camillo Golgi e S. Ramón y Cajal, utilizzando l'impregnazione argentea, furono capaci di visualizzare gli sviluppi dell'arborizzazione dei singoli neuroni con un dettaglio tuttora inarrivabile. Tuttavia, se la selettività della colorazione per un minimo numero di neuroni rendeva possibile, da un lato, il grande dettaglio morfologico e la caratterizzazione di tipi neuronali diversi, dall'altro non permetteva di tracciare una flowchart completa delle connessioni neurali. Recentemente è stato fatto un grande passo avanti in questa direzione facendo esprimere a topi transgenici varianti spettrali geneticamente codificate della GFP (Green Fluorescent Protein) con emissioni, oltre che nel verde, anche nel rosso e nel blu. L'espressione combinatoria di questi tre colori fondamentali, a vari livelli di intensità, è sufficiente a generare uno spettro di colori simili a quello generato da un monitor a colori (detto anche RGB).

Questo concetto ha permesso di generare i cosiddetti topi transgenici Brainbow nei quali, mediante l'espressione combinatoria e la ricombinazione stocastica di varianti multiple della GFP, è stato possibile ottenere, neurone per neurone, una miscela casuale di proteine fluorescenti, generando un numero molto elevato di colori, fino a oltre 160, come si può osservare per i neuroni nel giro dentato dell'ippocampo (fig. 3, a sinistra) e per le singole fibre di motoneuroni in un nervo motore (fig. 3, a destra). Risulta quindi possibile tracciare in modo molto preciso le connessioni nel sistema nervoso periferico, mentre nel sistema nervoso centrale vi sono ancora difficoltà da superare come la densità del wiring, il sottile calibro dei processi e la presenza di proiezioni sia brevi sia estremamente lunghe che collegano aree cerebrali assai distanti. Molti prevedono che la connectomica avrà un enorme sviluppo futuro nella comprensione di molti sindromi neuropsichiatriche che si ritengono associate a difetti di sviluppo del sistema nervoso, come schizofrenia o autismo (disordini che potrebbero venire denominati connectopatie se venisse chiaramente dimostrato il ruolo di difetti o anomalie nelle connessioni). Analogamente sarà importante valutare come la connettività cambi durante l'età evolutiva, in cui si ha un esteso rimodellamento dei circuiti nervosi, e durante l'invecchiamento normale e patologico, fino alle demenze come la malattia di Alzheimer.

Regolazione della connettività

L'efficienza con cui la sinapsi trasferisce l'informazione (forza sinaptica) non è una proprietà immutabile, ma può venire finemente regolata sulla base della storia recente del neurone e dell'ambiente biochimico extra- e intracellulare. Questa capacità di variare l'efficienza sinaptica su base puramente funzionale (variazione del software) è detta plasticità funzionale ed è in genere limitata a un breve periodo di tempo dopo l'evento che l'ha prodotta (plasticità a breve termine). A seconda della scala temporale in cui si attua, da pochi millisecondi a minuti, la plasticità a breve termine può consistere in facilitazione, augmentation, depressione sinaptica o potenziamento post-tetanico. Vi sono diverse molecole e processi biochimici alla base dei fenomeni di plasticità a breve termine e, nella maggioranza dei casi, questi processi consistono nelle reazioni di fosforilazione e defosforilazione di proteine sinaptiche indotte dall'attività elettrica del neurone e/o di neurotrasmettitori. Queste variazioni biochimiche si traducono in variazioni del traffico delle vescicole sinaptiche, della dimensione dei pool vescicolari o dei livelli presinaptici di Ca^{2+} che modificano la probabilità di rilascio e il rifornimento del pool di rilascio delle vescicole sinaptiche. Queste variazioni funzionali, che hanno un tempo di dimezzamento piuttosto rapido, rappresentano una sorta di 'memoria molecolare' il cui perdurare nel tempo dipende, il più delle volte, dal tempo di vita dello stato di fosforilazione di specifiche proteine che a sua volta risulta dal delicato equilibrio tra attivazione di proteinchinasi e di proteinfosfatasi da parte dei segnali extra- e intracellulari.

Alla plasticità a breve termine si aggiunge, spesso indotta dagli stessi stimoli ripetuti, una forma più complessa e duratura di plasticità che implica variazioni nell'espressione genica e la sintesi di nuove proteine. Le variazioni puramente funzionali della plasticità a breve termine non possono sopravvivere per molto tempo in assenza di variazioni nell'espressione genica e nell'hardware dei circuiti nervosi. L'intensa e prolungata attivazione degli stessi sistemi di trasduzione alla base della plasticità a breve termine induce l'attivazione di fattori di trascrizione come CREB che, a loro volta, in una cascata di eventi, stimolano la trascrizione di geni precoci (immediate early genes, come *C/EBP* o *Zif268*) che a loro volta modificano la trascrizione di geni bersaglio coinvolti nella crescita dell'assone e nella formazione di nuove sinapsi. In genere, quando la forza sinaptica deve essere potenziata (potenziamento a lungo termine o LTP), aumenta la sintesi di proteine ribosomali, neurotrofine, proteine leganti il Ca^{2+} , proteine delle vescicole sinaptiche e recettori per i neurotrasmettitori, mentre la sintesi delle molecole di adesione, che mantengono la stabilità strutturale delle connessioni sinaptiche, risulta inibita. Il risultato di queste risposte biologiche è quello di favorire la crescita di ramificazioni terminali dell'assone e di formare nuove sinapsi e/o di aumentare la funzionalità delle sinapsi

preesistenti. Fenomeni opposti si verificano nel corso della depressione a lungo termine (LTD) della forza sinaptica che si accompagna a una rarefazione delle sinapsi e/o a una diminuita attività delle sinapsi rimaste. In pratica ogni sinapsi nel sistema nervoso è in grado di regolare finemente la sua forza, entrando in uno stato potenziato o depresso che può essere mantenuto per lunghi periodi. Questo comportamento, evocato da specifici pattern (ossia modelli, schemi) di stimolazione del neurone presinaptico e postulato dallo psicologo Donald O. Hebb nel 1949 (*The organization of behavior. A neuropsychological theory*), è denominato synaptic learning rule.

La plasticità sinaptica 'a lungo termine' può essere mantenuta per ore, mesi e anni. Nell'ambito dei circuiti nervosi, variazioni permanenti nella forza sinaptica e nel volume di informazioni trasferite (conseguenti a variazioni nel numero di sinapsi tra neurone pre- e postsinaptico) sono in grado di incanalare il flusso delle informazioni attraverso le connessioni 'facilitate' distogliendolo dalle connessioni inibite o 'deprese', mutando quindi permanentemente il risultato dell'attivazione di un determinato circuito. I fenomeni di plasticità strutturale sono anche un elemento fondamentale dello sviluppo del sistema nervoso. La geografia delle connessioni sinaptiche che si produce al termine della sinaptogenesi non è quella definitiva, ma costituisce una sorta di hardware temporaneo che, costruito prevalentemente sotto la direzione dei geni, è destinato a essere rimaneggiato strutturalmente per tutta la vita sotto la guida dell'esperienza e della cultura (fattori epigenetici), anche se le variazioni più sorprendenti avvengono durante l'infanzia.

Computazione e apprendimento sinaptici

Nel sistema nervoso maturo, studi elettrofisiologici e comportamentali hanno mostrato una stretta correlazione tra apprendimento e fenomeni di plasticità a lungo termine in aree circoscritte del sistema nervoso, tale da fare ritenere con ragionevole sicurezza che la plasticità sinaptica a lungo termine costituisca la base cellulare dei fenomeni di memoria e apprendimento e sia coinvolta nei fenomeni di consolidamento e riconsolidamento della traccia mnemonica. D'altra parte, i fenomeni di plasticità a breve termine non sono solo una mera anticamera della plasticità a lungo termine, ma avvenendo con grandissima frequenza nella vita quotidiana della sinapsi hanno molteplici funzioni, non solo nella modulazione della quantità di informazione trasferita attraverso la sinapsi, ma anche nei fondamentali fenomeni di computazione svolti in tempo reale. È quindi chiaro che la dinamica sinaptica fa parte integrante del coding e processing dell'informazione condotta dalle reti neurali. Come accennato in precedenza, nella breve scala temporale, la quantità di neurotrasmettitore liberato dipende dal pattern dell'attività elettrica presinaptica (frequenza e timing dei potenziali d'azione) che il neurone invia a tutti i suoi terminali sinaptici. Tuttavia, le numerose sinapsi che ciascun neurone contrae

possono esprimere diverse forme di plasticità, facendo sì che i vari messaggi che il neurone invia ai neuroni postsinaptici vengano trasmessi con modalità diverse, rappresentando una versione 'filtrata' della sequenza di potenziali d'azione generata dal neurone stesso. Tra i vari fattori che possono influenzare la trasmissione sinaptica dell'informazione vi sono ovviamente la topografia delle sinapsi sul neurone postsinaptico (sinapsi distali, prossimali o sul corpo cellulare), i processi di sensitizzazione e desensitizzazione dei recettori postsinaptici, l'attivazione di specifici sottotipi recettoriali in base al pattern di rilascio del neurotrasmettitore.

Oltre a questi meccanismi postsinaptici, il potere computazionale delle sinapsi dipende soprattutto da caratteristiche presinaptiche legate in qualche modo alla probabilità di rilascio di neurotrasmettitore che, a sua volta, è funzione dell'influsso di Ca^{2+} nel terminale in seguito al potenziale d'azione. Come synaptic rule, sinapsi con elevata probabilità di rilascio (come la maggior parte delle sinapsi inibitorie) sono fortemente soggette a depressione, mentre sinapsi con bassa probabilità di rilascio (come le sinapsi eccitatorie) sono preferibilmente soggette a facilitazione. Tuttavia, è possibile che vi sia eterogeneità in queste proprietà anche tra sinapsi formate dallo stesso assone, che possono essere prevalentemente facilitanti o deprimenti. D'altra parte, la facilitazione e la depressione coesistono nelle stesse sinapsi che possono quindi mutare le proprie proprietà a seconda delle condizioni ambientali. È interessante notare che a seconda del predominante stato di plasticità a breve termine, le sinapsi si comportano da efficienti filtri nei confronti del pattern di attività del neurone presinaptico. Per es., nelle sinapsi tra fibre rampicanti e cellule del Purkinje del cervelletto la probabilità di rilascio (p) è elevata e quindi la depressione domina in corso di attività presinaptica ad alta frequenza (burst), mentre nelle sinapsi tra fibre parallele e cellule del Purkinje la probabilità è bassa e la facilitazione è preponderante. In queste condizioni, il pattern di attività presinaptica e il timing dei potenziali d'azione esercitano una profonda influenza sulla forza sinaptica. Le sinapsi si comportano infatti come filtri a banda variabile. Le sinapsi a basso p , molto attive nella facilitazione, si comportano come filtri 'passa-alto' trasmettendo preferenzialmente informazioni derivanti da attività presinaptiche ad alta frequenza, mentre sinapsi ad alto p agiscono come filtri 'passa-basso' efficaci nel trasmettere l'inizio fasico dell'attività elettrica, ma non l'attività tonica ad alta frequenza che ne provoca la depressione. Inoltre, sinapsi con livelli intermedi di p si comportano come filtri a banda intermedia. Queste proprietà non sono immutabili e la modulazione dinamica di p porta a variazioni nelle proprietà di filtro dell'attività elettrica operata da ciascuna sinapsi in momenti diversi dell'attività neuronale.

I fenomeni di plasticità a breve termine hanno anche effetti apparentemente paradossi, potendo trasformare l'azione di una sinapsi inibitoria in eccitazione (o disinibizione) del neurone postsinaptico. Per es., l'inibizione presinaptica diminuendo p può indurre una maggiore facilitazione in una sinapsi che prima deprimeva, o

diminuire l'entità della desensitizzazione dei recettori postsinaptici, portando complessivamente a un aumento della forza sinaptica. Altre interessanti attività computazionali derivate dalla plasticità a breve termine sono la rilevazione di stati transienti di attività, la decorrelation, la burst detection e la compressione dinamica. Le sinapsi facilitanti e deprimenti sono sensibili in maniera differenziale al mutamento di attività del neurone presinaptico. Le sinapsi deprimenti rispondono con maggiore intensità a stimoli nuovi (o fascici) piuttosto che a stimoli tonici. Questa preferenza per stimoli nuovi, che contribuisce, per es., al fenomeno dell'adattamento al contrasto nella corteccia visiva, dipende dal fenomeno della depressione sinaptica che attenua il trasferimento di informazione derivante da stimolazioni protratte nel tempo. Le sinapsi deprimenti producono il massimo effetto dopo lunghi periodi di silenzio elettrico del neurone presinaptico (transizione off-on), mentre le sinapsi facilitanti presentano il massimo di efficienza alla fine di un periodo di attività elettrica ad alta frequenza (transizione on-off), rappresentando in tal modo dei sensori dell'accensione/spegnimento dell'attività elettrica del neurone presinaptico. Sinapsi che deprimono o facilitano si comportano diversamente nella trasmissione di attività mista composta da pattern di bursting (pacchetti di potenziali d'azione ad alta frequenza) e random spiking (potenziali d'azione individuali distribuiti nel tempo). Infatti, mentre le sinapsi deprimenti producono sequenze di trasmissione relativamente regolari e meno correlate alle irregolari sequenze presinaptiche di potenziali d'azione (decorrelation), le sinapsi facilitanti producono invece sequenze di trasmissione che correlano positivamente con i bursts e pertanto selezionano e trasmettono preferenzialmente al neurone postsinaptico l'attività di bursting (burst detection). La depressione è anche alla base del fenomeno della compressione dinamica dell'input, in cui il livello di trasmissione sinaptica ad alte frequenze di stimolazione è proporzionale all'inverso della frequenza.

In conclusione, il pattern di scarica dei neuroni non è l'unico fattore che definisce lo stato e l'attività della rete. In realtà, la risposta del circuito a un determinato stimolo (per es., sensoriale) dipende fortemente dallo stato dinamico delle sinapsi e dalla loro attività di computazione. In altre parole, non solo le sinapsi controllano il firing (attività elettrica neuronale) in un circuito, ma è lo stesso pattern di firing neuronale che definisce dinamicamente lo stato plastico delle sinapsi e quindi il tipo di operazioni computazionali che vengono attuate a livello di ciascuna sinapsi.

Reti neuronali e sinapsi artificiali

Le sorprendenti proprietà del sistema nervoso, che tuttora rappresenta il sistema di controllo e computazione più sofisticato, lo hanno elevato a modello nei campi dell'elettronica, della biosensoristica e della robotica. L'ispirazione allo studio del funzionamento del sistema nervoso da parte del mondo della tecnologia avviene

nei vari livelli di complessità biologica, ciascuno dei quali esibisce proprietà uniche e, al momento, difficilmente riproducibili tecnologicamente. Un forte stimolo a questi sviluppi è fornito dalle capacità risultanti dal sistema nervoso degli esseri viventi di gestire in parallelo molteplici funzionalità. Infatti, basta constatare che i prodotti dell'attuale tecnologia sono in grado, sebbene implementino singole funzioni ineguagliate dai sistemi biologici (si pensi, per es., alla velocità di calcolo di un odierno computer), di gestire solo un numero molto limitato di funzioni. Questo interesse generale è inoltre sviluppato in diversi settori tecnologici. Rispetto all'elettronica, le proprietà del sistema nervoso sono sorprendenti, dal punto di vista sia funzionale sia morfologico. Infatti, la complessa rete tridimensionale di connessioni tra neuroni è molto più densa delle connessioni elettriche integrate nei più sofisticati processori e circuiti integrati. Inoltre, il principio stesso della trasmissione dei segnali elettrici attraverso i nervi, basato sulla conduzione ionica attraverso le membrane cellulari, si distingue per la sua alta resistività dai comuni conduttori elettrici metallici, ma permette comunque di inviare segnali nervosi a velocità di diversi metri al secondo. Soffermandosi sugli aspetti computazionali, il principio stesso delle macchine digitali è limitato a sequenze di 'vero' o di 'falso' e alla logica binaria della sempre più diffusa integrazione digitale. Il sistema nervoso è molto più raffinato e sembra sfruttare un gran numero di livelli intermedi tra 0 e 1. Questo concetto è stato ripreso nella teoria della logica fuzzy che ha permesso di realizzare, a partire dalla fine degli anni Ottanta del 20° sec., sistemi di controllo molto rapidi e precisi per diversi prodotti di elettronica di consumo. Per la ricerca in robotica, queste caratteristiche di controllo si aggiungono alle affascinanti e ineguagliate capacità di apprendimento che permetterebbero di realizzare macchine in grado di adattarsi alle diverse condizioni di operazione. Va precisato che per la robotica non si tratta di ricostruire dei sistemi viventi, come paventato in diversi romanzi di fantascienza, ma piuttosto di migliorare le prestazioni di applicazioni robotiche.

Le capacità risultanti dal sistema nervoso implicano una struttura dinamica e organizzata da un livello macroscopico a uno molecolare. A questo livello molecolare di raffinata sensibilità si indirizzano gli interessi per gli sviluppi in biosensoristica. Sostanze neuroattive, quali farmaci o neurotossine, hanno un effetto sull'attività neuronale già a partire da concentrazioni molto basse. Illustrando bene quanto sia difficile riprodurre artificialmente questa complessa struttura di recettori chimici, alcuni lavori di ricerca hanno dimostrato la possibilità di usare reti neuronali viventi quali elementi sensibili biosensoristici.

La chiave di volta per la ricerca e lo sviluppo di questo campo delle neuroscienze, in grande espansione tecnologica, è stata la creazione di matrici di microelettrodi extracellulari in grado di registrare l'attività elettrica dei neuroni e di stimolarli in modo assolutamente non invasivo. La possibilità di coltivare neuroni embrionali su tali matrici per tempi molto lunghi (fino a 2-3 mesi) e di poterli manipolare anche all'esterno

degli incubatori grazie a specifici bioreattori ha fornito una nuova dimensione sperimentale allo studio delle proprietà del tessuto neuronale. Questi dispositivi, sviluppati a partire dalla fine degli anni Settanta, sono realizzati con tecnologie di microelettronica quali la fotolitografia e la deposizione di materiali conduttori e isolanti thin-film. Usando substrati in silicio, in vetro e, recentemente, anche in plastica, vengono integrati tipicamente alcune decine di elettrodi di dimensioni micrometriche. Ogni microelettrodo è collegato esternamente a un amplificatore a basso rumore che permette di registrare, rispetto a un elettrodo di riferimento, segnali extracellulari sino ad ampiezze di qualche decina di microvolt. In questo modo si può accedere alla propagazione spaziale dell'attività elettrica in colture di reti neuronali composte da diverse decine di migliaia di neuroni. In modo simile, è possibile evocare un'attività neuronale polarizzando i microelettrodi e inducendo una depolarizzazione sufficiente nei neuroni circostanti l'elettrodo. Nella figura 4 (a sinistra) è rappresentato un chip MEA (Micro-Electrode Arrays) che permette di creare un'efficiente interfaccia neuroelettronica tra neuroni coltivati in vitro (a destra) e 60 microelettrodi metallici attraverso cui si possono fare registrazioni extracellulari dell'attività elettrica dei neuroni (traccia inferiore, dove è possibile identificare una serie di potenziali d'azione) o stimolare elettricamente i neuroni con elevata risoluzione spaziotemporale.

Un altro approccio di trasduzione si basa su matrici di transistori a effetto di campo. In questo caso i segnali extracellulari non sono misurati da microelettrodi metallici, bensì dalla griglia isolata dei transistori. Grazie all'evoluzione delle tecnologie d'integrazione della microelettronica, recentemente si sono realizzate interfacce neuroelettroniche che integrano migliaia di microelettrodi e che migliorano la risoluzione spaziale nell'osservazione delle dinamiche d'attivazione e di propagazione, sino a livelli al di sotto delle dimensioni dei singoli neuroni.

Sebbene i segnali misurati dai singoli microelettrodi non permettano d'accedere allo stesso dettaglio rispetto alle misure intracellulari, le prospettive di utilizzo sperimentale di questa tecnologia sono molteplici e completano le possibilità di misura introdotte con le tecniche elettrofisiologiche di registrazione diretta dell'attività dei canali ionici (patch-clamp). Inoltre, un grande interesse nello sviluppo di questi dispositivi è riposto nel loro potenziale uso protesico, quale, per es., la realizzazione di protesi retiniche e protesi neurorobotiche degli arti. Ciò richiede lo sviluppo di soluzioni che permettano di ottenere interfacce impiantabili in grado di garantire la stabilità della comunicazione bidirezionale neuroelettronica e di sviluppare le attuali metodologie nella codifica e decodifica dei segnali elettrofisiologici artificiali e naturali.

Di conseguenza, la simbiosi tra sperimentale e modellizzazione risulta essere una metodologia di ricerca particolarmente promettente in questo contesto. Lo sviluppo di modelli di reti neurali ha assunto una nuova dimensione grazie all'integrazione neuromorfica (implementazione VLSI, Very Large Scale Integration) in circuiti microelettronici di sinapsi artificiali e di complesse reti neurali artificiali. Questo approccio, da un lato, rende possibile studiare su scale temporali accelerate o rallentate il comportamento di popolazioni neurali e la loro plasticità, dall'altro, permette di definire un nuovo percorso per la migrazione di soluzioni tecnologiche derivanti direttamente dalla ricerca neuroscientifica.

Interfacce neurorobotiche e neurocomputer

Le capacità computazionali e il processamento in parallelo delle informazioni, uniti alla capacità di modificare l'hardware dei circuiti in risposta ad appropriate stimolazioni provenienti dall'ambiente, sono un forte spunto allo sviluppo delle tecnologie computazionali. Da tale contesto emergono le reti neurali artificiali e il concetto di intelligenza artificiale, la neurorobotica e i neurocomputer.

Le reti neurali artificiali sono modelli matematici di interconnessione di gruppi di neuroni che hanno origine essenzialmente dai modelli biologici basati sulle ipotesi di Hebb, dai lavori di John Von Neumann e dai primi schemi di reti neurali di Frank Rosenblatt. Partendo da basi biologiche ed evolvendo in un contesto matematico, questi modelli hanno permesso di sviluppare diversi algoritmi che integrano una forma di apprendimento, in grado di adattarsi alle condizioni d'utilizzo. Sempre più usati in diversi contesti dell'ingegneria e legati al concetto di intelligenza artificiale, un tipico utilizzo è nella programmazione di sistemi adattativi, di riconoscimento e di analisi dei dati.

Questa direzione di ricerca, oggi fortemente legata all'informatica, è in costante evoluzione e beneficia dello sviluppo delle competenze neuroscientifiche. In modo particolare, i progressi in neuroelettronica hanno offerto recentemente la possibilità di sviluppare nuovi paradigmi sperimentali e di interfacciare reti neurali formate da neuroni vitali con effettori esterni (corpo) robotici. L'obiettivo è creare un'interfaccia bidirezionale tra la rete di neuroni e un corpo esterno (robotico o simulazione virtuale), che riproduca il loop sensori-apparato motorio attivo nell'esecuzione dei movimenti nel sistema nervoso. Tale paradigma sperimentale permette di studiare nel dettaglio codifica e decodifica dei segnali nervosi e di investigare come la rete neurale processi l'informazione.

Un esempio pioneristico di questa metodologia è stato realizzato interfacciando un robot, come effetto esterno, con colture di neuroni primari su matrici di microelettrodi, realizzando un loop chiuso tra rete neuronale e robot. Codificando e decodificando i segnali attraverso una sofisticata elettronica a tempo reale, dal lato biologico i siti neuroelettronici spazialmente distinti della rete neurale sono usati per evocare e registrare i segnali elettrofisiologici, e dal lato robotico gli apparati motori sono controllati in base all'informazione dei sensori di prossimità inviata alla coltura neuronale. Muovendo il robot attraverso gli ostacoli di un'arena e riproducendo un modello sperimentale di rapporto bidirezionale cervello-ambiente, questo sistema a loop chiuso permette di studiare come la rete neuronale 'impari' a gestire il robot, inducendo plasticità, prima funzionale e poi strutturale, nelle connessioni sinaptiche della rete. È stato riportato che le stimolazioni provenienti dal robot e prodotte in successive prove di addestramento modificano l'attività della rete e la plasticità delle sinapsi in essa presenti e portano a una modifica della connettività della rete che si traduce in un miglioramento del comportamento motorio del robot nell'evitare gli ostacoli. Questo recente modello sperimentale è di grande interesse non solo da un punto di vista neurofisiologico, legando strettamente i fenomeni di plasticità sinaptica al comportamento motorio, ma anche per lo sviluppo di interfacce neurali per neuroprotesi e per creare dei 'neurochip' la cui struttura hardware possa venire stabilmente modificata dagli stimoli provenienti dall'ambiente.

In parallelo allo sviluppo di contesti sperimentali specifici favoriti dalle emergenti tecnologie d'interfaccia neuroelettroniche, un'altra promettente, ma ancora embrionale, applicazione delle strategie computazionali utilizzate dalle reti nervose riguarda la progettazione di neurocomputer, ossia di computer che processino l'informazione in parallelo in modo simile al tessuto neuronale. Attualmente esistono costosi prototipi di computer paralleli i cui microprocessori operano simultaneamente, attuando una modalità computazionale che si avvicina a quella operata dalle reti nervose. Il futuro del neurocomputer sarà tuttavia in apparati che imitano i meccanismi integrativi e plastici operanti nelle reti nervose, utilizzando dispositivi optoelettronici o elementi ibridi neuroelettronici come unità computazionali elementari. Da questo contesto artificiale si distinguono gli sviluppi molto recenti di neurocomputer intesi come computer organici, costituiti da neuroni viventi e indirizzati a realizzare semplici operazioni aritmetiche, con la prospettiva di sviluppare nuove tecnologie computazionali ibride tra matematica, sistemi non lineari e biologia.

Emisferi cerebrali

Enciclopedia del Novecento (1977)

di Henry Hecaen e Giovanni Berlucchi

Dominanza cerebrale

di Henry Hecaen

sommario: 1. Introduzione. 2. Emisfero sinistro. a) Dominanza dell'emisfero. b) Aprassia ideativa, aprassia ideomotrice, aprassia costruttiva. c) Disturbi della percezione visiva. 3. Emisfero destro. a) Somatoagnosia e nosoagnosia. b) Agnosia spaziale. c) Aprassia costruttiva e altre aprassie. d) Disorientamenti spaziali e metamorfopsie. e) Disturbi della percezione visiva. f) Disturbi della sfera uditiva. 4. Considerazioni generali. a) Natura della specializzazione emisferica. b) Localizzazione della specializzazione emisferica. c) Prevalenza manuale e specializzazione emisferica funzionale. d) Origine della specializzazione emisferica.

1. Introduzione

Sembra che si debba far risalire a M. Dax, e quindi al 1836, la prima indicazione di una possibile specializzazione di uno dei due emisferi cerebrali per una funzione mentale superiore. Ma la nozione di dominanza cerebrale è stata stabilita con certezza solo trenta anni più tardi, appena qualche anno dopo che era stato ammesso il principio della localizzazione funzionale corticale. In effetti, anche se nella sua pubblicazione del 1861 P. Broca localizzò la facoltà del linguaggio articolato a livello del piede della terza circonvoluzione frontale, dovettero passare quattro anni prima che egli si ritenesse in diritto di affermare la prevalenza dell'emisfero sinistro per questa facoltà (v. Broca, 1861 e 1865). Egli infatti si rifiutò sempre di conferire attribuzioni diverse alle due metà dell'encefalo. In effetti, l'ammettere una differenza funzionale tra due organi pari e simmetrici, quali i due emisferi, avrebbe violato, a suo giudizio, una legge fisiologica sino ad allora senza eccezione. Broca metteva in relazione questa lateralizzazione sinistra con la predominanza manuale destra, caratteristica comune alla maggior parte degli uomini. E in funzione di questa predisposizione organica, che implica che un destrimane abbia un sinistrismo cerebrale, che l'emisfero sinistro si sviluppa più precocemente e diviene quindi più adatto a dirigere l'esecuzione e la coordinazione di quegli atti sia intellettuali sia muscolari che costituiscono il linguaggio articolato: nasce così l'abitudine di parlare con l'emisfero sinistro. Ma non si tratta che di linguaggio articolato, poiché, per Broca, la funzione del linguaggio

in generale appartiene a entrambi gli emisferi. Inoltre, secondo Broca, in un piccolo numero di individui la predominanza innata delle forze motrici dell'emisfero destro, dando una prevalenza alle funzioni della mano sinistra, inverte l'ordine dei fenomeni: questi individui avranno, al contrario della maggioranza, un destrismo cerebrale. A partire da queste constatazioni, si finì più o meno implicitamente per considerare il cervello sinistro del destrimane come l'emisfero dominante per tutte le funzioni simboliche. In seguito, i lavori di Liepmann (v., 1900) sulla aprassia confermarono questo modo di vedere mettendo in luce l'importanza dell'emisfero sinistro nella realizzazione della funzione gestuale. Per quel che concerne i disturbi della gnosi visiva, si inferiva da questa ipotesi, anziché da documenti anatomoclinici, la lateralizzazione della lesione a sinistra. Si riconosceva così a uno dei due emisferi - detto dominante - una funzione esclusiva in ragione dei centri specializzati che esso possiede.

Durante questo periodo del tutto iniziale, solo due autori, il famosissimo H. Jackson (v., 1932) e il quasi sconosciuto Th. D. Dunn (v., 1895), riconoscevano una funzione speciale all'emisfero destro. Le prime descrizioni di disturbi nel riconoscimento del corpo (v. Babinski, 1914; v. Schilder, 1935; v. Pötzl, 1928; ecc.) indussero a considerare la possibilità per questo emisfero di assumere più specificamente alcune funzioni. Poco dopo, durante il periodo tra le due guerre mondiali, alcuni clinici come Reichardt, Lange, Pötzl, Dide furono colpiti dalla particolare importanza dell'emisfero destro per le funzioni spaziali. Le loro intuizioni resteranno di fatto isolate; ricerche più precise non sono state effettuate che molto più tardi con i lavori anatomoclinici di R. Brain (v., 1941), di McFie e altri (v., 1950), di Hecaen e altri (v., 1951 e 1956).

D'altronde questi primi lavori incontrarono agli inizi delle forti resistenze, ma numerose ricerche successive confermarono i primi risultati. Naturalmente i nuovi dati così raccolti sollevavano altri problemi che a loro volta richiedevano nuovi orientamenti della ricerca, facilitati d'altronde dagli sviluppi tecnici.

I dati attualmente raccolti provengono anche dallo studio clinico o sperimentale di grandi serie di malati con lesioni unilaterali, da osservazioni compiute nei soggetti che avevano subito la sezione delle commissure neocorticali e anche da ricerche sperimentali realizzate nei soggetti normali (ascolto dicotico, presentazione tachistoscopica e in seguito registrazione dei potenziali evocati). I dati anatomici, per molto tempo inesistenti, cominciano ad accordarsi con i fatti anatomo-clinici e sperimentali con il lavoro di Geschwind e Levitsky (v., 1968).

Tenendo conto dei vari risultati presenteremo, in modo necessariamente schematico, le funzioni proprie di ciascun emisfero.

2. Emisfero sinistro

a) Dominanza dell'emisfero

La dominanza dell'emisfero sinistro per la funzione del linguaggio, una volta affermata da Broca, non fu più messa in discussione, a maggior ragione in quanto i lavori di Wernicke (v., 1874) dimostrarono ben presto che la lesione di una zona più posteriore dello stesso emisfero era in grado di impedire la comprensione del linguaggio. L'integrità della comprensione verbale anche in presenza di lesioni anteriori sinistre era parsa a Broca uno degli argomenti essenziali in favore della partecipazione dei due emisferi alla funzione generale del linguaggio. Le scoperte successive consentirono di supporre una rappresentazione relativamente precisa delle funzioni del linguaggio sull'emisfero sinistro. La sistematizzazione dell'"area del linguaggio", operata da Dejerine antecedentemente alla prima guerra mondiale, non è stata più fatta oggetto di modificazioni di rilievo. Solamente alla nozione di 'centro' si è sostituita quella più ampia di 'zona funzionale'. I fatti di recupero, spesso notevoli, si comprendono meglio se si ammette un'organizzazione funzionale secondo zone esclusivamente preferenziali, in luogo di una rappresentazione di meccanismi molto limitati e rigidi. Bisogna tuttavia segnalare che la partecipazione, d'altronde assai limitata, dell'emisfero di destra alle funzioni del linguaggio è stata dimostrata sia dai risultati di alcune emisferectomie sinistre in destrimani (v. Smith, 1966) sia, soprattutto, con lo studio dei soggetti con sezione delle commissure cerebrali (split brain). In questi soggetti, limitando le afferenze a un solo emisfero, Sperry e Gazzaniga (v., 1967) hanno potuto dimostrare, utilizzando risposte non verbali, che l'emisfero di destra, malgrado un'impossibilità di espressione, era capace di riconoscere materiale verbale presentato oralmente o per scritto o offerto alla discriminazione tattile. Per contro, l'emisfero di destra non ha che capacità molto limitate per comprendere le dimensioni sintattiche (v. Gazzaniga e Hillyard, 1971).

Bisogna anche sottolineare che lo studio delle asimmetrie sensoriali nei soggetti normali ha recato importanti precisazioni. Infatti D. Kimura (v., 1961) utilizzando il metodo di ascolto binaurale di Broadbent ha potuto dimostrare nei soggetti normali la superiorità dell'emisfero dominante nel trattare il materiale verbale, sia esso significativo o meno. Con lo stesso metodo Shankweiler e Studdert-Kennedy (v., 1967) hanno dimostrato che questa superiorità si manifesta a partire dai livelli fonemici o subfonemici.

b) Aprassia ideativa, aprassia ideomotrice, aprassia costruttiva

Dalle lesioni di questo emisfero dipendono anche tre tipi di disturbi del gesto, indipendenti dalle disfunzioni della motricità elementare: l'aprassia ideativa, l'aprassia ideomotrice e l'aprassia costruttiva. L'aprassia ideativa riguarda i disturbi nella manipolazione degli oggetti, mentre nell'aprassia ideomotrice sono alterati i gesti del simbolo convenzionale, i gesti espressivi o descrittivi. La relazione di queste aprassie con i disturbi del linguaggio è ancora mal definita, ma sembra che esse possano manifestarsi, sebbene assai raramente, indipendentemente dai disturbi del linguaggio rivelando alterazioni di un codice particolare di comunicazione o di una funzione di programmazione delle attività.

L'aprassia costruttiva, anche se inizialmente descritta nel caso di lesioni dell'emisfero sinistro, è ugualmente prodotta da lesioni dell'emisfero destro. Il soggetto è incapace di disegnare, di costruire, di copiare semplici modelli, geometrici o figurativi. Questo disturbo può essere totalmente indipendente dai disordini di linguaggio. Benché la questione non sia definitivamente risolta, l'aprassia costruttiva dovuta a lesioni dell'emisfero sinistro sembrerebbe avere caratteristiche diverse da quelle causate da lesioni a destra. Per Warrington e altri (v., 1966) e Hecaen e Assai (v., 1970) essa riflette un disturbo delle attività di programmazione che si esprime nell'ambito della costruzione, come quello che si manifesta nelle sequenze gestuali richieste per la manipolazione degli oggetti (aprassia ideativa). In effetti, quando un malato affetto da una lesione a sinistra presenta dei deficit nel copiare un modello, si constata un miglioramento delle sue prestazioni allorché disponga di elementi di riferimento previamente tracciati.

c) Disturbi della percezione visiva

I disturbi della percezione visiva susseguenti a lesioni di questo emisfero riguardano essenzialmente il riconoscimento del significato degli oggetti, dei colori e dei segni grafici, mentre i dati visivi elementari sono ben rilevati. Per alcuni, tuttavia, l'importanza dei disturbi del linguaggio sarebbe essenziale. La mancanza del riconoscimento del significato dell'oggetto, benché limitata alla presentazione ottica, dimostrerebbe sia un'impossibilità di denominazione (afasia ottica: v. Freund, 1888; v. Geschwind, 1965), sia una impossibilità di associare le qualità visive dell'oggetto (v. De Renzi e altri, 1969).

Per la modalità visiva, il metodo tachistoscopico con presentazione, simultanea o successiva, negli emicampi ha permesso di rilevare nei soggetti normali la superiorità dell'emicampo destro, cioè dell'emisfero sinistro, nell'elaborazione del materiale verbale.

3. Emisfero destro

a) Somatoagnosia e nosoagnosia

Lo studio dei disturbi del riconoscimento del corpo, designati in generale come somatoagnosia, consentì di mettere in evidenza la specificità funzionale dell'emisfero destro, precedentemente considerato muto. Nel caso di lesioni a destra, si constatano in effetti comportamenti particolari dei malati: il soggetto nega il deficit motorio che ha colpito il suo lato sinistro (nosoagnosia), si comporta come se ignorasse l'esistenza di questo lato (emisomatoagnosia), o può addirittura attribuirne l'appartenenza ad altri. Benché tali sintomi non sopravvengano in genere che nei soggetti con disturbi della coscienza e che presentano disturbi di senso in metà del corpo, il fatto che non siano che eccezionalmente constatati in caso di lesioni a sinistra obbliga a considerare che una regione dell'emisfero destro, il complesso parieto-temporo-occipitale, intervenga

nell'integrazione dei dati sensoriali provenienti da una metà del corpo. A seguito della distruzione di questa zona, l'emicorpo è ignorato dal malato o considerato addirittura estraneo a lui stesso.

b) Agnosia spaziale

L'importanza predominante dell'emisfero destro per le funzioni spaziali, suggerita dai cimici nel periodo tra le due guerre mondiali, è stata ora confermata da numerose ricerche condotte sia su gruppi di malati con lesioni emisferiche unilaterali o su soggetti con sezione delle commissure cerebrali (split brain), sia su soggetti normali sottoposti a una presentazione tachistoscopica (v. Durnford e Kimura, 1971), misurando i tempi di reazione secondo il campo e secondo il materiale (v. Rizzolatti e altri, 1971); per quel che concerne la modalità tattile, è stata anche dimostrata l'importanza dell'emisfero destro quando la prova ha un carattere spaziale (v. Benton e altri, 1973; v. De Renzi e altri, 1969).

È noto, in patologia, in seguito alla pubblicazione di R. Brain (v., 1941), che l'agnosia della metà dello spazio controlaterale alla lesione (agnosia spaziale unilaterale) dipende soprattutto dalle lesioni di questo emisfero. Altri lavori, in particolare quelli di De Renzi e altri (v., 1970), hanno dimostrato che questo disturbo non è limitato alla modalità visiva ma riguarda una rappresentazione dello spazio indipendente dalle modalità sensoriali.

c) Aprassia costruttiva e altre aprassie

L'aprassia costruttiva determinata dalle lesioni dell'emisfero destro appare non solamente più frequente e in generale più grave di quella dipendente dalle lesioni dell'emisfero dominante, ma presenta caratteristiche che rivelano l'importanza dei fattori visuo-spaziali. A differenza di quello che avviene nel caso dei disturbi prassici determinati dalle lesioni dell'emisfero sinistro, la presenza del modello e dei riferimenti non migliora la prestazione costruttiva del malato con lesione a destra.

Gazzaniga, Bogen e Sperry (v., 1965) hanno anche constatato che i soggetti con sezione delle commissure emisferiche (split brain), per quanto destrimani, copiano correttamente un cubo di Necker e mettono insieme dei cubi o i pezzi di un rompicapo in modo più esatto con la mano sinistra che con la mano destra. Poiché questi soggetti accoppiano correttamente con la mano destra il disegno che funge da stimolo con il modello che gli corrisponde e non presentano difficoltà motorie della mano destra, si deve ammettere che il deficit nel copiare sia situato fra il sistema visivo e il sistema motorio.

Oltre all'aprassia costruttiva, le lesioni dell'emisfero destro possono provocare un altro tipo di aprassia, l'aprassia del vestirsi, nella quale l'alterazione sembra tradurre un'impossibilità di articolare lo spazio corporeo e quello extracorporeo.

d) Disorientamenti spaziali e metamorfopsie

Allo stesso modo i diversi disorientamenti spaziali come il disturbo delle nozioni topografiche (difficoltà d'orientamento su una mappa o su una carta geografica) e la perdita della memoria topografica (perdita dell'orientamento in luoghi ben noti al soggetto) sembrerebbero rivelare principalmente lesioni dell'emisfero destro, sebbene sia difficile escludere formalmente una partecipazione, anche limitata, di quello sinistro. La disorganizzazione spaziale si rivela in modo netto nella scrittura, nella lettura e nel calcolo. I disturbi grafici, lessicali e di calcolo determinati da lesioni dell'emisfero destro influiscono sull'organizzazione spaziale degli elementi grafici (iterazione di lettere o di trattini, trascuratezza della parte sinistra del testo da ricopiare o da leggere, errata disposizione delle cifre nelle operazioni aritmetiche) e non sul riconoscimento e il mantenimento dei codici (v. Hecaen e Marcie, 1974).

Anche manifestazioni parossistiche come le illusioni ottiche di deformazione degli oggetti e dello spazio (metamorfopsie) dipendono con frequenza significativa da lesioni di destra (v. Teuber e altri, 1960; v. Mullan e Penfield, 1959; v. Hecaen e Angelergues, 1965).

Queste diverse ricerche confermano pertanto la predominanza dell'emisfero destro nelle funzioni spaziali e allo stesso tempo fanno pensare che i disturbi provocati dalle lesioni di questo emisfero non siano limitati alla modalità visiva, ma riflettano una disorganizzazione sopramodale.

Non si deve nascondere, tuttavia, l'esistenza di alcune discordanze nei dati raccolti. Così Semmes e altri (v., 1960) nella serie di cerebrolesi da loro studiata hanno constatato che i deficit in una prova di ricerca di itinerari con l'aiuto di riferimenti visivi o tattili erano significativamente maggiori soltanto nel caso di lesioni parietali, ma indipendentemente dal lato emisferico. Al contrario, B. Milner (v., 1965) e S. Corkin (v., 1965), utilizzando una prova di apprendimento di labirinto (da seguire con uno stiletto con punti di riferimento visivi o tattili), non hanno trovato deficit se non nel caso di lesioni dell'emisfero destro (lobectomia temporale). F. Newcombe (v., 1969) ha ottenuto in feriti di guerra i medesimi risultati con una prova molto simile. La differenza tra i due compiti, locomotorio in un caso, apprendimento del labirinto nell'altro, e la differenza tra le eziologie delle lesioni nelle due serie potrebbero essere responsabili di questa diversità dei risultati.

Tuttavia, utilizzando un compito locomotorio di ricerca di itinerari, Hecaen e altri (v., 1972) hanno constatato che in una serie di soggetti con lesioni emisferiche unilaterali, il gruppo con lesioni a destra e, nell'ambito di questo, il gruppo con lesioni parietali, presentava un deficit significativamente superiore a quello dei soggetti con lesioni a sinistra. Ma bisogna anche sottolineare che i punteggi dei soggetti con lesioni a sinistra erano significativamente inferiori a quelli dei soggetti di controllo. Infine, nella serie di G. Ratcliff e F. Newcombe (v., 1973), solo le lesioni bilaterali posteriori provocavano dei deficit in una prova locomotoria di ricerca di itinerari, anche se in alcuni di questi casi si potevano constatare dei buoni risultati nell'apprendimento del labirinto.

De Renzi e altri (v., 1969, 1970 e 1971) hanno sottoposto gruppi di malati con lesioni emisferiche unilaterali a una serie di prove spaziali di complessità crescente. Nei compiti elementari, quali percezione della direzione spaziale (v. De Renzi e altri, 1971) e visione della profondità con le sole indicazioni della disparità (v. Carmon e Bechtoldt, 1969; v. Benton e Hecaen, 1970), si constatavano deficit solo nei casi di lesioni posteriori a destra. Al contrario, in compiti alquanto più complessi i deficit si ritrovano in tutti i gruppi, con lesioni sia a destra sia a sinistra; essi sono solamente più marcati nel caso di lesioni a destra, ma non in modo significativo. Infine, nei compiti ancora più complessi (riconoscimento di figure presentate in posizione rovesciata, ricordo della localizzazione spaziale di un oggetto), i deficit sono simili nei due gruppi con lesioni posteriori a destra e a sinistra.

De Renzi (v., 1974) riconosce una serie di livelli nelle disorganizzazioni spaziali: solamente nei compiti più elementari si trova una dominanza manifesta dell'emisfero destro, che può anche essere assoluta. Nelle prove meno elementari il contributo di ogni emisfero potrebbe essere diverso: spaziale per l'emisfero destro, verbale per l'emisfero sinistro.

L'ipotesi di De Renzi; sebbene molto seducente, urta contro due ordini di difficoltà. Da una parte è stato constatato, sia pure invero con tecniche diverse, che le deviazioni delle coordinate visive, significativamente più marcate nel caso di lesioni posteriori a destra, sono altresì significativamente più importanti negli altri gruppi con lesioni a destra o a sinistra che nei soggetti di controllo (v. Tzavaras e Hecaen, 1972). D'altra parte, si è visto che l'orientamento spaziale, studiato con prove così complesse come la ricerca di itinerari (v. Hecaen e altri, 1972) o l'apprendimento del labirinto (v. Milner, 1965; v. Newcombe, 1969), è alterato in modo predominante dalle lesioni a destra.

Va rilevato, tuttavia, che questa ipotesi è in accordo con il fatto che i soggetti con lesioni a sinistra si comportano come i soggetti normali quando si tratta di valutare la profondità con i soli indici di disparità, e con la presenza, nel caso di lesioni a sinistra, di deficit dell'orientamento topografico. È dunque importante determinare quali siano i fattori 'intellettuali' e 'verbali' suscettibili di intervenire nel caso di lesioni a sinistra per provocare i deficit spaziali di questo tipo.

Non bisogna inoltre dimenticare il possibile intervento di un fattore da lesioni frontali dell'uno o dell'altro emisfero in certe disorganizzazioni spaziali (v. Cohen, 1959; v. Albert e Hecaen, 1971).

e) Disturbi della percezione visiva

Sembra ugualmente evidente il ruolo dell'emisfero destro in certi disturbi della percezione visiva: che si tratti di riconoscimento, di apprendimento o di memoria concernente le forme complesse, sono stati constatati deficit nei malati con lesioni di questo emisfero (v. Kimura, 1963; v. Milner, 1971; v. De Renzi e altri, 1966, 1968 e 1969).

Le ricerche di Levy, Trevarthen e Sperry (v., 1972) nei soggetti con sezione delle commissure emisferiche (split brain) hanno confermato la capacità percettiva superiore dell'emisfero destro, quali che siano i caratteri del materiale presentato: elementi non significativi, oggetti familiari o visi umani.

I dati anatomoclinici avevano fatto pensare che un tipo particolare di agnosia visiva, la prosopagnosia o agnosia per le fisionomie individuata da Bodamer (v., 1947), dipendesse principalmente da lesioni dell'emisfero destro (v. Hecaen e Angelergues, 1962). Tuttavia non esiste ancora alcun caso assolutamente decisivo per escludere formalmente l'importanza della bilateralità delle lesioni. Numerose ricerche sperimentali condotte su serie di malati con lesioni unilaterali hanno dimostrato l'importanza predominante dell'emisfero destro nel riconoscimento, nella memorizzazione o nell'appaiamento dei visi umani. Nei soggetti normali ricerche come quelle di Rizzolatti, Umiltà e Berlucchi (v., 1971) hanno dimostrato una maggiore rapidità di discriminazione per le facce presentate nell'emicampo visivo sinistro rispetto all'emicampo destro. Sebbene per De Renzi e altri (v., 1968) il disturbo nel riconoscimento dei visi umani sia un aspetto del deficit della percezione delle forme complesse, alcuni hanno sostenuto l'ipotesi di un disordine legato a quel materiale squisitamente specifico che è il viso umano (v. Yin, 1970; v. Tzavaras e altri, 1970).

f) Disturbi della sfera uditiva

Per quanto riguarda la sfera uditiva vi sono relativamente pochi elementi anatomoclinici precisi sull'agnosia dei suoni o sull'amusia. Le ricerche di B. Milner (v., 1962) per mezzo del test di Seashore hanno dimostrato che le lobectomie temporali eseguite sull'emisfero destro provocano una diminuzione dei punteggi relativi alla percezione dell'altezza del suono e alla memoria melodica. È anche stato dimostrato da Shankweiler (v., 1966) un deficit nel riconoscimento delle melodie familiari nel caso di lobectomie temporali a destra. Vignolo (v., 1969), basandosi sui risultati ottenuti sottoponendo gruppi di malati con lesioni emisferiche unilaterali, a destra o a sinistra, a due tipi di prove uditive, è pervenuto alla seguente sistematizzazione: nel caso di lesioni a destra è alterata la discriminazione degli insiemi sonori complessi, mentre nel caso di lesioni a sinistra è alterato il riconoscimento dei suoni significativi.

Nei soggetti normali, l'utilizzazione del metodo dicotico ha rivelato una superiorità dell'orecchio sinistro, cioè dell'emisfero destro, nel riconoscimento di melodie (v. Kimura, 1964), dei suoni sonar (v. Chaney e Webster, 1966), degli accordi (v. Gordon, 1970), dei rumori familiari (v. Curry 1967), dei suoni vocali umani non verbali (v. Kimura, 1973).

4. Considerazioni generali

Questa presentazione necessariamente sommaria delle nostre conoscenze sulla specializzazione funzionale emisferica potrebbe essere riassunta nella seguente formula: l'emisfero sinistro presiede essenzialmente alle funzioni verbali e di astrazione, l'emisfero destro alle funzioni averbali percettivo-spaziali. Appare ora necessario ricordare i problemi generali che pone l'interpretazione di questi dati e le vie verso le quali sembrerebbero indirizzarsi le ricerche.

a) Natura della specializzazione emisferica

Il primo di questi problemi è quello della natura di questa specializzazione e della complementarità che esiste tra i due emisferi nelle prestazioni dei soggetti normali.

Per alcuni autori, come Milner, la differenza funzionale tra i due emisferi sarebbe connessa alla natura verbale o non verbale del materiale che ciascuno di essi vaglia, qualunque sia la modalità di presentazione e qualunque sia il compito richiesto (riconoscimento, apprendimento, memoria). Recenti lavori di P. M. Corsi (v., 1972) dimostrano così una dissociazione nelle prove di memoria a breve termine con materiale verbale o non verbale (posizione) a seconda che il danno all'ippocampo sia sul lato destro o sul sinistro. Del pari, solamente nelle lesioni frontali localizzate a un lato esiste un deficit nell'apprendimento del labirinto in conseguenza del mancato rispetto delle regole che presiedono a questo apprendimento (v. Milner, 1965). Vi sono ugualmente dei deficit nella prova di giudizio del tempo di presentazione di un oggetto; in effetti il deficit non si constata nel caso di lesioni frontali a sinistra se la serie di oggetti ha carattere verbale e nel caso di lesioni frontali a destra se la serie di oggetti ha caratteri non verbali (v. Milner, 1971).

Al contrario, per altri autori, questa differenza funzionale interemisferica risiederebbe nel modo con cui ogni emisfero elabora l'informazione. Partendo da uno studio sulle agnosie visive, già nel 1963, con Angelergues avevamo prospettato l'ipotesi che i deficit propri delle lesioni dell'emisfero destro dipendano da un deficit di individuazione di oggetti simili in una data categoria, mentre quelli delle lesioni a sinistra riflettano un deficit della categorizzazione (v. Hecaen e Angelergues, 1963). De Renzi e altri (v., 1969) hanno attribuito all'emisfero destro un ruolo di discriminazione e di organizzazione dei dati sensoriali, mentre all'emisfero sinistro sarebbe devoluto il compito di denominare e associare questi dati per permettere la comprensione del significato. De Renzi e altri (v., 1969) e Vignolo (v., 1969) sostengono così l'esistenza di due livelli di agnosia, indipendentemente dalla modalità sensoriale, riprendendo pertanto la suddivisione tra agnosia percettiva e agnosia associativa proposta da Lissàuert (v., 1890). Le lesioni emisferiche a destra provocherebbero il primo tipo di agnosia; il disturbo si manifesterebbe allorché il compito percettivo comporta una certa complessità. Il deficit da lesioni a sinistra - agnosia associativa - consisterebbe in una impossibilità di associare gli attributi al loro specifico oggetto (colori, rumori, forma).

Con lo studio dei soggetti con sezione delle commissure emisferiche (split brain) si è potuta riprendere la questione del modo particolare di elaborazione dei dati sensoriali proprio di ogni emisfero. In effetti, l'esame di questi soggetti permette di giudicare le prestazioni fornite da ognuno degli emisferi non lesi, costituendo inoltre ciascuno dei due un controllo nel confronto con l'altro.

Per R. D. Nebes (v., 1971) se all'emisfero di destra spetta il compito di organizzare l'informazione sotto forma di totalità, esso deve per questo rivelarsi superiore in tutti i compiti che richiedono una concettualizzazione della configurazione totale dello stimolo a partire da informazioni frammentarie non facilmente verbalizzabili. Due esperimenti dimostrano in effetti, secondo questo autore, che la capacità dell'emisfero destro di associare una parte al tutto si rivela superiore a quella dell'emisfero sinistro qualunque sia la modalità di presentazione e la natura intermodale o intramodale del compito.

J. Levy, C. Trevarthen e R. W. Sperry (v., 1972) hanno comparato la capacità di percepire e di rispondere dell'uno e dell'altro emisfero utilizzando la tendenza di ciascuno di essi a effettuare un completamento percettivo di modelli attraverso la linea mediana. Gli stimoli consistevano in figure 'chimeriche' formate unendo la parte destra di una figura alla parte sinistra di un'altra, presentate tachistosopicamente: visi umani, immagini nere non denominabili con tipi di ramificazioni, figure familiari, figure disposte in catena composte di croci e quadrati. In ragione del completamento che ciascun emisfero fa di quel che vede, esiste nel caso delle presentazioni di queste figure 'chimeriche' un conflitto tra gli emisferi. La risposta alle presentazioni si dava indicando, sia con la mano destra, sia con quella sinistra, la figura completa e infine con la denominazione senza la presenza di immagini. La superiorità dell'emisfero destro si affermava in tutte le prove comportanti una risposta mediante designazione manuale, anche se le figure chimeriche consistevano in fotografie di visi, in immagini non denominabili a organizzazione complessa, in rappresentazioni di oggetti familiari o in figure disposte in catena. Soltanto quando veniva richiesta una risposta verbale si manifestava una superiorità dell'emisfero sinistro.

Dunque queste constatazioni sono in favore di una superiorità dell'emisfero destro nella capacità percettiva primitiva che costituisce la percezione delle forme, mentre l'emisfero sinistro sembrerebbe mal organizzato per compiere questo apprendimento percettivo.

Allorché è richiesta una risposta verbale, l'emisfero sinistro diventa dominante: l'informazione è allora elaborata diversamente, in modo più analitico, con la ricerca di caratteristiche distintive alle quali si possa dare un'etichetta verbale. Per Levy, Trevarthen e Sperry (v., 1972) non si tratta di una semplice predominanza nella competizione tra i due emisferi ma di una differenza fondamentale nel loro modo di elaborare l'informazione.

J. Levy (v., 1974) proseguendo questo tipo di ricerca con la stessa tecnica ha osservato, in presenza di tali figure, che allorché veniva realizzata una categorizzazione concettuale nell'appaiamento, essa era sempre

effettuata dall'emisfero sinistro (in condizioni particolari l'emisfero destro che spontaneamente aveva la tendenza a operare una categorizzazione visiva - appaiamento per somiglianza di forme - riusciva anche a realizzare delle categorizzazioni concettuali).

Trevarthen (v., 1974, p. 202), partendo da questi diversi esperimenti, definisce la funzione dell'emisfero sinistro secondo la seguente formula: "tutte le esigenze di denominare l'oggetto, di pensare con parole senza parlare, o di ragionare sul significato dell'oggetto in un contesto di oggetti con diverse apparenze fanno sì che l'emisfero sinistro assuma il comando della risposta".

Così gli emisferi si rivelano capaci di trattare l'informazione in modo diverso a seconda delle esigenze della situazione. L'individuo, variando le sue strategie, può utilizzare un emisfero o l'altro per arrivare a risultati in apparenza simili, ma ottenuti con meccanismi diversi. A seconda delle precedenti esperienze l'individuo può utilizzare una strategia piuttosto di un'altra e con questa privilegiare l'attività di un emisfero.

A questo riguardo è dimostrativo un esperimento di Bever e Chiarello (v., 1974). Questi autori hanno in effetti dimostrato che nell'ascolto dicotico in soggetti senza educazione musicale il riconoscimento melodico era, come aveva dimostrato Kimura (v., 1964), superiore nell'orecchio sinistro, mentre nei musicisti era l'orecchio destro che consentiva di ottenere i migliori punteggi. In assenza di educazione musicale il riconoscimento delle melodie è effettuato dalla conformazione melodica generale intesa come Gestalt. Al contrario i musicisti operano un trattamento analitico dell'informazione valutando la combinazione degli elementi che compongono la melodia: è allora chiamata in causa l'attività dell'emisfero sinistro.

Questi risultati concordano d'altronde con quelli di Papçun e altri (v., 1974) sulla percezione di sequenze di lettere in codice Morse. In effetti, in operatori abili e in ascoltatori che non conoscevano il codice Morse era evidente una netta superiorità dell'orecchio destro, cioè dell'emisfero sinistro, per le sequenze comprendenti non più di 7 elementi. Ma per le sequenze con un più elevato numero di elementi, la superiorità dell'orecchio destro persisteva soltanto negli operatori esercitati, in quanto negli ascoltatori inesperti si manifestava la superiorità dell'orecchio sinistro. Gli autori postulano anche che questi ultimi soggetti operino un cambiamento di strategia quando le sequenze diventano più lunghe: incapaci, a causa della loro inesperienza, di valutare gli elementi individuali, essi si basano sui caratteri globali dello stimolo.

Così, partendo dalla competizione rivelata nei soggetti con sezione delle commissure emisferiche (split brain), si capisce meglio come la complementarità tra i due emisferi possa realizzarsi nel soggetto normale grazie all'azione del corpo calloso che permette l'unificazione dell'informazione elaborata in maniera diversa da ciascun emisfero. Un'elaborazione parallela dell'informazione può essere effettuata per certe prestazioni, mentre un'elaborazione più lenta e diversa può sopravvenire secondariamente nell'altro emisfero per assicurare il mantenimento della prestazione (v. Dimond e Beaumont, 1974).

b) Localizzazione della specializzazione emisferica

Questa particolare capacità di ciascuna metà cerebrale è propria dell'emisfero nel suo insieme o dipende da certe zone più o meno definite di ognuno dei due emisferi? Le ricerche anatomiche rivelano che una zona dell'emisfero sinistro, il planum temporale, è più larga di quella corrispondente dell'emisfero destro (v. Geschwind e Levitsky, 1968). Non è ancora stato possibile trovare sull'emisfero destro una zona particolare che sia più estesa in questo emisfero che nel controlaterale e che traduca quindi una capacità funzionale superiore. Esiste anche un certo numero di dati in favore di una diversa distribuzione delle aree funzionali nei due emisferi: maggior focalizzazione delle diverse regioni funzionali con presentazione bilaterale della parte sinistra del corpo, per converso maggiore diffusione a destra con rappresentazione controlaterale del corpo (v. Semmes e altri, 1960; v. Hecaen e Angelergues, 1963; v. Semmes, 1965). Se, a quanto sembra, è possibile ammettere che certe regioni definite di ciascun emisfero siano sede di funzioni specifiche, bisogna notare la partecipazione, per quanto più debole, delle regioni vicine che permette di postulare l'esistenza di un gradiente funzionale intraemisferico.

I risultati delle stimolazioni sottocorticali sembrano confermare ugualmente bene che la specializzazione si estende alle funzioni sottocorticali. Ojemann e altri hanno determinato con stimolazioni a livello del talamo (pulvinar e parte posterocentrale mediana del nucleo ventrolaterale) del lato sinistro, e non di quello destro, risposte di tipo afasico e deficit della memoria non verbale a breve termine (v. Ojemann e altri, 1968; v. Ojemann 1971). Disturbi della memoria non verbale a breve termine sono stati prodotti con la stimolazione del fascio mammillo-talamico e della 'zona incerta' del lato destro, ma la memoria verbale non era alterata da queste stimolazioni. Si può così pensare che a fianco della rappresentazione orizzontale intraemisferica esista una rappresentazione verticale: le formazioni sottocorticali interverrebbero nella realizzazione delle prestazioni dovute a meccanismi nervosi dell'emisfero con cui esse sono in rapporto. Si verrebbe così a creare un sistema funzionale cortico-sottocorticale proprio di ciascuna metà del cervello.

Bisogna anche porsi il problema delle relazioni tra le funzioni a rappresentazione ben lateralizzata, di carattere strumentale, e le funzioni fondamentali di memoria e di apprendimento, di motivazione, d'attenzione, di programmazione, ecc., che sembrano dipendere da meccanismi organizzati bilateralmente. Ricerche come quelle di Muner e dei suoi collaboratori (v. Corsi, 1972) sugli effetti specifici delle lesioni dell'ippocampo permettono già di intravedere queste interazioni funzionali.

c) Prevalenza manuale e specializzazione emisferica funzionale

Lo studio dei rapporti tra prevalenza manuale e specializzazione emisferica funzionale ha anche tratto vantaggio, naturalmente, sia dagli apporti tecnici della psicologia sperimentale, sia, in patologia, dal metodo di Wada (iniezione intracarotidea di amobarbitalsodico che inattiva per breve tempo l'emisfero del lato dove è

stata fatta l'iniezione). Sebbene Broca (v., 1865), stabilendo la predominanza dell'emisfero sinistro nei destrimani, ammettesse che i mancini parlino con l'emisfero destro, ben presto la presenza di osservazioni in contrasto con questa regola, compiute quasi unicamente su mancini, indusse a parlare di afasia crociata. In effetti, soltanto dopo la pubblicazione di Chescher del 1936 si arrivò a pensare a una organizzazione cerebrale delle rappresentazioni del linguaggio nel mancino non inversa rispetto a quella del destrimane, ma diversa, con rappresentazione ripartita in modo quasi uguale nei due emisferi. Alcuni autori avevano pensato che, qualunque fosse la prevalenza manuale, la rappresentazione del linguaggio dovesse essere sempre situata a sinistra. Questa affermazione è smentita dai fatti: se vi è effettivamente un numero rilevante di mancini che presentano disturbi afasici dopo lesioni della zona sinistra del linguaggio, circa il 20% o il 30% dei mancini diventa ugualmente afasico dopo lesioni della zona simmetrica situata sul lato destro. Non vi è dunque una relazione diretta e necessaria tra prevalenza manuale e lateralizzazione cerebrale delle funzioni del linguaggio. D'altra parte il recupero dei disturbi del linguaggio avviene in modo più completo e rapido nei soggetti mancini, qualunque sia la lateralizzazione della lesione. Infine, la sintomatologia riscontrata dopo una lesione emisferica unilaterale nei soggetti mancini, per quanto riproduca il tipo generale di quella constatata nei destrimani, tuttavia riveste spesso un carattere misto nel senso che comporta deficit funzionali propri ai due emisferi (v. Hecaen e Sauguet, 1971).

La prova di Wada ha anche permesso a Milner e altri (v., 1966) di constatare che il linguaggio era rappresentato bilateralmente in un numero rilevante dei loro soggetti mancini. Queste diverse argomentazioni che parlano in favore di una certa ambilateralità cerebrale nei soggetti mancini normali (v. Zurif e Bryden, 1969; v. Satz e altri, 1967) o nei soggetti mancini con lesioni emisferiche unilaterali (v. Hecaen e Sauguet, 1971) fanno sospettare che questa ambilateralità cerebrale sia propria solo di coloro che hanno ascendenti mancini.

d) Origine della specializzazione emisferica

Resta infine il problema dell'origine della specializzazione emisferica. Come si può porre il problema della ontogenesi della dominanza cerebrale? L'asimmetria è presente sin dalla formazione del cervello umano o viene acquisita nel corso della maturazione?

Per tentare di rispondere a questa domanda abbiamo a disposizione tre ordini di dati: le afasie acquisite nel bambino, i risultati di prove psicometriche nei soggetti che hanno subito delle lesioni neonatali, gli studi anatomici delle asimmetrie emisferiche nel feto e nel neonato.

Da una revisione delle osservazioni compiute sui disturbi acquisiti del linguaggio nei bambini e dallo studio di casi personali, pensiamo si possano desumere i seguenti fatti. In modo particolare grazie ai dati ottenuti da Basser (v., 1962), si sa che le emisferectomie compiute in seguito a lesioni sopravvenute prima

dell'acquisizione del linguaggio producono effetti simili qualunque sia il lato sul quale sono state praticate. D'altronde mai è stata constatata una disfasia permanente dopo emisferectomia destra praticata per lesioni sopravvenute dopo l'acquisizione del linguaggio. Possono sopravvenire dei disturbi del linguaggio, dopo lesione dell'emisfero destro in giovane età, soltanto quando il bambino è molto piccolo, ma la loro frequenza in effetti non è più elevata che nell'adulto (v. Krashen, 1973; v. Hecaen, 1976). Le afasie infantili, relativamente frequenti nel caso di lesioni a sinistra, a meno che non siano massive, hanno abitualmente un carattere regressivo. Gli aspetti clinici dei disturbi del linguaggio sono diversi nel bambino e nell'adulto. Nel bambino non vi è mai logorrea, le parafasie verbali sono rare e i disturbi dell'espressione (mutismo o disordini articolatori, disturbi della scrittura) predominano qualunque sia la sede intraemisferica della lesione. Questi dati sono dunque in favore di una certa equipotenzialità emisferica con possibilità di spostamento all'altro emisfero della rappresentazione del linguaggio durante la maturazione cerebrale. Il periodo critico durante il quale sarebbe possibile il trasferimento durerebbe, secondo Lenneberg (v., 1967), sin quasi alla pubertà. Si tende tuttavia ad abbassarne la data terminale a un'età ben più precoce.

Al contrario, le due altre serie di argomenti sono a favore di una specializzazione emisferica stabilita ben più precocemente, se non innata.

In effetti, gli esami psicologici dei soggetti con lesioni emisferiche unilaterali e perinatali rivelano un tipo di deficit a seconda dell'emisfero leso, simile a quello riscontrato negli adulti; cioè deficit nei compiti verbali nel caso di lesioni a sinistra, deficit nei compiti non verbali, in particolare spaziali, nel caso di lesioni a destra (v. McFie, 1961; v. Fedio e Mirsky, 1969; v. Woods e Teuber, 1973; v. Rudei e altri, 1974).

L'altra serie di argomenti proviene da esami compiuti su cervelli di feti e di neonati. Teszner e altri (v., 1972), Witelson e Pallie (v., 1973) e soprattutto Wada e altri (v., 1975) ritrovano in effetti su questi cervelli la stessa asimmetria destra-sinistra del planum temporale, cioè dell'area posteriore del linguaggio, constatata nei cervelli degli adulti da Oeschwind e Levitsky (v., 1968). Tuttavia Wada e collaboratori osservano che la differenza in favore del planum sinistro è minore nel feto e nel neonato di quanto non lo sia nell'adulto, così che questa differenza sembrerebbe accrescersi con la maturazione.

La discordanza tra questi diversi risultati si può attenuare se si tiene conto di certe recenti constatazioni. Soprattutto, tra i fattori che intervengono nello spostamento della rappresentazione del linguaggio da un emisfero all'altro bisogna considerare, oltre all'età, la sede della lesione. Milner (v., 1974) ha in effetti constatato, con il metodo di Wada, che malgrado ampie e precoci lesioni a sinistra il linguaggio era sempre rappresentato in questo emisfero se la regione parieto-temporale sinistra era integra; al contrario, in caso di lesione anche limitata di questa regione, si produceva lo spostamento all'emisfero destro. Dunque la riorganizzazione può anche aversi sullo stesso emisfero, e forse per la sua comparsa avrebbe importanza una differenza di maturazione delle diverse aree nella zona del linguaggio. Anche lo spostamento della

rappresentazione del linguaggio all'emisfero destro può, in certi casi, essere solo parziale (v. Nebes e Sperry, 1971). Infine bisogna almeno accennare al caso particolarissimo di una bambina privata di tutte le comunicazioni verbali dai 20 mesi ai 13 anni, studiato da Fromkin e altri (v., 1974). In questa bambina in cui l'acquisizione del linguaggio resta limitata malgrado il ritorno a una vita normale, l'ascolto dicotico rivela che solo l'emisfero destro tratta il materiale verbale o non verbale. Il problema del periodo critico per il trasferimento e per la maturazione può dunque essere posto in modo diverso: senza lo stimolo adeguato durante la maturazione una zona preformata non potrebbe acquisire la sua capacità funzionale.

L'asimmetria funzionale emisferica è un carattere specifico della specie umana o si possono individuare dei precursori nella scala filogenetica? Sebbene alcuni lavori abbiano rivelato una asimmetria negli Uccelli (v. Notebohm, 1970) e nel topo (v. Collins e Ward, 1970), questi fatti sembrano assai lontani dalla dominanza cerebrale umana. Al contrario, ricerche su animali con sezione delle commissure emisferiche (split brain), sul gatto (v. Robinson e Voneida, 1973; v. Webster, 1972) e soprattutto sulla scimmia (v. Trevarthen 1965; v. Gazzaniga, 1963; v. Butler e Francis, 1973; v. Doty e Yamaga, 1973; v. Hamilton e altri, 1974), suggeriscono la presenza di almeno qualche elemento di una tale specializzazione, non ancora sistematica, talora diversa a seconda degli individui, ma che potrebbe costituire l'abbozzo, nell'evoluzione filogenetica, della dominanza cerebrale umana.

Interazioni interemisferiche cerebrali

di Giovanni Berlucchi

sommario: 1. Introduzione. 2. Anatomia delle connessioni nervose fra gli emisferi. a) Organizzazione generale. b) Connessioni interemisferiche neocorticali. 3. Fisiologia delle commissure telencefaliche. a) Loro ruolo nell'organizzazione interemisferica delle attività elettriche normali e anormali del cervello. b) Interazioni interemisferiche specifiche rivelate da esperimenti elettrofisiologici. 4. Esperimenti neurocomportamentali sulle comunicazioni interemisferiche. a) Esperimenti sugli animali con cervello bisecato. b) Esperimenti su soggetti umani con cervello bisecato. 5. Conclusione.

1. Introduzione

Il cervello dei Vertebrati è costituito da due organi appaiati, gli emisferi cerebrali, che sono rimarchevolmente simili l'uno all'altro in tutti i dettagli del loro piano strutturale. Fin da quando l'attività degli emisferi cerebrali è stata messa in relazione con la vita mentale, la chiara antinomia fra la dualità morfologica del cervello e

L'apparente unità della coscienza e della condotta individuale è stata una costante sorgente di perplessità sia per i filosofi sia per gli scienziati. Dai tempi antichi ad oggi, non solo le idee filosofiche sulle relazioni fra la mente e il cervello, ma anche le teorie fisiologiche sull'organizzazione e sull'attività generale del sistema nervoso centrale sono state spesso ispirate dalla considerazione di questa antinomia e formulate in modo da eliminarla. Per esempio, le innumerevoli illusioni sulla localizzazione della mente o del livello supremo dell'organizzazione nervosa in una varietà di organi o centri intracerebrali singoli e mediani - dalla ghiandola pineale cartesiana al cuore reticolare troncoencefalico delle moderne speculazioni neurofisiologiche - possono essere tutte considerate come dei tentativi più o meno espliciti di attribuire un substrato strutturale unitario a quella che generalmente si presume essere la massima unità funzionale. Il problema viene affrontato in maniera meno speculativa quando si cerca di determinare il ruolo dei due emisferi cerebrali, presi singolarmente o insieme, nel controllo del comportamento e, più specificamente, nella realizzazione di quella unitarietà d'azione che, come disse C. S. Sherrington (v., 1906), "è una pietra fondamentale nella costruzione dell'individuo, l'attuazione della cui unità è la funzione specifica del sistema nervoso". In questi termini, il problema rientra chiaramente nella neurofisiologia integrativa, e la sua soluzione dipende dalla misura in cui riusciamo a comprendere: a) le funzioni specifiche servite da ciascun emisfero; b) i meccanismi di coordinazione grazie ai quali le attività emisferiche sono organizzate e integrate nel prodotto finale del lavoro di tutto il sistema nervoso centrale. Per il primo punto, bisogna fare una distinzione fra l'uomo e tutti gli altri Vertebrati. Per quanto ne sappiamo, sia nelle specie non mammifere che nei Mammiferi subumani i due emisferi sono funzionalmente equiparabili da tutti i punti di vista, con la specificazione che ogni emisfero è prevalentemente interessato alle funzioni di senso e di moto del lato controlaterale. Nella specie umana gli emisferi cerebrali non si differenziano solo in ragione delle loro relazioni con il lato destro e sinistro del corpo, ma acquistano anche capacità funzionali proprie, che possono essere alterate selettivamente da lesioni cerebrali unilaterali (v. emisferi cerebrali: Dominanza cerebrale). Il secondo punto è il tema specifico del presente articolo; la sua discussione verrà sviluppata secondo gli aspetti anatomici, fisiologici e psicologici.

2. Anatomia delle connessioni nervose fra gli emisferi

a) Organizzazione generale

Ogni considerazione sulle interazioni fra gli emisferi deve essere preceduta da una descrizione delle vie anatomiche attraverso le quali le attività emisferiche possono essere coordinate e le influenze interemisferiche possono essere esercitate. Le connessioni più dirette, le commissure, sono compatti sistemi di fibre che attraversano la linea mediana a vari livelli del neuraxis e in genere uniscono aree corrispondenti dei due lati del cervello. Esse sono: le commissure telencefaliche, che includono il corpo calloso, la commissura anteriore

e la commissura ippocampale; le commissure diencefaliche e mesencefaliche, che includono la commissura intertalamica, il sistema delle commissure sopraottiche, la commissura abenulare, la commissura posteriore e la commissura intertettale. Altre connessioni, meno dirette, attraverso le quali possono parimenti avvenire comunicazioni interemisferiche, sono i circuiti multisinaptici diffusi della formazione reticolare del talamo e del tronco dell'encefalo e, forse, i sistemi commissurali del midollo spinale. In aggiunta a queste varie vie nervose di interconnessione, gli emisferi cerebrali ovviamente hanno in comune i fluidi circolanti e interstiziali, e non si può escludere che qualche scambio interemisferico di informazioni possa anche prendere questa via non nervosa. Tuttavia, si dimostrerà più avanti che le commissure telencefaliche neocorticali sono il substrato di gran lunga più importante delle interazioni fra gli emisferi, quindi la presente descrizione anatomica sarà in gran parte ristretta a queste commissure.

Il corpo calloso è la commissura della neocorteccia, con la quale esso evolve in parallelo. I Vertebrati non Mammiferi o i bassi Mammiferi come i Monotremi e alcuni dei Marsupiali sono caratterizzati da uno sviluppo scarso o nullo della neocorteccia; in accordo a ciò, il loro cervello non ha corpo calloso. Nei Mammiferi superiori, e specialmente nei Primati, il corpo calloso è un'enorme struttura le cui dimensioni superano largamente quelle di tutti gli altri tratti fibrosi nel cervello. Il corpo calloso dell'uomo contiene circa 200 milioni di fibre, la maggioranza delle quali sono di piccolo diametro (circa $2\ \mu$ (v. Tomasch, 1954). Il numero delle fibre callosali nel gatto, nel ratto, nel coniglio e nel cane è rispettivamente 2, 5, 6, e 22 milioni, secondo quanto riportano S. M. Blinkov e I. I. Glezer (v., 1968). La commissura anteriore è fondamentalmente la commissura della paleocorteccia e dei bulbi olfattivi, ma contiene anche fibre di origine neocorticale; di fatto, le scarse connessioni interemisferiche neocorticali nelle specie acallosali dei Mammiferi si effettuano tutte tramite questa commissura. Nell'uomo vi sono circa da 2,5 a 4 milioni di fibre nella commissura anteriore (v. Tomasch, 1957). La commissura ippocampale o psalterium connette reciprocamente le formazioni ippocampali dei due lati; essa può essere considerata la commissura dell'archicorteccia.

b) Connessioni interemisferiche neocorticali

Prima del 1950, le caratteristiche topologiche generali delle connessioni interemisferiche neocorticali attraverso il corpo calloso e la commissura anteriore sono state studiate: a) anatomicamente, con l'esame microscopico di cervelli normali impregnati con i metodi di Golgi o Cajal (v., ad es., Cajal, 1911; v. i contributi di de Villaverde) o di cervelli affetti da lesioni corticali o commissurali, colorati con metodi per la dimostrazione di fibre mieliniche degenerate (v., ad es., Van Valkenburg, 1913; v. Polyak, 1927; v. i contributi di Mettler); b) elettrofisiologicamente, registrando e mappando in tutta la corteccia di un emisfero le risposte elettrobiologiche causate dalla stimolazione elettrica (v. Curtis, *Intercortical connections...*, 1940; v. Bremer e altri, 1956) o dall'irritazione chimica locale ('neuronografia stricnica'; v. Bailey e altri, 1941; v. McCulloch e

Garol, 1941; v. Garol, 1942) della corteccia dell'altro emisfero, prima e dopo sezione del corpo calloso, della commissura anteriore o di entrambi. Durante l'ultimo ventennio, le moderne tecniche all'argento per impregnare assoni in degenerazione (metodo di Nauta e sue varie modificazioni) sono state applicate intensivamente, in combinazione con lesioni appropriate della corteccia o delle commissure, allo studio delle connessioni interemisferiche neocorticali; dato che i risultati degli studi precedenti sono stati in parte confermati, in parte corretti o precisati e in parte del tutto soppiantati da quelli ottenuti con i nuovi metodi istologici, solo questi ultimi verranno riassunti brevemente nel presente paragrafo.

Prima di entrare nei dettagli dell'organizzazione delle connessioni interemisferiche corticali, è bene considerarne il piano generale. La neuroanatomia aveva dimostrato, e l'elettrofisiologia classica aveva confermato, che la distribuzione delle fibre commissurali attraverso la corteccia è molto ineguale, visto che alcune aree corticali sono riccamente provviste di tali fibre mentre altre mancano di qualsiasi connessione commissurale. Svitati principi di base sono stati proposti per schematizzare le proprietà topologiche delle proiezioni commissurali. Il principio dell'omotopia postula che le fibre commissurali interconnettano aree corticali simmetriche dei due emisferi: esso è saldamente sostenuto da ripetute dimostrazioni che indicano che i legami interemisferici più forti si stabiliscono effettivamente fra punti corticali simmetrici; tuttavia, la sua enunciazione più restrittiva è certamente falsa, visto che esistono connessioni eterotopiche in numero certamente non trascurabile. Vi è poi il principio dell'eterolateralità di Mettler, che sostiene che una data area corticale ha connessioni commissurali non solo con l'area simmetrica corrispondente, ma anche con le aree controlaterali che sono simmetriche rispetto a tutte le aree dell'emisfero ipsilaterale con cui essa è connessa (v. Mettler, 1935); anche questo principio, però, è almeno in parte contraddetto dalla nota acquisizione che le connessioni interemisferiche sono di regola molto meno diffuse di quelle intraemisferiche. Lo stato attuale delle conoscenze sta in favore di un principio che si può definire di omofunzionalità: un'area della corteccia che rappresenta una parte della periferia motoria o sensitivo-sensoriale proietta fibre commissurali sia all'area simmetrica sia ad altre aree corticali dell'emisfero opposto che rappresentano la stessa parte periferica. Tuttavia, è evidente che parecchie aree corticali non hanno connessioni commissurali. L'applicazione della teoria generale della corteccia di P. Flechsig (v., 1896) all'organizzazione delle connessioni interemisferiche (v. Geschwind, 1965) ha portato all'idea che l'assenza delle connessioni commissurali sia la caratteristica delle aree primarie di senso, e la presenza di molte di queste connessioni sia la caratteristica delle aree di associazione, definendo le due classi di aree corticali sulla base di criteri citoarchitettonici e odologici. Sappiamo oggi che le cose non stanno così e che le fibre commissurali originano e terminano in aree corticali circoscritte qualificate dalla loro relazione con certe parti del corpo o dello spazio visivo o con certe frequenze sonore, anziché dalle loro caratteristiche citoarchitettoniche.

Nelle specie dei Mammiferi che hanno un corpo calloso, la maggior parte delle connessioni commissurali della neo-corteccia sono di natura callosale; è solo la corteccia della parte inferiore del lobo temporale che ha connessioni interemisferiche attraverso la commissura anteriore. L'esistenza di fibre della corteccia occipitale nella commissura anteriore della scimmia è stata discussa, ma non provata al di là di ogni dubbio (v. Doty e Negrò, 1973). Nella seguente descrizione, l'attributo 'commissurale' verrà usato intercambiabilmente con 'calloso', salvo diversa indicazione.

Nella scimmia, le regioni corticali che rappresentano la mano e il piede sia nell'area motoria precentrale (M I) che nell'area somatosensitiva primaria nel giro postcentrale (S I) non mandano nè ricevono proiezioni commissurali. Al contrario, le porzioni di queste aree corticali che rappresentano la faccia, il tronco, le membra e il bacino sono densamente connesse attraverso la linea mediana in maniera omotopica. Queste stesse porzioni di M I e di S I mandano fibre commissurali alle porzioni funzionalmente corrispondenti rispettivamente dell'area motoria supplementare sulla faccia mediale dell'emisfero (M II) e dell'area somatosensitiva secondaria nell'opercolo parietale (S II) (v. Jones e Powell, 1969; v. Pandya e Vignolo, 1969; v. Pandya, Gold e Berger, 1969; v. Karol e Pandya, 1971). Secondo Jones e Powell (v., 1969), le connessioni callosali fra le aree S I dei due lati sono strettamente simmetriche (omotopiche) e rispettano le proprietà delle suddivisioni di S I che riguardano sia la topografia sia la modalità; cioè, esse interconnettono aree corticali che rappresentano esattamente la stessa parte del corpo e contengono cellule che rispondono alla stessa classe di afferenze somatosensitive (superficiali della pelle o profonde dei muscoli e delle articolazioni). Pandya e collaboratori sostengono invece il concetto secondo il quale sia M I sia S I proiettano alle aree corrispettive laterali secondo un modello di sovrapposizione, che prevede che ciascuna suddivisione corticale da un lato (per es. l'area della faccia) sia connessa non solo con l'area simmetrica controlaterale, ma anche con aree contigue che rappresentano parti adiacenti della periferia (per esempio l'occipite e il collo). V'è accordo generale sul fatto che le rispettive proiezioni da S I e M I in un emisfero a S II e M II nell'altro emisfero hanno una disposizione omotopica abbastanza poco rigida, che permette forse una mescolanza di proprietà di luogo e di modalità. Una simile disposizione è tipica delle interconnessioni fra le aree S II (v. Jones e Powell, 1969; v. Pandya e Vignolo, 1969) e le aree M II dei due lati (v. Pandya, Gold e Berger, 1969; v. Karol e Pandya, 1971). Anche qui, le aree della mano e del piede sono prive di connessioni callosali.

Risultati molto simili sono stati descritti per le aree motoria e somatosensitiva della corteccia del gatto (v. Ebner e Myers, 1965; v. Jones e Powell, 1968; v. Kawamura e Otani, 1970). Inoltre, F. F. Ebner e R. E. Myers (v., 1965) hanno osservato che l'estesa area della mano nella corteccia somatosensitiva del procione rimane libera da ogni degenerazione dopo sezione completa delle commissure telencefaliche, mentre le aree della faccia, del braccio e della gamba presentano vari gradi di degenerazione.

Le connessioni callosali della corteccia visiva sono state studiate a fondo nel gatto. In generale, è evidente che queste connessioni sono limitate alle aree corticali che rappresentano il meridiano verticale centrale del campo visivo. L'area che rappresenta il meridiano verticale centrale, situata al confine fra le aree 17 e 18, proietta alla regione simmetrica controlaterale e ad aree che rappresentano la stessa parte del campo visivo nell'area 19 e nell'area soprasilviana laterale. Le rappresentazioni del meridiano verticale nelle due aree 19 sono connesse reciprocamente e inoltre mandano fibre commissurali a porzioni correlate funzionalmente dell'area soprasilviana laterale (v. Hubel e Wiesel, 1965; v. Garey e altri, 1968; v. Wilson, 1968; v. Makarov, 1968-1969; v. Heath e Jones, 1970; v. Berlucchi, 1972). Un'eccezione alla regola che limita le connessioni callosali della corteccia visiva alle regioni che rappresentano il meridiano verticale centrale sembra caratterizzare le connessioni reciproche fra le aree soprasilviane laterali dei due lati, che sono estese all'intera rappresentazione del campo visivo (v. Heath e Jones, 1970). Comunque, la stretta relazione fra le connessioni callosali della corteccia visiva e le rappresentazioni corticali del meridiano verticale centrale del campo visivo è stata messa chiaramente in evidenza nelle seguenti specie: scimmia (v. Myers, Commissural connections..., 1962; v. Cragg e Ainsworth, 1969; v. Zeki, 1970; v. Karol e Pandya, 1971); coniglio (v. Hughes e Wilson, 1969); ratto (v. Nauta e Bucher, 1954; v. Heimer e altri, 1967); opossum (v. Benevento ed Ebner, 1971). Nell'ultimo animale non v'è corpo calloso e le connessioni interemisferiche della corteccia visiva corrono nella commissura anteriore assieme a tutte le altre connessioni interemisferiche neocorticali.

Uno studio dettagliato delle connessioni commissurali della corteccia uditiva del gatto, eseguito da I. T. Diamond, E. O. Jones e T. P. S. Powell (v., 1968), ha dimostrato che le varie aree di rappresentazione (tonotopica) della coclea in cui questa parte della corteccia è suddivisa sono provviste di fibre commissurali in maniera molto inhomogenea. La prima area uditiva (A I) manda fibre alla A I controlaterale e alla seconda area uditiva (A II); queste connessioni seguono il principio di omofunzionalità (vedi sopra), cioè uniscono rappresentazioni della stessa parte della coclea. Connessioni omotopiche si stabiliscono fra le aree A II dei due lati; le aree nel giro ectosilviano posteriore (ep) e nel solco soprasilviano (frangia soprasilviana) sono parimenti connesse in maniera omotopica. Non esistono connessioni interemisferiche per l'area uditiva insulare. È evidente che le fibre commissurali in tutte le suddivisioni uditive della corteccia con connessioni interemisferiche sono limitate a certe regioni e ne evitano altre; questa disposizione è chiara al massimo nell'area A I, dove la rappresentazione delle parti della coclea che rispondono a frequenze tonali fra 2 e 12 KHz ha scarse proiezioni interemisferiche o non ne ha affatto. Anche nella scimmia, terminazioni callosali si trovano in certe parti della corteccia uditiva e non in altre. Le connessioni callosali nel lobo temporale sono limitate alle parti mediali delle aree A I e A II; l'area uditiva di associazione nel piano sopratemporale e nel giro temporale superiore ha parimenti connessioni commissurali non omogenee omotopiche ed eterotopiche, per il tramite in parte del corpo calloso, in parte della commissura anteriore (v. Pandya, Hallet e Mukherjee,

1969; v. Karol e Pandya, 1971). Anche l'area di proiezione del sistema vestibolare nel giro postcentrale della scimmia è solo in parte provvista di proiezioni commissurali (v. Karol e Pandya, 1971). L'area inferotemporale nota per le sue funzioni visive è connessa con l'area corrispondente dell'altro lato sia dal corpo calloso che dalla commissura anteriore, ma anche qui la densità delle proiezioni commissurali è ineguale nelle varie parti dell'area (v. Pandya, Hallet e Mukherjee, 1969; v. Karol e Pandya, 1971). Le connessioni interemisferiche delle varie aree corticali sono distribuite in maniera ordinata entro il corpo calloso.

Riassumendo, lo schema delle connessioni callosali della neocorteccia si interpreta meglio in termini di un legame selettivo fra proiezioni interemisferiche e aree corticali correlate funzionalmente ad alcune parti specifiche delle periferie motorie e sensitivo-sensoriali, anziché sulla base di criteri puramente morfologici. Nelle aree corticali visive, così come nelle aree corticali somatosensitive e motorie, le connessioni callosali sono limitate a zone della corteccia che rappresentano, rispettivamente, le porzioni del campo visivo limitrofe al meridiano verticale centrale e le parti assiali del corpo. Come si discuterà più avanti, il significato funzionale di questo schema di interconnessione è stato almeno in parte chiarito da esperimenti di fisiologia. Le aree corticali uditive e vestibolari, così come le aree di associazione, sono ugualmente divise in zone 'commissurali' e 'commissurali', ma il significato fisiologico di questa interconnessione selettiva è al momento oscuro. Discussioni teoriche su questo punto si possono trovare nei lavori di Diamond e altri (v., 1968), Pandya e Vignolo (v., 1969) e Karol e Pandya (v., 1971).

Si deve fare anche menzione delle fibre non commissurali (decussanti) del corpo calloso. Vi sono chiare prove in favore dell'esistenza in diverse specie, incluso l'uomo, di una proiezione cortico-striatale che si incrocia nel corpo calloso (v. Locke e altri, 1964; v. Carman e altri, 1965; v. Locke e Yakovlev, 1965; v. Webster, 1965). Nell'uomo la corteccia limbica (cingolo) è un'importante sorgente di fibre callosali per lo striato controlaterale. Nel gatto la corteccia sensoriale-motoria primaria proietta al nucleo caudato controlaterale attraverso il corpo calloso (v. Carman e altri, 1965).

Una considerazione finale riguarda il luogo preciso di terminazione delle fibre commissurali nei vari strati corticali, e le relazioni sinaptiche dei terminali commissurali con le strutture cellulari e subcellulari della corteccia. Marcate differenze fra le specie nella distribuzione laminare dei terminali callosali sono state descritte da S. Jacobson e E. M. Marcus (v., 1970). Terminali callosali possono essere dimostrati in tutti gli strati corticali delle specie studiate, ma nel ratto questi terminali tendono ad essere più concentrati nei tre strati superiori, mentre nel gatto e specialmente nei Primati essi sono più numerosi negli strati III e IV. Lo strato IV è quello dove terminano le fibre talamocorticali; esso presenta uno sviluppo progressivo nelle specie superiori. Karol e Pandya (v., 1971) suggeriscono che questo progressivo sviluppo può essere accompagnato da una convergenza di afferenze corticali (incluse le callosali) verso questo strato. Si dovrebbe tuttavia considerare che la distribuzione laminare dei terminali callosali entro la corteccia varia da un'area corticale all'altra anche

nell'ambito della stessa specie (v., per es., Jacobson, 1970). Là dove una convergenza di afferenze callosali e non callosali (talamocorticali, corticocorticali) alla corteccia è stata dimostrata, sorge il problema della distribuzione di queste diverse afferenze ai vari elementi neuronici corticali. A. Globus e A. B. Scheibel (v., 1967) hanno dimostrato nel coniglio che i terminali callosali sono in larga parte in relazione sinaptica con le spine sui rami obliqui dell'albero dendritico delle cellule piramidali, in contrasto con le afferenze talamocorticali che terminano direttamente sulle spine dell'albero dendritico stesso. J. S. Lund e R. D. Lund (v., 1970) hanno riferito che nel ratto i terminali callosali stanno non solo sulle spine e sui rami dendritici delle cellule piramidali e non piramidali, ma anche sui corpi delle cellule non piramidali e sulla parte più grossa del loro tronco dendritico. Sembra che non vi siano contatti assosomatici fra fibre callosali e cellule piramidali. Altri dati sperimentali e altre illusioni sulla convergenza delle afferenze commissurali e non commissurali nel reticolo cellulare corticale si possono trovare nei lavori di E. G. Jones e T. P. S. Powell (v., 1970), L. A. Benevento e F. F. Ebner (v., 1971) e Karol e Pandya (v., 1971). Per quanto riguarda i corpi cellulari che danno origine a fibre callosali, la vecchia indicazione di L. J. Pines e R. M. Maiman (v., 1939), secondo la quale la sezione del corpo calloso causa degenerazione retrograda negli strati III, IV e VI della corteccia, non è stata confermata da Jacobson (v., 1965). Studi elettrofisiologici sulla corteccia visiva del gatto suggeriscono che i neuroni che proiettano al corpo calloso sono elettivamente situati nel III strato (v. sotto, cap. 3, § b).

3. Fisiologia delle commissure telencefaliche

a) Loro ruolo nell'organizzazione interemisferica delle attività elettriche normali e anormali del cervello
Gli studi classici sull'elettroencefalogramma (EEG) nell'uomo e negli animali avevano indicato che le onde elettriche registrate simultaneamente da punti corrispondenti dei due emisferi del cervello normale sono essenzialmente simili in forma, ampiezza e durata (v. Adrian e Yamagiwa, 1935). Le analisi odierne dell'EEG per mezzo di calcolatori, basate su tecniche di correlazione crociata, hanno sostanzialmente confermato la nozione della sincronia bilaterale dell'EEG, anche se si è visto che la corrispondenza fra i due lati non è così precisa come ritenevano i ricercatori precedenti (v. Andersen e Andersson, 1968). Bremer (v., 1958 e *Le corps calleux...*, 1966) fu uno dei primi a suggerire che le commissure neocorticali sono essenziali per assicurare questa sincronia bilaterale, e la sua idea è stata corroborata da numerosi esperimenti che dimostrano una diminuzione o scomparsa della sincronia bilaterale dei ritmi EEG nel gatto a seguito di commissurotomie acute e croniche (v. Claes, 1939; v. Bremer e Stoupe, 1957; v. Magni e altri, 1960; v. Berlucchi, 1966). D'altro canto C. Batini, M. Radulovacki, R. T. Kado e W. R. Adey (v. Batini e altri, 1967), nella scimmia, e W. Singer e O. Creutzfeldt (v., 1969), nel gatto, hanno riferito che la sincronia bilaterale dell'EEG, misurata su campioni selezionati e analizzati con correlazione crociata per mezzo di calcolatori, non si modificava

significativamente in seguito alla sezione delle commissure telencefaliche. Da ciò essi hanno concluso che la sincronia bilaterale dell'EEG dipende interamente da meccanismi sottocorticali. La loro conclusione, tuttavia, perde molto della sua forza quando si consideri che la sincronia bilaterale nei loro controlli normali con commissure intatte era già così bassa che era difficile aspettarsi un aumento dell'asincronia dopo la commissurotomia. La ragione di questi dati controversi non è chiara, ma è possibile che la sincronia bilaterale dell'EEG possa essere stata oscurata negli animali normali da condizioni ambientali stimolanti implicite negli esperimenti in cui si registra da animali liberi di muoversi. B. A. Meyerson (v., 1968) ha riferito che l'EEG di animali allo stato fetale o neonatale presenta una marcata sincronia bilaterale, per la quale non è necessario il corpo calloso; nell'animale adulto la sincronia bilaterale è molto meno evidente, forse perché essa è facilmente mascherata o disturbata dall'impatto asimmetrico di segnali afferenti alla corteccia. A questo stadio, il corpo calloso e la commissura anteriore possono essere importanti per controbilanciare almeno in parte le influenze che disturbano la sincronia bilaterale. Lo studio dell'EEG di soggetti umani che non hanno il corpo calloso (per abnorme sviluppo cerebrale o per sezione chirurgica) dovrebbe almeno in parte contribuire alla soluzione del problema del ruolo delle commissure corticali nella sincronia bilaterale dell'EEG (v. Bremer e altri, 1956; v. Unterharnscheidt e altri, 1968). Purtroppo non si possono trarre conclusioni definitive da questi studi, dato che la quasi certa esistenza di anomalie cerebrali oltre all'assenza del corpo calloso rende difficile l'accertamento della causa di possibili asimmetrie elettroencefalografiche. Analogamente l'osservazione che potenziali elettroencefalografici abnormi possono essere bilateralmente sincroni in alcuni di questi pazienti (che spesso sono anche affetti da epilessia) non indica necessariamente che il corpo calloso non serva alla sincronizzazione bilaterale di potenziali elettroencefalografici normali o abnormi. Si ritornerà su questo punto più avanti.

Al momento attuale, sembra ragionevole ritenere che sia le commissure telencefaliche sia meccanismi sottocorticali, come le commissure più basse o un pacemaker troncoencefalico, siano tutti implicati nella sincronizzazione bilaterale dell'EEG. Questa conclusione è suggerita dai seguenti dati sperimentali: 1) attività elettriche diffuse evocate nella corteccia dalla stimolazione talamica unilaterale si diffondono all'emisfero controlaterale attraverso sia il corpo calloso che la commissura intertalamica (v. Enomoto, 1959; v. Giaquinto, 1969), ed è stata ripetutamente confermata l'analogia fra questi potenziali e le attività elettroencefalografiche spontanee; 2) le attività elettriche di aree corticali dei due emisferi isolate dalle afferenze sottocorticali, ma ancora interconnesse attraverso il corpo calloso, presentano chiari segni di mutua interdipendenza (v. Swank, 1949; v. Andersen e altri, 1967; v. Hossman, Untersuchungen..., 1969); 3) in anestesia profonda (v. Aird e Garoutte, 1958) o durante la vita fetale o neonatale (v. Meyerson, 1968) l'EEG mostra un alto grado di sincronia bilaterale che non dipende dal corpo calloso. Altre prove che stanno in favore di questa conclusione

sono fornite dai lavori sui meccanismi commissurali della propagazione interemisferica di attività elettriche abnormi.

Un altro problema da considerare, e da non confondere con la precedente questione sui meccanismi della fine corrispondenza bilaterale delle onde dell'EEG, è quello del possibile ruolo delle connessioni interemisferiche nella simultanea insorgenza di ritmi elettroencefalografici del sonno e della veglia nei due emisferi. I risultati nel gatto (v. Berlucchi, 1966; v. Majkowski, 1967; v. Giaquinto, 1969) e nella scimmia (v. Batini e altri, 1967) indicano chiaramente che si possono sezionare le commissure telencefaliche, diencefaliche e mesencefaliche e addirittura parte del tegmento mesencefalico, senza interferire con la normale simultaneità di comparsa nei due lati del cervello dei segni elettroencefalografici del risveglio e dei vari stadi di sonno. È solo quando si seziona mediosagittalmente anche il tegmento pontino e bulbare che cominciano ad apparire asimmetrie emisferiche dei ritmi elettroencefalografici del sonno e della veglia (v. Michei e Roffwarg, 1967; v. Mancia e altri, 1968). Tutti questi dati sono in buon accordo con la teoria che il ciclo sonno-veglia è controllato da un pacemaker situato nel cuore reticolare del tronco dell'encefalo (v. SONNO). Nonostante non siano necessarie per l'insorgenza simultanea dei ritmi del sonno e della veglia nei due emisferi, le commissure telencefaliche potrebbero tuttavia contribuire a modulare l'eccitabilità e la reattività della corteccia alle afferenze di senso. Bremer (v., 1953, 1958, e *Étude électrophysiologique...*, 1966) ha dimostrato che salve transcommissurali possono aumentare l'ampiezza dei potenziali corticali evocati dalla stimolazione di vie ascendenti corticipete, ed ha avanzato l'idea di un'influenza tonica facilitante da parte dell'attività callosale sull'organizzazione generale della corteccia. Un'attività tonica di fibre callosali, variabile con il livello di veglia, è stata dimostrata nel gatto con la registrazione diretta (v. Berlucchi, 1965). Qualche autore (v., ad es., Togliani, 1961) è arrivato al punto di suggerire che il corpo calloso è un sistema attivante trasversale della corteccia, sovrainposto sull'analogo sistema attivante longitudinale che ascende dal tronco dell'encefalo. K. A. Hossman, (v., *Midline section...*, 1969) ha visto che il risveglio elettroencefalografico indotto dalla stimolazione troncoencefalica unilaterale nel suo preparato 'corpo calloso' nel gatto rimaneva limitato alla corteccia dell'emisfero del lato stimolato. Dato che in questo preparato tutte le connessioni nervose fra i due lati del cervello, eccetto il corpo calloso e la sottostante commissura ippocampale, erano state eliminate chirurgicamente, bisogna concludere che il corpo calloso da solo non poteva trasmettere effetti di risveglio dalla corteccia di un emisfero a quella dell'altro. Altri autori (v., ad es., Chang, *Interaction...*, 1953; v. Landau e altri, 1961; v. Ajmone Marsan e Morillo, 1963) hanno anche descritto influenze commissurali riducenti l'ampiezza dei potenziali della corteccia evocati sensorialmente indicando così che anche l'inibizione e l'occlusione possono essere implicate. Come verrà discusso nel § b, la microelettrofisiologia moderna ha dimostrato che l'interazione fra le afferenze di senso e le afferenze commissurali alla corteccia non è semplicemente una questione di potenziamento mutuo o di interferenza, ma una complessa addizione d'informazioni che dà luogo a campi recettivi sensoriali

più vasti. È quindi probabile che le attività toniche e fasiche delle commissure telencefaliche siano implicate in regolazioni sia facilitatorie sia inibitorie dei neuroni corticali molto più complesse e raffinate di quelle postulate con il concetto semplicistico di un sistema 'energizzante' o, il che è lo stesso, 'frenante'.

A partire dalle ricerche precorritrici di M. Gozzano (v., 1935) e G. Moruzzi (v., 1939), il fenomeno della diffusione interemisferica di un'attività elettrica abnorme della corteccia, inizialmente unilaterale, ha costituito un modello importantissimo per lo studio della propagazione sinaptica dell'accesso epilettico nel tessuto nervoso (v. epilessia). Per converso, le caratteristiche topologiche della diffusione interemisferica di segni corticali di epilessia sono state utilizzate con profitto, nell'era della 'neuronografia stricnica', al fine di determinare l'origine e la terminazione delle vie commissurali entro la corteccia (vedi sopra). I fatti sperimentali sono assai semplici: attività elettriche abnormi indotte in un'area della corteccia dall'applicazione diretta di irritanti chimici o fisici tendono a propagarsi all'area omologa dell'altro emisfero, e la propagazione può essere impedita dalla sezione appropriata del corpo calloso (v. Erickson, 1940; v. Kopeloff e altri, 1950), o della commissura anteriore (v. Poblete e altri, 1959) o di entrambi (v. Moruzzi, 1950; v. Bremer e altri, 1956). Come Moruzzi (v., 1939) ha originariamente dimostrato, all'inizio l'attività epilettica del focolaio secondario o speculare assume la semplice forma di una risposta evocata dalle salve commissurali che originano nell'area accessuale primaria. Con il passar del tempo, tuttavia, il focolaio speculare sviluppa una propria attività abnorme, e diviene indipendente dal focolaio controlaterale. Ciò spiega perché l'attività accessuale del focolaio speculare non scompare se la callosotomia viene effettuata parecchie ore dopo l'instaurazione del focolaio primario (v. Morrell, 1960). Ovviamente non si dovrebbe dimenticare che molte altre vie di comunicazione interemisferica sono ancora disponibili dopo sezione delle commissure telencefaliche, sia nel diencefalo che nel tronco dell'encefalo più caudale. Queste vie sono certamente molto meno importanti dei sistemi commissurali diretti per la propagazione interemisferica dell'attività epilettica, ma che esse possano essere in qualche modo interessate in tale propagazione non è affatto escluso. L. T. Rutledge e T. T. Kennedy (v., 1960) hanno dimostrato che risposte a lunga latenza alla stimolazione di un punto corticale possono essere registrate nel punto simmetrico della corteccia controlaterale anche dopo sezione completa del corpo calloso e della commissura anteriore. La via troncoencefalica che si presume mediare questi effetti può essere ugualmente implicata nei fenomeni residui di propagazione interemisferica di attività epilettiche che sono stati talvolta osservati in animali commissurotomizzati (v. Hoefler e Pool, 1943; v. Straw e Mitchell, 1967).

Il dato sperimentale che indica una chiara relazione fra le vie commissurali e la propagazione interemisferica dell'accesso epilettico non è rimasto senza applicazioni cliniche. Alcuni chirurghi (v. Van Wagenen e Herren, 1940; v. Bogen e Vogel, 1962) hanno suggerito che la sezione radicale delle commissure telencefaliche può essere usata in alternativa alla rimozione del focolaio corticale primario per il controllo degli attacchi

epilettici. Questo procedimento può essere efficace non solo per impedire la diffusione specifica delle scariche epilettiche da un emisfero all'altro, ma anche per abolire effetti aspecifici di attivazione generale della corteccia promossi dalle connessioni commissurali. Questi effetti facilitatori interemisferici sono stati dimostrati in esperimenti su animali (vedi sopra), ma vi sono anche indicazioni che una aumentata sensibilità agli agenti epilettogeni può svilupparsi in ratti callosotomizzati sotto forma di fenomeno di supersensibilità da denervazione (v. Stavraký, 1961). Qualunque possa essere il meccanismo, i resoconti più recenti sulla commissurotomia terapeutica sono stati sostanzialmente ottimistici, anche se gli autori stessi hanno prudentemente dichiarato che il successo è probabilmente dovuto sia alla commissurotomia in sé, sia alla soppressione, da parte della contemporanea terapia farmacologica, di vie sottocorticali per la propagazione interemisferica di attività epilettiche (v. Bogen e altri, 1969). Un altro dato di interesse clinico è costituito dall'osservazione che gli accessi epilettici indotti transinapticamente in un emisfero dall'attivazione delle sue afferenze commissurali sono generalmente meno intensi di quelli provocati dalla stimolazione diretta. Ciò può spiegare la minore azione perturbante della terapia elettrica convulsiva unilaterale, rispetto a quella bilaterale, sulla memoria e su altre funzioni mentali (v. D'Elia, 1970). Il predominante interessamento delle funzioni sostenute dall'emisfero direttamente stimolato e la persistenza relativamente buona delle funzioni mediate dell'altro emisfero suggeriscono effettivamente che la propagazione controlaterale attraverso i sistemi commissurali è meno efficace dell'applicazione diretta della corrente nel disturbare le attività nervose. Un approccio un po' diverso al problema del ruolo delle connessioni interemisferiche nel determinare il quadro di attività epilettica nella corteccia è stato seguito da E. M. Marcus e C. W. Watson (v., 1966 e 1968; v. anche Marcus e altri, 1968). In una serie di esperimenti eseguiti sul gatto e sulla scimmia, essi hanno applicato agenti epilettogeni, come stricnina, Metrazol, estrogeni coniugati o raffreddamento locale, ad aree neocorticali corrispondenti di entrambi gli emisferi. I focolai di attività abnorme (di solito punte e complessi punta-onda) causati da questo procedimento tendono in generale a presentare scariche notevolmente simmetriche e sincrone. Controlli oscillografici dimostrano che le singole punte e onde lente dei due focolai sono sincronizzate entro un intervallo da 0 a 20 ms. Tuttavia, questa precisa interazione bilaterale non si realizza se gli agenti epilettogeni sono applicati ad aree corticali prive di connessioni commissurali, come sono ad esempio gran parte delle aree striate. In accordo con questi dati, le scariche di focolai bilaterali instaurati in aree corticali provviste di connessioni commissurali perdono la loro previa sincronizzazione e diventano in larga misura indipendenti dopo sezione del corpo calloso e delle commissure anteriore e ippocampale. Solo occasionalmente si osservano in queste condizioni segni di una sincronizzazione molto più grossolana (entro 50 e 400 ms) fra i due lati. Infine, lembi corticali bilaterali totalmente separati dai centri sottocorticali per mezzo di un procedimento chirurgico che risparmia le connessioni reciproche attraverso il corpo calloso, mostrano, quando vengono trattati con applicazioni epilettogene locali, una capacità di emettere scariche

bilateralmente sincrone simili a quelle osservate nel cervello normale. Tutti questi risultati forniscono prove sostanziali in favore dell'idea che le commissure telencefaliche abbiano un'importanza primaria per la sincronizzazione di focolai corticali bilaterali di attività elettriche abnormi. Essi sono stati confermati ed estesi da U. Leibowitz (v., 1969) e da V. M. Mosidze e collaboratori (v., 1971), che hanno aggiunto l'osservazione che la sincronia bilaterale delle scariche epilettiche corticali prodotte da iniezioni endovenose di alte dosi di stricnina è ugualmente abolita dalla callosotomia; e da C. A. Ottino e collaboratori (v., 1971), che hanno descritto che la corrispondenza bilaterale fra le scariche epilettiche insorgenti in punti corticali simmetrici può ricomparire, dopo commissurotomia, se l'intensità delle scariche stesse è appropriatamente aumentata. In queste condizioni la sincronia bilaterale sembra essere dovuta a connessioni crociate diencefaliche e mesencefaliche, dato che una asincronia definitiva si ottiene con una sezione mediosagittale che si estenda caudalmente fino al tegmento mesencefalico.

b) Interazioni interemisferiche specifiche rivelate da esperimenti elettrofisiologici

In accordo con una tendenza generale della ricerca neurofisiologica, l'analisi fisiologica delle funzioni specifiche delle commissure telencefaliche nell'ultimo trentennio ha avuto in larga misura carattere elettrofisiologico e il suo sviluppo è passato attraverso vari stadi chiaramente corrispondenti a progressi metodologici nell'investigazione dell'attività elettrica del sistema nervoso. Dapprima l'attenzione si è concentrata sullo studio dei macropotenziali evocati nella corteccia di un emisfero dalla stimolazione della corteccia dell'emisfero opposto.

Un singolo impulso elettrico applicato a quasi tutte le aree corticali produce un potenziale controlaterale complesso che raggiunge la sua massima ampiezza al punto corticale simmetrico e, almeno per quanto riguarda le sue componenti più precoci, stabili e prominenti, è mediato o dal corpo calloso o dalla commissura anteriore, a seconda dei punti di stimolazione e di registrazione. Questi potenziali evocati transcommissurali sono stati studiati a fondo nel gatto (v., ad es., i contributi di Curtis, 1940, e quelli di Chang, 1953; v. Bremer, 1953 e 1955; v. Peacock, 1957; v. Grafstein, 1959 e 1963; v. Rutledge e Kennedy, 1960; v. Latimer e Kennedy, 1961; v. Hossman, *Untersuchungen über...*, 1969), ma i risultati ottenuti in altre specie sono essenzialmente simili (v., ad es., Nelson e Lende, 1965; v. Latimer e Wilfred, 1968; v. Meyerson, 1968; v. Putnam e altri, 1968). Queste ricerche sono state estremamente utili per il completamento degli studi anatomici delle connessioni interemisferiche e per la facilitazione dell'interpretazione della fisiologia generale della corteccia sia nel corso dello sviluppo sia dopo la maturazione, ma parecchi problemi sorgono quando i risultati devono essere confrontati con quelli ottenuti con altre tecniche fisiologiche, come la registrazione microelettrodica, o con la sperimentazione neurocomportamentale. Alcune ragioni che stanno alla base di questi problemi sono:

- 1) la tradizionale difficoltà che si incontra nel tentativo di correlare i macropotenziali elettrici registrati da una

data regione cerebrale con le attività individuali dei neuroni sottostanti; 2) la grave incompletezza delle nostre conoscenze della fine anatomia delle strutture corticali che emettono e ricevono proiezioni commissurali; 3) le marcate differenze fra le specie nell'organizzazione corticale e, nello schema delle connessioni interemisferiche, differenze che sono state spesso trascurate a causa delle somiglianze nei potenziali evocati, con il risultato che si sono fatte generalizzazioni illecite; 4) la natura notevolmente complessa dei potenziali transcommissurali che, anche quando sono prodotti dalla stimolazione selettiva di un singolo sistema di fibre, sono sempre contaminati dall'attivazione antifisiologica (antidromica) dei neuriti e dall'eccitazione non-commissurale di collaterali assonici ricorrenti che ne deriva (v. ad es., Asanuma e Okamoto, 1959; v. Clare e altri, 1961; v. Feeney e Orem, 1971). In questo paragrafo, l'accento verrà posto sui dati fisiologici che rivestono importanza per gli esperimenti neurocomportamentali su cui si riferirà in seguito; gli studi sui potenziali evocati saranno menzionati solo quando serviranno alla presente discussione. Eccellenti rassegne sui potenziali evocati transcommissurali sono state pubblicate altrove (v. Bremer e altri, 1956; v. Meyerson, 1968; v. Doty e Negrao, 1973; v. Cuénod, 1972). Un passo importante verso il miglioramento delle correlazioni fra le funzioni delle commissure telencefaliche e i potenziali transcommissurali è stato compiuto da Bremer (v., 1958 e *Les corps calleux...*, 1966), che ha introdotto il concetto del trasferimento elettrofisiologico d'informazioni sensoriali da parte del corpo calloso: la stimolazione di un nucleo talamico di relè (come i corpi genicolati laterale o mediale) evoca una risposta elettrica non solo nell'area di ricezione ipsilaterale della corteccia (attraverso le vie talamo-corticali), ma anche nell'area corticale corrispondente dell'altro lato, attraverso la corteccia ipsilaterale e il corpo calloso. Questo risultato, che è stato ottenuto per le cortecce somestesica, visiva, uditiva e associativa con la stimolazione dei relè talamici appropriati (v. Bremer, 1953; v. Bremer e Terzuolo, 1955; v. Bremer e Stoupel, 1956; v. Bremer, *Étude électrophysiologique...*, 1966) indica chiaramente che le informazioni sensoriali che raggiungono la corteccia di un emisfero danno invariabilmente origine a una salva callosale destinata alle aree corticali corrispondenti (e funzionalmente correlate) dell'altro lato. Come vedremo, questo trasferimento elettrofisiologico può avere una considerevole importanza per l'interpretazione degli esperimenti comportamentali sul trasferimento callosale di pratiche apprese. Con l'avvento delle tecniche microelettrodiche e i progressi nell'analisi dei campi recettivi sensoriali di singoli neuroni, il trasferimento elettrofisiologico d'informazioni sensoriali da parte del corpo calloso secondo Bremer è stato fatto oggetto recentemente di numerosi esperimenti in cui si sono utilizzate la stimolazione naturale e la registrazione da unità neuroniche.

Nella sfera visiva, questi esperimenti microfisiologici danno risultati in ottimo accordo con i dati anatomici che indicano una relazione selettiva delle connessioni callosali della corteccia visiva con il meridiano verticale centrale del campo visivo. Il grosso dei dati è stato ottenuto nel gatto, ma ci sono buone ragioni per ritenere che essi valgano complessivamente per molte altre specie di Mammiferi (v. Berlucchi, 1972). In breve: 1)

registrazioni macro e microelettrodiche da una corteccia visiva deafferentata con la sezione del tratto ottico ipsilaterale dimostrano che è ancora possibile suscitare risposte agli stimoli luminosi, a patto che questi stimoli siano presentati vicino alla linea mediana del campo visivo; queste risposte dipendono da una eccitazione convogliata dal corpo calloso, perché spariscono quando si raffredda lo splenio o il punto corticale simmetrico dell'altro lato; inoltre esse sono limitate ad aree corticali di cui si sa per certo che ricevono normalmente afferenze dirette (retino-genicolo-corticali) dalla regione del meridiano verticale del campo visivo (v. Choudhury e altri, 1965; v. Vesbayeva e altri, 1967); 2) singole unità isolate dallo splenio del corpo calloso hanno campi recettivi visivi situati invariabilmente sulla linea mediana verticale del campo visivo generale o nelle sue immediate vicinanze, e le caratteristiche di questi campi recettivi callosali non si distinguono da quelle osservate per i neuroni delle varie suddivisioni della corteccia visiva (aree corticali 17, 18, e 19 e area soprasilviana laterale) (v. Berlucchi e altri, 1967; v. Huhel e Wiesel, 1967; v. Berlucchi, 1972): ciò implica che tutte le suddivisioni citoarchitettoniche della corteccia visiva proiettano al corpo calloso, ma solo con le loro porzioni che hanno a che fare con la rappresentazione della linea mediana verticale del campo visivo; 3) le informazioni visive trasmesse dal corpo calloso convergono con quelle portate dalla via diretta dal genicolato laterale alla corteccia visiva, e ciò dà luogo alla formazione di campi recettivi che stanno a cavallo della linea mediana, che sono formati da una porzione controlaterale dovuta alle afferenze genicolo-corticali e da una ipsilaterale dovuta alle afferenze callosali (v. Berlucchi e Rizzolatti, 1968; v. Berlucchi, 1972); simili convergenze sono state descritte per la corteccia associativa visiva nel giro soprasilviano (v. Dow e Dubner, 1971). In conclusione, queste connessioni callosali della corteccia visiva assicurano un legame fra le rappresentazioni corticali degli emicampi visivi destro e sinistro, aventi sede rispettivamente negli emisferi sinistro e destro. Questo legame può servire sia alla continuità percettiva nello spazio visivo (v. Whitteridge, 1965; v. Berlucchi, 1972) sia per la percezione della profondità lungo il piano mediosagittale (v. Berlucchi, 1972, e gli esperimenti comportamentali descritti più avanti).

Un principio di organizzazione simile sembra valere anche per le connessioni callosali della corteccia motoria e somestesica, stando a quanto indicano lavori eseguiti ancora nel gatto. A. L. Towe e collaboratori (v. Tyner e Towe, 1970; v. Nyquist e Towe, 1970) hanno studiato le influenze interemisferiche sui neuroni nell'area dell'arto anteriore della corteccia pericrucata (motoria). Sulla base delle loro proprietà di risposta, questi neuroni possono essere divisi in tre gruppi. I neuroni sb rispondono alla stimolazione elettrica o naturale (tattile) di un'area ben definita nell'arto anteriore controlaterale; questi neuroni non rispondono alla stimolazione elettrica dell'area corticale simmetrica dell'altro lato, e le loro proprietà di risposta non sono influenzate dalla ablazione della corteccia motoria e somestesica controlaterale. I neuroni sb rispondono alla stimolazione elettrica di entrambi gli arti anteriori, e i loro campi recettivi mappati con la stimolazione naturale hanno la forma di un pullover, dato che includono entrambi gli arti anteriori e si estendono su

entrambi i lati della linea mediana della parte superiore del tronco. Questi neuroni rispondono, e con brevi latenze, alla stimolazione corticale controlaterale, e la loro risposta alla stimolazione elettrica della zampa anteriore ipsilaterale va persa dopo ablazione della corteccia motoria e somestesica controlaterale; non sappiamo se la parte ipsilaterale del campo recettivo a forma di pullover scompare ugualmente in queste condizioni, ma che ciò avvenga è assai probabile. I neuroni m, moltissimi dei quali sono tributari del tratto piramidale, rispondono a stimoli elettrici applicati a quasi tutti i punti della superficie cutanea. Essi rispondono anche alla stimolazione corticale controlaterale, anche se con latenze più lunghe rispetto ai neuroni sb, ma non perdono interamente la loro reattività alla stimolazione elettrica delle zampe ipsilaterali dopo ablazione della corteccia motoria e somestesica controlaterale; tale reattività è semplicemente ridotta, o ristretta a uno solo degli arti ipsilaterali (v. Tyner e Towe, 1970; v. Nyquist e Towe, 1970). Sembra che i neuroni sb manchino nella prima area somatosensitiva (S I), ma ve ne sono molti nella seconda area somatosensitiva (S II) (v. Morse e Vargo, 1970); secondo recenti risultati di D. L. Robinson e R. W. Doty (v., 1972), il corpo calloso sarebbe essenziale per fornire le afferenze ipsilaterali a questi neuroni. Riassumendo, i neuroni sb dell'area motoria e dell'area S II riceverebbero afferenze da un campo recettivo controlaterale attraverso il nucleo talamico di relè ipsilaterale, probabilmente da vie lemniscali, e afferenze combacianti da un campo recettivo ipsilaterale attraverso la corteccia controlaterale e il corpo calloso: come nel sistema visivo (v. sopra) il risultato è un campo recettivo totale che si estende da entrambi i lati della linea mediana. I neuroni m sono presenti sia nell'area S I che in quella S II (v. Innocenti e altri, 1972); essi riceverebbero afferenze periferiche bilaterali dal talamo (possibilmente in relazione a vie extralemniscali) e le loro afferenze callosali rinforzerebbero semplicemente le afferenze periferiche ipsilaterali dal talamo (v. Nyquist e Towe, 1970; v. Innocenti e altri, 1972).

Considerazioni anatomiche (v. sopra, cap. 2, § b) suggeriscono che un piano d'interconnessioni callosali simile a quello della corteccia visiva e somestesica possa esistere anche nella corteccia uditiva; non vi sono tuttavia esperimenti fisiologici indicanti che le connessioni callosali abbiano un ruolo nell'integrazione sensoriale attraverso la linea mediana dello spazio uditivo. Altre possibili funzioni di queste connessioni saranno discusse nel paragrafo sugli esperimenti comportamentali.

Abbiamo qualche informazione sulla possibilità che il corpo calloso causi o moduli scariche corticifughe. Lavori precedenti avevano dimostrato che scariche lungo il tratto piramidale (v. Purpura e Girado, 1959) e lungo la via discendente dalla corteccia visiva al corpo genicolato laterale (v. Ajmone Marsan e Morillo, 1961) possono essere messe in moto da salve transcommissurali dirette rispettivamente alla corteccia sensomotoria e visiva. In gatti anestetizzati con cloralosio, scariche nel tratto piramidale ipsilaterale possono essere causate da attività callosali prodotte dalla stimolazione tattile unilaterale; i neuroni del tratto piramidale implicati in questa risposta sono soprattutto i neuroni del tessuto precruciato, che hanno una connessione

abbastanza diretta con i motoneuroni spinali (v. sopra; v. sistema piramidale; v. Patton e altri, 1962; v. Towe e altri, 1969; v. Nyquist e Towe, 1970). Questa attivazione callosale dei neuroni precruciati del tratto piramidale permetterebbe una pronta attivazione bilaterale della muscolatura degli arti alla stimolazione tattile unilaterale. Al contrario, è molto modesta l'influenza callosale sui neuroni del tratto piramidale situati nel tessuto postcruciato, che proiettano agli interneuroni sensoriali nel midollo spinale e probabilmente controllano le afferenze del lato del corpo da cui ricevono informazioni sensitive dirette (v. Nyquist e Towe, 1970; v. sistema piramidale). Alcuni dei circuiti interemisferici non callosali che possono servire all'attivazione bilaterale del tratto piramidale sono stati descritti, sia per il gatto (v. Patton e altri, 1962; v. Eidelberg, 1969) sia per la scimmia (v. Eidelberg, 1969). I dettagli dell'organizzazione delle afferenze callosali ai neuroni del tratto piramidale nel gatto sono stati studiati con metodi intracellulari. In breve: 1) i neuroni del tratto piramidale sono eccitati da neuroni callosali situati in una piccola area nel punto esattamente omologo dell'emisfero opposto, e inibiti da neuroni callosali situati in un'area corticale più estesa, concentrica all'area eccitatoria (v. Asanuma e Okuda, 1962); 2) i grandi neuroni del tratto piramidale (neuroni 'rapidi') ricevono grandi fibre callosali con alta velocità di conduzione, e i piccoli neuroni del tratto piramidale (neuroni 'lenti') ricevono piccole fibre callosali, con bassa velocità di conduzione (v. Nakamura e altri, 1971 v. Naito e altri, 1971); 2) i neuroni del tratto piramidale sono eccitati monosinapticamente e inibiti disinapticamente dalle fibre callosali: le sinapsi inibitorie stanno sul corpo cellulare o sul tronco dendritico, le sinapsi eccitatorie stanno sul tronco dendritico o su arborizzazioni dendritiche più distali (v. Nakamura e altri, 1971).

Simili studi intracellulari sulla corteccia visiva del gatto (aree 17 e 18) hanno dimostrato che: a) le cellule che proiettano al calloso sono situate principalmente nel III strato corticale, in contrasto alle cellule che proiettano al collicolo superiore e al corpo genicolato laterale, che stanno prevalentemente nel V strato corticale; b) le fibre callosali sono in relazione sinaptica con cellule che danno origine a fibre d'associazione intercorticale; c) gli effetti postsinaptici prodotti in queste cellule dalla stimolazione della corteccia visiva controlaterale o del calloso sono eccitazione monosinaptica e inibizione disinaptica (v. Toyama, Tokashiki e Matsunami, 1969; v. Toyama, Matsunami e Ohno, 1969).

4. Esperimenti neurocomportamentali sulle comunicazioni interemisferiche

Molto di ciò che sappiamo sulle comunicazioni interemisferiche proviene dai cosiddetti esperimenti sul 'cervello bisecato'. Questi esperimenti, che sono stati eseguiti in molti animali, incluso l'uomo, richiedono la sezione chirurgica di tutte le connessioni interemisferiche o di parte di esse. Prima di descrivere questi esperimenti, è necessario chiarire che le vecchie descrizioni di gravi deficit di senso, di moto e comportamentali, prodotti negli animali dalla commissurotomia telencefalica (v. Mingazzini, 1922; v. Bremer

e altri, 1956), possono essere ignorate per il fatto che tutti questi deficit erano stati causati da danni extracommissurali involontariamente inferti durante l'operazione di commissurotomia. La sezione delle commissure cerebrali produce effettivamente disturbi importanti e specifici, ma di solito questi disturbi non si manifestano nel comportamento ordinario e devono essere portati alla luce da esami specializzati.

a) Esperimenti sugli animali con cervello bisecato

Il piano di base di questi esperimenti è il seguente: una risposta viene condizionata con la stimolazione di una via di senso che proietta esclusivamente a un emisfero; si esamina poi la ritenzione della risposta applicando lo stesso stimolo alla via di senso corrispondente che va all'altro emisfero. Se il trasferimento è presente, l'importanza dei sistemi commissurali per la mutuazione interemisferica della risposta viene esaminata eseguendo lo stesso esperimento in animali previamente operati di commissurotomia parziale o completa. La letteratura su questi esperimenti, a partire dallo studio precursore di Bykoff nel 1924, è cresciuta fino a diventare un enorme corpo di nozioni che, sebbene non sia affatto libero da contraddizioni, favorisce chiaramente l'ipotesi secondo la quale le commissure telencefaliche giuocano un ruolo cruciale nel trasferimento interemisferico dell'esperienza e della pratica uniemisferiche. I risultati più importanti saranno descritti in relazione alle differenti modalità di senso.

Nella visione, gli esperimenti paradigmatici sono stati eseguiti sul gatto da R. E. Myers (v., 1956) nel laboratorio di R. W. Sperry. Nel gatto, come nei Mammiferi superiori, i nervi ottici s'incrociano solo in parte, cosicché ciascuna retina proietta ad entrambi gli emisferi. Tuttavia, le fibre ottiche crociate possono essere interrotte sezionando il chiasma ottico lungo la linea mediana, limitando così le afferenze visive da ciascun occhio all'emisfero ipsilaterale. Il gatto con 'chiasma bisecato' può essere addestrato ad eseguire una discriminazione di forme visive (per es. a scegliere una croce o un cerchio) con un occhio coperto da una maschera di gomma, e poi sottoposto a un esame di trasferimento interoculare spostando la maschera dall'occhio non allenato o inesperto a quello allenato o esperto. Anche se la prestazione con l'occhio inesperto spesso non raggiunge immediatamente il livello finale ottenuto con l'altro occhio, il gatto con chiasma sezionato presenta sempre un buon trasferimento interoculare della capacità discriminativa specifica.

L'esperienza acquisita attraverso l'occhio allenato e l'emisfero corrispondente deve essere messa in qualche modo a disposizione della coppia occhio-emisfero dell'altro lato, e poiché le vie retino-cerebrali dei due lati sono completamente separate alla periferia, lo scambio d'informazioni necessario per il buon esito nelle prove di trasferimento interoculare deve aver luogo a un livello centrale, interemisferico. La struttura necessaria e sufficiente per questo trasferimento interemisferico fu identificata da Myers (v., 1956) ripetendo lo stesso esperimento in gatti che erano stati previamente sottoposti a una sezione combinata del chiasma ottico e del corpo calloso. Quando furono esaminati nella prova di trasferimento interoculare, questi gatti con cervello

bisecato dimostrarono di essere incapaci di eseguire con l'occhio inesperto la risposta discriminativa acquisita attraverso l'altro occhio (v. Myers, 1956). Ovviamente essi potevano essere riaddestrati, e il riapprendimento attraverso il secondo occhio richiedeva approssimativamente lo stesso numero di prove che erano state necessarie per l'apprendimento originario con il primo occhio (v. Sperry e altri, 1956). In altre parole, sembra che l'apprendimento visivo monoculare nel gatto con il cervello bisecato avvenga solo nell'emisfero connesso con l'occhio che vede, e che l'altro emisfero non riceva alcuna informazione sul processo d'apprendimento. In uno studio successivo Myers (v., 1959) riuscì a dimostrare che basta sezionare la parte caudale (spleniale) del corpo calloso per bloccare il trasferimento interoculare di discriminazione di forme apprese monocolarmente da gatti con chiasma sezionato. Una sezione dei due terzi anteriori del calloso che lasci intatto lo splenio non interferisce con il trasferimento interoculare. Esperimenti simili eseguiti in macachi (v. i contributi di Sperry, 1961; v. Downer, 1962) e in scimpanzé (v. Black e Myers, 1964) hanno dato risultati in buon accordo con quelli ottenuti nel gatto. L'unica differenza di rilievo fra gatto e Primati consiste nel fatto che non solo lo splenio, ma anche la commissura anteriore devono essere tagliati, sia nello scimpanzé (v. Black e Myers, 1964) sia nel macaco (v. Noble, 1968) al fine d'abolire il trasferimento interemisferico di discriminazione di forme. È possibile che l'importanza della commissura anteriore per il trasferimento interemisferico dell'apprendimento visivo nei Primati dipenda dal grande numero di fibre neocorticali che si incrociano in questa commissura e interconnettono aree temporali importanti per la visione. L'indipendenza dei due emisferi separati dei gatti e dei Primati con cervello bisecato nell'apprendimento visivo è brillantemente dimostrata da esperimenti in cui questi animali apprendono, in sequenze (v. Myers, *Transmission of visual...*, 1962, gatto) o simultaneamente (v. Trevarthen, 1962, scimmia), discriminazioni opposte con i due occhi. Per esempio, un gatto o una scimmia con cervello bisecato possono imparare, senza apparenti segni di conflitto, ad avvicinarsi a una croce e a evitare un cerchio quando usano l'occhio destro, e a fare esattamente l'opposto quando usano l'occhio sinistro. Non c'è bisogno di dire che animali normali o anche con il chiasma sezionato, esaminati nello stesso modo, non riescono ad adattarsi alla situazione conflittuale in quanto tendono a rispondere nello stesso modo indipendentemente da quale occhio impieghino (v. Myers, *Transmission of visual...*, 1962).

Si dovrebbe ricordare a questo punto che dopo sezione delle commissure telencefaliche, i due emisferi cerebrali potrebbero ancora scambiarsi informazioni visive usando le molte altre vie di comunicazione che sono state già menzionate sopra (v. cap. 2, § a). Tutte le prove sopra descritte indicanti una completa separazione funzionale degli emisferi cerebrali in gatti e Primati con cervello bisecato si riferiscono all'apprendimento di discriminazioni di forme visive. Il problema è ora quello di vedere se altre classi di discriminazioni visive (luminanza, colore ecc.) possano essere trasferite fra gli emisferi anche senza le commissure telencefaliche. Parecchi esperimenti sono stati condotti al fine di chiarire questo punto; per semplificazione, i risultati sono riassunti nella tab. I. Nonostante parecchie contraddizioni, il consuntivo dei

dati sembra appoggiare l'idea che, al contrario delle discriminazioni di forme, le discriminazioni basate sulla luminanza o sul colore possono essere trasferite fra gli emisferi attraverso interconnessioni diencefaliche o mesencefaliche. Questa nozione è spesso usata per rinforzare le idee tradizionali neurologiche che localizzano la visione delle forme nella corteccia e la percezione del flusso luminoso in centri sottocorticali, ma questa generalizzazione si espone a varie critiche. La presenza e l'assenza del trasferimento interemisferico dell'apprendimento visivo di animali con cervello bisecato dipendono non solo dalla natura della discriminazione visiva in esame, ma anche dalla sua difficoltà, da variabili relative all'addestramento e alla motivazione, dall'età e dalla predisposizione dell'animale, e così via (v. Ettliger e Blakemore, 1969). Per esempio, Sechzer (v., 1964) ha dimostrato che il trasferimento interoculare di una discriminazione di forme non avveniva in gatti con sezione del chiasma e del corpo calloso se la motivazione per risolvere il problema era costituita da un premio in cibo, come negli esperimenti originari di Myers (v., 1956; v. sopra); se invece la motivazione consisteva nell'evitare una scossa, il trasferimento interoculare era positivo. Analogamente, in una variante degli esperimenti sul cervello bisecato, R. J. Oavalas e R. W. Sperry (v., 1969) hanno osservato che scimmie con sezione del chiasma e delle commissure telencefaliche potevano eseguire una discriminazione fra due forme presentate separatamente, ma nello stesso tempo, ai due occhi. Questa capacità sembra invece mancare nel gatto con cervello bisecato (v. Robinson e Voneida, 1970). Questi esperimenti suggeriscono che, date le giuste condizioni, anche le informazioni relative alla forma possono essere trasmesse attraverso la linea mediana a livelli sottocorticali. D'altra parte, alcuni dei dati presentati nella tab. I indicano chiaramente che in altre circostanze la commissurotomia telencefalica può impedire il trasferimento di discriminazioni visive non basate sulla forma, così come blocca il trasferimento di discriminazioni di forme. Sembra perciò prematuro cercare di stabilire una corrispondenza definita fra il trasferimento interemisferico di differenti discriminazioni visive e i vari livelli delle connessioni commissurali (v. Trevarthen, 1970).

Tabella 1

Il trasferimento interoculare e interemisferico è stato esaminato anche in Mammiferi inferiori, come il ratto (v. Sheridan, 1965), il coniglio (v. Van Hof, 1970) e la cavia (v. Levinson, 1972). In queste specie non si è cercato di produrre chirurgicamente una lateralizzazione delle afferenze visive, perché le vie ottiche sono già quasi interamente crociate. Risultati in accordo con quelli precedentemente ottenuti in gatti e scimmie con cervello bisecato sono stati descritti per i ratti albini (v. Sheridan, 1965) e le cavie (v. Levinson, 1972): il trasferimento interoculare di discriminazioni apprese con un occhio è gravemente disturbato dalla sezione del corpo calloso. Al contrario, i ratti con il pelo cefalico pigmentato presentano un buon trasferimento interoculare anche dopo callosotomia: ciò è dovuto con ogni probabilità al fatto che questi animali hanno un contingente di fibre ottiche

non crociate più numerosi rispetto ai ratti albini, cosicché con la stimolazione monoculare si ha sempre un invio d'informazioni visive a entrambi gli emisferi (v. Sheridan, 1965; v. Levinson, 1972). Un trasferimento interoculare molto deficiente è stato osservato nel coniglio normale (v. Van Hof, 1970); le ragioni di queste differenze tra le specie non sono chiare.

Una brillante tecnica per lo studio del trasferimento interemisferico dell'apprendimento visivo nel ratto è stata realizzata da Bureš e collaboratori (v. Bureš e Burešová, 1960; v. Burešová e Bureš, 1969), che sostengono i vantaggi del preparato cervello bisecato reversibile rispetto al preparato cervello bisecato chirurgico. In breve, le attività nervose in un emisfero vengono bloccate temporaneamente dall'applicazione locale di KCl (depressione propagata), mentre il ratto apprende a fare una discriminazione con l'altro emisfero.

Successivamente, la ritenzione della discriminazione viene esaminata quando l'emisfero previamente depresso è ritornato normale, e l'emisfero previamente normale è a sua volta sottoposto alla depressione propagata. La ritenzione da parte di quest'ultimo emisfero può poi essere ancora esaminata permettendone il recupero e spostando la depressione propagata di nuovo all'altro emisfero. I risultati di queste prove indicano che, almeno per quanto riguarda i compiti difficili, la capacità di discriminare è presente solo quando l'emisfero usato durante l'apprendimento originario funziona normalmente. L'emisfero inizialmente depresso è ovviamente in grado di apprendere la discriminazione, ma lo fa dimostrando di non aver tratto alcun vantaggio dall'esperienza dell'altro emisfero. Quindi, il preparato cervello bisecato reversibile mostra un'indipendenza dei due emisferi nell'apprendimento visivo simile a quello del preparato cervello bisecato chirurgico.

Una rassegna degli esperimenti sul trasferimento interoculare nei Pesci e negli Uccelli è stata recentemente pubblicata da M. Cuénod (v., 1972). Questi animali hanno vie ottiche completamente crociate e non hanno il corpo calloso: è perciò interessante conoscere per qual via il trasferimento oculare, quando sia presente, possa avvenire. Vi sono certe limitazioni al trasferimento interoculare di discriminazioni visive, dovute probabilmente alla natura degli stimoli (v. Sperry e Clark, 1949; v. Schulte, 1957), alla loro posizione nel campo visivo (v. Levine, 1945; v. Ingie, 1968) e a variabili relative all'addestramento e ai metodi d'esame (v. Mc Cleary, 1960). Tuttavia, in condizioni sperimentali appropriate, si dimostra che il trasferimento interoculare di varie discriminazioni visive è presente; esso viene abolito dalla sezione delle commissure sopraottiche negli Uccelli, come, per es., nel piccione (v. Cuénod e Zeier, 1967; v. Meier, 1971), e della commissura intertettale nei Pesci (v. Mark, 1966).

Gli esperimenti sul cervello bisecato e la visione sono ormai innumerevoli e per limiti di spazio è impossibile presentarne una rassegna anche superficiale. È tuttavia interessante discutere i problemi sollevati da alcuni di questi esperimenti, sia perché essi interessano la ricerca sul cervello bisecato in genere, sia in vista d'importanti sviluppi futuri nello studio delle comunicazioni interemisferiche.

Risulta chiaramente da molti degli studi sopra descritti che nell'animale normale le commissure telencefaliche devono in qualche modo permettere ai due emisferi di scambiarsi informazioni visive inizialmente raccolte da uno solo di essi. La prima domanda che si presenta riguarda la seguente alternativa: 1) l'emisfero che riceve direttamente l'informazione visiva ne manda immediatamente un duplicato all'altro emisfero, in modo che l'apprendimento basato su tale informazione procede in parallelo nei due emisferi, e ciascuno di essi forma una traccia mnemonica (engramma) propria; oppure, 2) l'engramma si stampa solo nell'emisfero direttamente stimolato e le commissure telencefaliche lo mettono semplicemente a disposizione dell'emisfero opposto quando le informazioni visive appropriate sono inviate all'altro lato. Espressa in altre parole, la domanda è: il trasferimento d'informazioni visive da parte delle commissure telencefaliche è di natura esclusivamente sensoriale, con conseguente engramma bilaterale, o di natura esclusivamente mnemonica, in relazione con un engramma unilaterale? Non si può dare una risposta definitiva a questa domanda. La fisiologia dimostra che il corpo calloso comunica informazioni visive dirette (v. sopra, cap. 3, § b), ma sembra improbabile che il trasferimento interemisferico della pratica visiva studiato negli esperimenti sul cervello bisecato dipenda da questo scambio d'informazioni visive (v. Berlucchi, 1972). Gli esperimenti neurocomportamentali forniscono prove in favore d'entrambe le ipotesi: in certe condizioni, è del tutto chiaro che afferenze visive lateralizzate portano alla formazione sia di un engramma diretto nell'emisfero bersaglio, sia, attraverso le commissure telencefaliche, di un engramma indiretto nell'emisfero opposto (e l'engramma indiretto è in genere più debole di quello diretto) (v., ad es., Myers, *Transmission of visual...*, 1962; v. Gazzaniga, 1966; v. Butler, 1968). D'altra parte, risultati che fanno pensare ad engrammi unilaterali sono stati ottenuti in esperimenti in cui le variabili critiche erano probabilmente la difficoltà della discriminazione (v. Myers e Sperry, 1958; v. Myers, *Transmission of visual...*, 1962) e l'esperienza precedente dell'animale (v. Gazzaniga, 1966). L'unilateralità degli engrammi è la regola nel preparato cervello bisecato reversibile (v. sopra). Un nuovo approccio che dimostra la possibilità di lateralizzare gli engrammi a un emisfero è stato proposto da Doty e Negrão nella scimmia (v., 1973). La commissura anteriore e il corpo calloso, salvo lo splenio, vengono tagliati e un laccio viene posto attorno allo splenio intatto. La scimmia viene poi addestrata a premere una leva quando si stimola selettivamente la corteccia visiva (area striata) di un lato. Dopo che l'animale ha appreso, si può dimostrare che la risposta condizionata è suscitata anche dalla stimolazione del punto corrispondente nella corteccia visiva opposta. Tuttavia, se il laccio attorno allo splenio viene tirato, completando così la callosotomia, la risposta alla stimolazione della corteccia visiva non allenata sparisce, mentre la stimolazione della corteccia visiva allenata continua a produrre con la stessa efficacia di prima la risposta condizionata. Questo risultato sta chiaramente in favore dell'idea che, almeno in queste condizioni sperimentali, l'engramma è unilaterale, e lo splenio è necessario per renderlo accessibile all'emisfero controlaterale. Quando la commissura anteriore è intatta, e il calloso completamente sezionato, sembra invece che si stabiliscano engrammi bilaterali; se si tira il

laccio attorno alla commissura anteriore la risposta alla stimolazione della corteccia non allenata non viene abolita, ma si può dimostrare, con un procedimento di estinzione, che l'engramma in questa corteccia è molto più debole di quello nella corteccia allenata (v. Doty e Negrão, 1973).

Varie domande possono essere poste in relazione agli aspetti anatomici del trasferimento interemisferico della pratica visiva. Quali sono le aree corticali implicate nel trasferimento commissurale d'informazioni, sia esso sensoriale o mnemonico, che è necessario perché l'esperienza visiva acquisita tramite un solo emisfero sia a disposizione di entrambi gli emisferi? N. Geschwind (v., 1965) ha esaminato in una rassegna vecchi e nuovi studi sulle disconnessioni corticali nell'uomo e negli animali, giungendo alla conclusione che le connessioni anatomiche fra la corteccia visiva e le strutture limbiche e temporali sono essenziali per la percezione, per l'apprendimento e per la memoria visiva. M. Mishkin (v., 1966), J. A. Horel e E. G. Keating (v., 1969) hanno dimostrato che, dopo lesione del lobo occipitale in un emisfero e del lobo temporale nell'altro, l'integrità del corpo calloso diventa critica per le discriminazioni visive, per il riconoscimento degli oggetti e per il comportamento di paura in risposta a stimoli visivi. Per spiegare questi risultati, Mishkin (v., 1966 e 1972) ha proposto l'ipotesi che l'informazione visiva sia trasmessa dall'area striata alla corteccia prestriata ipsilaterale, e dalla corteccia prestriata venga inviata sia alla corteccia ipsilaterale inferotemporale, sia, attraverso il corpo calloso, alla corteccia prestriata controlaterale. L'idea che questa stessa via sia usata per la trasmissione interemisferica dell'esperienza visiva è molto interessante, e vi è qualche prova diretta in favore d'essa (v. Zeki, 1967). Nel gatto con chiasma sezionato, lesioni che distruggono le porzioni delle aree corticali visive 17, 18 e 19, che rappresentano le parti del campo visivo in prossimità del meridiano verticale centrale (v. sopra, cap. 3, § b), non interferiscono con il trasferimento interoculare di discriminazioni apprese con un solo occhio. Sembrerebbe perciò che questo trasferimento venga effettuato da altre aree corticali connesse attraverso il corpo calloso (v. Berlucchi, 1972).

Sperry (v., per es., *Some developments...*, 1961) ha ripetutamente suggerito l'uso dei preparati con cervello bisecato per lo studio degli effetti delle lesioni cerebrali sull'apprendimento, sia nella modalità visiva che in altre modalità. Poiché l'apprendimento visivo può svolgersi indipendentemente nei due emisferi dell'animale con cervello bisecato, un emisfero può essere sottoposto a lesioni sperimentali che si suppone interferiscano con la visione, e le sue capacità visive possono essere poi paragonate a quelle dell'emisfero intatto. In questi esperimenti lo stesso animale funge sia da soggetto sperimentale che da controllo, a seconda dell'emisfero che si esamina. L'utilità di questo interessante approccio è stata ripetutamente dimostrata (v., ad es., Sperry e altri, 1960; v. Barrett, 1969; v. Berlucchi e altri, 1972).

Per quanto riguarda la somatoestesia e la coordinazione sensorio-motoria, si considera che l'era della ricerca sul cervello bisecato sia iniziata con il famoso esperimento fatto da K. Bykoff (1924) nel laboratorio di P. Pavlov. Si sapeva che cani condizionati a secernere saliva in risposta alla stimolazione tattile di un punto

particolare della superficie di un lato del corpo presentavano una perfetta generalizzazione della risposta alla stimolazione del punto corrispondente dell'altro lato del corpo (v. Pavlov, 1927). Bykoff (v., 1924) dimostrò che a seguito della sezione del corpo calloso questa generalizzazione controlaterale era assente, e che riflessi indipendenti potevano essere instaurati con stimoli uguali applicati ai due lati del corpo. Vari anni dopo, le osservazioni di Bykoff furono ripetute da J. S. Stamm e R. W. Sperry (v., 1957) e da T. H. Meikle jr., J. A. Sechzer e E. Stellar (v., 1962) in una specie differente (gatto) e usando un diverso procedimento di condizionamento (strumentale anziché classico). L'abolizione del trasferimento intermanuale dell'apprendimento unimanuale di varie classi di discriminazioni somestesiche è stata osservata anche in Primati commissurotomizzati. Tuttavia, è stato anche riferito che in alcuni casi il trasferimento può persistere. Poiché si sa che in aggiunta alla componente controlaterale, molto più cospicua, vi è anche una piccola proiezione ipsilaterale a ciascun emisfero, è probabile che il trasferimento intermanuale positivo osservato negli animali commissurotomizzati dipenda dalla possibilità che i segnali sensitivi raggiungano entrambi gli emisferi durante l'addestramento, anziché da uno scambio interemisferico d'informazioni che avvenga a livello sottocorticale (v. Ettunger e Blakemore, 1969; v. Gazzaniga, 1970). Non è chiaro comunque perché le afferenze periferiche ipsilaterali debbano essere utilizzate in certi casi e non in altri. A ogni modo, non v'è dubbio che l'apprendimento somestesico può spesso procedere indipendentemente negli emisferi sconnessi dell'animale con cervello bisecato. H. Teitelbaum, S. K. Sharpless e R. Byck (v., 1968) hanno descritto che l'ablazione della seconda area somatosensitiva (S II) nel gatto non abolisce l'apprendimento d'una discriminazione tattile-cinestesica con la zampa controlaterale, ma abolisce il trasferimento della discriminazione alla zampa corrispondente dell'altro lato. È quindi probabile che i neuroni dell'area S II con campi recettivi bilaterali (v. sopra, cap. 3, § b) siano un substrato critico per il trasferimento interemisferico dell'esperienza tattile. Il curioso conflitto fra i dati anatomici che dimostrano l'assenza di connessioni callosali fra le porzioni dell'area SI e S II che rappresentano la mano e il piede (v. sopra, cap. 2, § b) e i dati comportamentali che indicano che il trasferimento intermanuale e interpedale dipende dal corpo calloso, è stato esaminato in dettaglio da C. R. Butler e A. C. Francis (v., 1973). I loro esperimenti indicano che quando l'informazione tattile è rigorosamente limitata alle dita, il trasferimento intermanuale è assente perfino nella scimmia normale! Forse i trasferimenti positivi osservati nei precedenti esperimenti dipendevano da informazioni somestesiche provenienti dalle parti prossimali nell'arto usato nell'apprendimento. Considerando ora la coordinazione motoria, sembra che, se si eccettuano quelle risposte motorie complesse che vengono apprese sulla base d'informazioni tattili e cinestesiche con un arto e non sono trasferite all'altro arto, sia nel gatto con cervello bisecato (premere un pedale; v. i contributi di Sperry, 1961), che nei Primati con cervello bisecato (aprire un chiavistello alla cieca; v. Myers e Henson, 1960; v. Kohn e Myers, 1969), afferenze sensitive limitate a un emisfero possono evocare attività motorie egualmente efficienti nei due lati

del corpo (v. Gazzaniga, 1970). In generale, una scimmia con cervello bisecato e un occhio coperto non ha alcuna difficoltà a usare entrambe le mani per prendere del cibo. Eppure, la combinazione occhio-mano dello stesso lato dovrebbe almeno in principio chiamare in causa la corteccia visiva di un emisfero e la corteccia motoria dell'altro (v. Downer, 1959; v. Lehman, 1968). Gazzaniga (v., 1970) ha escluso la possibilità che interazioni a livello del tronco dell'encefalo possano mediare la prensione controllata dalla visione, dimostrando che bisecando il cervello non si altera questo aspetto del comportamento. È chiaro che possono essere in gioco vie motorie ipsilaterali, ma secondo Gazzaniga queste sono solo una parte del meccanismo. Nelle prove di prensione guidate dall'occhio ipsilaterale alla mano impiegata, l'emisfero veggente della scimmia con cervello bisecato potrebbe semplicemente dare un suggerimento all'altro emisfero, che controlla la mano impegnata nella risposta, dirigendo la testa e gli occhi verso il bersaglio. Le afferenze propriocettive della testa e degli occhi, in larga misura bilaterali, possono poi guidare l'emisfero cieco nel dirigere esattamente la mano verso la mira. Gazzaniga ha portato prove sperimentali in favore di questa teoria, dimostrando che l'immobilizzazione della testa ostacola notevolmente la capacità della scimmia con cervello bisecato di usare la mano ipsilaterale all'occhio che vede per compiere un movimento piuttosto complesso indirizzato dalla visione. Altri esempi di questi suggerimenti periferici verranno discussi nella descrizione del comportamento di soggetti umani con cervello bisecato (v. sotto, § b). Un uso corretto delle due mani sotto controllo visivo è stato osservato anche in scimmie con cervello bisecato che hanno un prisma che deflette la luce davanti a un occhio e l'altro occhio coperto, a patto che all'animale venga permesso di usare entrambe le mani nel periodo iniziale di adattamento motorio alla distorsione delle afferenze visive. In questi animali, il trasferimento intermanuale dell'adattamento motorio a una mano senza esperienza non avviene mai, mentre il trasferimento interoculare è sempre positivo. Ciò starebbe a indicare che l'adattamento motorio alla distorsione delle afferenze visive implica aggiustamenti sul versante motorio-proprio-cettivo anziché sul versante visivo (v. Hamilton, 1967). Un altro importante problema nella integrazione motoria bilaterale nei Primati con cervello bisecato è la coordinazione dell'attività bimanuale nella manipolazione di oggetti e in altri atti motori fini. Sebbene si possa osservare qualche deficit subito dopo l'operazione di bisezione cerebrale (v. Trevarthen, 1965), la regola è che scimmie con cervello bisecato non differiscono apprezzabilmente da questo punto di vista da controlli normali (v. Mark e Sperry, 1968). La rappresentazione somestesica e il controllo motorio ipsilaterale, e la strategia dei suggerimenti crociati di Gazzaniga sono tutti fattori che possono concorrere, in diverse misure, a rendere possibile la persistenza di una buona coordinazione bimanuale dopo la bisezione cerebrale.

Le informazioni sul ruolo delle commissure telencefaliche nell'olfatto e nell'udito sono piuttosto scarse. H. Teitelbaum (v., 1971) ha dimostrato nel ratto che discriminazioni olfattive apprese con una narice non vengono trasferite all'altra narice se la commissura anteriore viene tagliata prima dell'apprendimento. Riguardo

all'udito, l'affermazione di Pavlov (v., 1927) che cani condizionati a rispondere differenzialmente a suoni provenienti dalla destra o dalla sinistra perdono questa capacità dopo callosotomia non è stata confermata (v. Neff, 1961). Un ostacolo anatomico all'applicazione della tecnica del cervello bisecato al sistema uditivo è costituito dall'ampia rappresentazione di ciascuna coclea in entrambi gli emisferi: questa rappresentazione bilaterale, con una certa predominanza delle connessioni crociate, è dovuta ai molti parziali incrociamenti delle vie uditive ai livelli sottocorticali. È praticamente impossibile eliminare chirurgicamente la rappresentazione bilaterale delle coclee negli emisferi. Le ipotesi sulle attività commissurali nell'udito sono state descritte in una rassegna di J. O. Wegener (v., 1965). Più recentemente, J. Kaas, S. Axelrod e I. T. Diamond (v., 1967) hanno descritto risultati che indicano che il corpo calloso può giocare un ruolo insospettato nella percezione uditiva. Alcuni gatti venivano allenati a rispondere usando un orecchio a un cambio di frequenza tonale, non prestando attenzione a simili cambi di frequenza presentati simultaneamente all'altro orecchio. L'ablazione della corteccia uditiva controlaterale all'orecchio 'attento' portava alla perdita della capacità di eseguire il compito, mentre non v'erano deficit dopo ablazione della corteccia uditiva ipsilaterale allo stesso orecchio. Questo risultato suggerisce che l'engramma era lateralizzato in un emisfero. Tuttavia, se il corpo calloso veniva sezionato prima dell'apprendimento, la capacità di risolvere il problema persisteva dopo ablazione della corteccia uditiva controlaterale all'orecchio 'attento'. In questi esperimenti, il corpo calloso era perciò necessario per mantenere l'engramma localizzato in un emisfero, del tutto in contrasto con gli esperimenti sulla visione, sulla somatoestesia e sull'olfatto di cui abbiamo già detto e con i quali si è dimostrato che il corpo calloso è necessario per permettere l'uso dell'engramma da parte d'entrambi gli emisferi. Resta da vedere se questa funzione restrittiva del corpo calloso possa valere anche per altre modalità quando le afferenze sensoriali vengono dirette a entrambi gli emisferi.

b) Esperimenti su soggetti umani con cervello bisecato

In alcuni casi della patologia umana il corpo calloso non si sviluppa nel corso dell'ontogenesi del sistema nervoso (agenesia callosale), mentre in altri casi un corpo calloso che si è sviluppato normalmente viene distrutto nel corso della vita da processi degenerativi o tumorali. Inoltre, il neurochirurgo deve talvolta tagliare un corpo calloso normale o per poter accedere a formazioni patologiche sottostanti (cisti, tumori e così via) che devono essere rimosse, o per alleviare il decorso di epilessie altrimenti incurabili, interrompendo una delle più importanti vie per la propagazione intracerebrale di attività nervose abnormi (v. sopra, cap. 3, § a). È perciò possibile studiare le funzioni callosali nell'uomo esaminando questi vari tipi di soggetti acallosali. Fino a pochi anni fa, il quadro generale era del tutto oscuro, ma recentemente, grazie ai suggerimenti forniti dalla sperimentazione sugli animali, molte lacune nella nostra conoscenza delle attività interemisferiche nell'uomo

sono state colmate e molte delle precedenti contraddizioni in quest'area sono state risolte. Un breve resoconto storico faciliterà forse la descrizione dello stato attuale delle conoscenze in questo campo di ricerca.

Nel 1922 G. Mingazzini riassunse in un'ampia monografia una varietà di studi anatomici, fisiologici e clinici sulle funzioni del corpo calloso. Sulla base dei dati in suo possesso, Mingazzini ritenne di poter concludere che il corpo calloso ha un ruolo essenziale nelle attività della mente e che, nel cervello umano, questa struttura è indispensabile per la coordinazione dell'emisfero sinistro, dominante, e dell'emisfero destro, subordinato, nel linguaggio e nella prassi. Aderendo strettamente alla concezione dei *Leitungsstörungen* di Liepmann e Déjerine, egli tentò perfino di suddividere, in termini anatomofunzionali, il corpo calloso in una parte anteriore, o *portio verbalis*, una parte intermedia, *portio praxica*, e una parte posteriore, *portio gnostica*. Circa venti anni dopo, una lunga serie di ricerche di A. J. Akelaitis e collaboratori (v. Akelaitis, 1944; v. Smith, 1952) su pazienti sottoposti a sezione del corpo calloso e della commissura anteriore per ragioni terapeutiche diede risultati in netto contrasto con la conclusione di Mingazzini sull'importanza funzionale del corpo calloso. In breve, i soggetti con cervello bisecato di Akelaitis non presentavano in generale sintomi afasici, alessici e aprassici, e mostravano un'integrazione percettiva normale di informazioni sensitivo-sensoriali che originavano dai due lati del corpo o dalle due metà del campo visivo. I sintomi patologici eventualmente presenti potevano essere attribuiti a danni extracommissurali preesistenti o intraoperatori, anziché alla sezione delle commissure di per sé. Il fatto che la commissurotomia non producesse i disturbi da attendersi sulla base delle classiche teorie connessionistiche era in buon accordo con le concezioni olistiche e 'gestaltiche' del cervello, allora prevalenti. Di conseguenza, il problema delle comunicazioni interemisferiche nell'uomo fu trascurato per parecchi anni, a dispetto di occasionali reperti 'positivi', come quello riportato da P. E. Maspes (v., 1948) relativo a un caso di alessia nel campo visivo di sinistra a seguito della sezione dello splenio del corpo calloso. Furono i successi della sperimentazione sugli animali con cervello bisecato che spinsero Sperry e collaboratori a riconsiderare il problema delle funzioni commissurali nell'uomo. Gli esperimenti furono nuovamente eseguiti in un numero di pazienti epilettici che erano stati sottoposti alla sezione completa del corpo calloso e della commissura anteriore con lo scopo di controllare accessi non trattabili con altri mezzi. L'operazione ha avuto successo dal punto di vista terapeutico (v. Bogen e altri, 1969) e al tempo stesso ha offerto un'occasione unica per confermare e ampliare nell'uomo i risultati della sperimentazione sugli animali. Come gli animali con cervello bisecato, i soggetti umani con cervello bisecato non sono disturbati nelle loro attività ordinarie, e presentano sintomi di disconnessione emisferica solo quando sono esaminati con prove sperimentali speciali. Ampie rassegne sono state pubblicate da Sperry (v., 1966 e i contributi del 1968 e del 1970), Hécaen e Assal (v., 1968), J. E. Bogen (v., *The other side of the brain*. I, II, 1969), J. E. Bogen e G. M. Bogen (v., 1969) e Gazzaniga (v., 1970); si rimanda ad esse il lettore per informazioni dettagliate. In breve, la sindrome di disconnessione commissurale e le prove per metterla in evidenza sono le seguenti. Per limitare le

afferenze ottiche a un singolo emisfero, gli stimoli visivi sono presentati nella metà controlaterale del campo visivo, a pochi gradi dal punto di fissazione e al suo stesso livello. Gli stimoli (lettere, parole, immagini di oggetti e così via) vengono proiettati su uno schermo di fronte al soggetto. Il tempo di esposizione è molto breve (circa 100 ms), cosicché il soggetto non può usare i movimenti oculari per portare lo stimolo nell'area della visione centrale e ottenere così una stimolazione biemisferica. Quando si chiede ai pazienti con cervello bisecato di riconoscere lo stimolo proiettato sullo schermo dicendone il nome, si vede che essi lo possono fare solo quando lo stimolo viene presentato nel campo visivo di destra (e quindi all'emisfero sinistro). Cioè, parole, numeri, lettere, colori, immagini di oggetti e figure geometriche sono sempre prontamente identificati con il loro nome da questi pazienti quando le informazioni visive sono dirette all'emisfero che è dominante per il linguaggio (v. emisferi cerebrali: Dominanza cerebrale). Risultati del tutto differenti si ottengono quando gli stessi stimoli vengono proiettati nell'emicampo visivo di sinistra, incanalando così l'informazione visiva nell'emisfero destro. In questo caso, i pazienti con cervello bisecato non solo sono incapaci di identificare lo stimolo con il suo nome, ma sostengono anche che non hanno ricevuto alcuno stimolo, eccetto forse un lampo di luce. Tuttavia, se in base a ciò si concludesse che questi pazienti hanno un'agnosia visiva nel campo sinistro si commetterebbe un grave errore, perché il deficit si manifesta solo quando si richiede che il riconoscimento degli stimoli sia di natura verbale. Infatti, se si trascura quello che i soggetti dicono di ciò che vedono, e si chiede loro di riconoscere lo stimolo proiettato in modo non verbale, è possibile dimostrare che la percezione nel campo visivo di sinistra è buona come quella nel campo destro. Per esempio, i pazienti con cervello bisecato non hanno difficoltà a scegliere da una collezione di oggetti diversi l'oggetto che corrisponde allo stimolo proiettato nel campo visivo di sinistra; o possono identificare al tatto questo oggetto e prelevare da dietro una tenda che impedisce loro di vedere i diversi oggetti della collezione. Tuttavia questa prova di associazione visivo-tattile riesce solo quando il soggetto usa la mano sinistra, cioè la mano rappresentata nell'emisfero destro. Analogamente, il riconoscimento tattile di oggetti che corrispondono a stimoli proiettati nel campo visivo di destra è possibile solo con la mano destra. Come nel caso del riconoscimento di stimoli visivi lateralizzati, l'identificazione verbale (orale o scritta) di oggetti posti fuori del campo visivo ed esaminati al tatto può avvenire solo quando l'informazione sensitiva è diretta all'emisfero sinistro, cioè quando viene usata la mano destra. Il riconoscimento con la mano sinistra (e l'emisfero destro) non può essere che averbale (v. i contributi di Sperry, 1968; v. Gazzaniga, 1970). Risultati del tutto simili si ottengono nella modalità olfattiva. Poiché la sezione della commissura anteriore interrompe gran parte delle connessioni crociate, ciascun bulbo olfattivo resta connesso quasi esclusivamente con i centri olfattivi nell'emisfero ipsilaterale. In accordo a ciò, i pazienti con cervello bisecato possono dire il nome di sostanze odorose introdotte nella narice sinistra, ma non di sostanze introdotte nella narice destra. Tuttavia, l'identificazione corretta di stimoli presentati attraverso la narice destra si dimostra ancora solo con prove non verbali (v.

Gordon e Sperry, 1969). Per quanto riguarda l'udito, è già stato sottolineato il fatto che la lateralizzazione emisferica delle afferenze acustiche è quasi impossibile da ottenersi (v. sopra, § a). Tuttavia, il metodo della stimolazione simultanea dei due orecchi con materiale verbale diverso è stato usato con successo per esaminare le interazioni emisferiche nella sfera uditiva. I pazienti con cervello bisecato possono ripetere correttamente cifre presentate separatamente all'orecchio destro e a quello sinistro, ma se cifre differenti sono presentate simultaneamente ai due orecchi, essi possono ripetere solo le cifre dell'orecchio destro e poche o nessuna dell'orecchio sinistro. Una lieve predominanza dell'orecchio destro in questa prova si osserva anche in soggetti normali, ma questa differenza fra gli orecchi è molto piccola quando la si paragona alla quasi totale soppressione dell'orecchio sinistro nei pazienti con cervello bisecato. Se si davano ordini diversi di prendere oggetti nascosti alla vista simultaneamente ai due orecchi, e si chiedeva ai pazienti di usare la mano sinistra, gli oggetti nominati attraverso l'orecchio destro erano ora quasi totalmente ignorati, e solo le istruzioni date all'orecchio sinistro venivano eseguite correttamente (v. Milner e altri, 1968). Secondo questi risultati, è come se le commissure telencefaliche permettessero una registrazione di segnali diversi provenienti simultaneamente dai due orecchi; in loro assenza, solo le afferenze controlaterali sono registrate a spese di quelle ipsilaterali.

In conclusione, è chiaro che in tutte le modalità le informazioni di senso inviate esclusivamente a un emisfero del paziente commissurotomizzato sono analizzate solo entro quell'emisfero e non vengono comunicate all'altro emisfero. Dato che i centri del linguaggio sono lateralizzati nell'emisfero sinistro, l'emisfero destro può esternare ciò che sa solo con mezzi non verbali. Per citare Sperry (v., *Mental unity...*, 1968), i pazienti con cervello bisecato hanno "[...] un emisfero cosiddetto dominante o maggiore che può parlarci e scrivere, e un emisfero subordinato o minore che non può esprimersi a parole". Tuttavia, questo non significa che l'emisfero destro sia inferiore a quello sinistro da tutti i punti di vista, o che non abbia capacità di comprendere il linguaggio. In prove di capacità motoria e prassica non vi sono differenze fra gli emisferi nel controllo della mano controlaterale. In prove di disegno che implicino capacità visuo spaziali specifiche la mano sinistra spesso supera la destra (v. Bogen, *The other side of the brain. I*, 1969) indicando così, in accordo con i dati neurologici (v. emisferi cerebrali: Dominanza cerebrale), una superiorità dell'emisfero destro in questo tipo di prove. Riguardo al linguaggio, il solo fatto che i pazienti con cervello bisecato possono scegliere una carta con il nome di un oggetto dopo che un'immagine di questo oggetto è stata proiettata all'emisfero destro indica l'esistenza di qualche comprensione linguistica in questo emisfero. Dati recenti indicano tuttavia che i limiti della capacità dell'emisfero destro a comprendere e a 'pensare' in termini verbali sono molto ridotti (v. Gazzaniga e Hillyard, 1971).

Molte altre interessanti caratteristiche percettive dei pazienti con cervello bisecato vengono continuamente portate alla luce da procedimenti d'esame appositamente escogitati. Per esempio è stato dimostrato che questi

pazienti non hanno stereopsia binoculare nella parte centrale del campo visivo (v. Mitchell e Blakemore, 1970) né mostrano risposte convergenti o divergenti degli occhi a stimoli presentati al davanti o al di dietro del punto di fissazione (v. Westheimer e Mitchell, 1969). Poiché sia la stereopsia binoculare che i movimenti convergenti e divergenti sono del tutto normali quando gli stimoli sono presentati eccentricamente, e quindi sono proiettati a un solo emisfero, sembra logico attribuire i deficit nelle risposte a stimoli lungo la linea mediana, alla mancanza dei meccanismi callosali che estendono i campi recettivi della corteccia visiva attraverso il meridiano verticale centrale. Tuttavia, dato che le prove della stereopsia nei pazienti con cervello bisecato sono sempre state eseguite con stimoli con grandi disparità, è stato suggerito che, al contrario della stereopsia grossolana, la stereopsia fine lungo il piano mediosagittale sia dovuta alla imprecisione della decussazione chiasmatica e non alle connessioni callosali (v. Bishop, 1973; v. Berlucchi, 1972).

Questo breve riassunto dei risultati delle ricerche sul cervello bisecato nell'uomo indica chiaramente che la sezione delle commissure cerebrali produce nel cervello umano una sindrome da disconnessione fondamentalmente simile a quella osservata negli animali commissurotomizzati: se le afferenze di senso sono lateralizzate a un emisfero, le informazioni portate da queste afferenze in genere non possono essere comunicate all'altro emisfero. In queste condizioni, ogni emisfero ha la sua sfera privata di percezione e di conoscenza. Ciò che differenzia la sindrome da disconnessione interemisferica nell'uomo da quella negli animali è la rimarchevole differenziazione funzionale fra gli emisferi del cervello umano, con la lateralizzazione dei processi verbali e analitici nell'emisfero sinistro e delle capacità visuospatiali e gestaltiche nell'emisfero destro (v. emisferi cerebrali: Dominanza cerebrale; v. i contributi di Bogen, 1969; v. Bogen e Bogen, 1969).

Questi risultati pongono domande molto importanti per il problema generale delle relazioni fra la mente e il cervello. Vi sono letteralmente due menti nel paziente con cervello bisecato, una in ciascun emisfero? Questo è ovviamente un problema semantico, che Sperry (v., 1966), MacKay (v., 1966), Eccles (v., 1965), Bogen (v. i contributi del 1969), Bogen e Bogen (v., 1969) e Gazzaniga (v., 1970 e 1972) hanno discusso partendo da diverse posizioni filosofiche. Poiché molte delle questioni in gioco sono di natura epistemologica, esse non possono essere risolte dall'esperimento. Vi sono invece altri aspetti delle ricerche sul cervello bisecato nell'uomo che possono indubbiamente portare a progressi scientifici sperimentali. Una linea di sviluppo può forse partire dalla considerazione delle nette differenze fra i pazienti con cervello bisecato di Sperry, Bogen e Gazzaniga da un lato, e i pazienti con cervello bisecato di Akelaitis e i casi di agenesia callosale (v. Unterharnscheidt e altri, 1968) dall'altro lato. Nei pazienti con cervello bisecato di Akelaitis, come nella maggior parte dei soggetti con agenesia callosale, non v'era sindrome da disconnessione interemisferica. Ciò può essere spiegato da vari fattori: a) vi potrebbe essere una completa equivalenza funzionale fra gli emisferi di questi soggetti, con una bilaterizzazione dei centri del linguaggio (v. Sperry, Cerebral dominance...,

1970); b) i fattori anatomici, come la possibile permanenza nei pazienti di Akelaitis di qualche fibra nella commissura anteriore o nel calloso, sono probabilmente molto importanti, quando si considerano i recenti dati di Gordon, Bogen e Sperry (v., 1971) che indicano una completa assenza di sintomi di disconnessione interemisferica in due soggetti con sezione della commissura anteriore, della commissura ippocampale e di tutto il corpo calloso eccetto lo splenio; c) i soggetti con cervello bisecato chirurgicamente o con agenesia callosale possono imparare ad usare nuove strategie di comunicazione interemisferica. Queste strategie potrebbero implicare l'uso delle rimanenti commissure o di altre vie interemisferiche (v. Trevarthen, 1970) o il meccanismo dei suggerimenti crociati periferici, considerato in dettaglio da Gazzaniga (v., 1970).

Un'altra linea di sviluppo sperimentale, indubbiamente ispirata dalle ricerche sul cervello bisecato, è lo studio delle comunicazioni interemisferiche in soggetti umani normali. Questo studio è stato eseguito essenzialmente con l'analisi dei tempi di reazione a stimoli visivi lateralizzati, cioè a stimoli proiettati a un singolo emisfero (v., ad es., Gazzaniga, 1970; v. Rizzolatti e altri, 1971; v. Geffen e altri, 1971). È possibile, per esempio, dimostrare che fotografie di facce sono riconosciute prima e producono risposte più veloci nel soggetto destrimane normale quando sono proiettate all'emisfero destro. Al contrario, gli stimoli di natura verbale sono riconosciuti prima e producono risposte più rapide quando sono proiettati all'emisfero sinistro (v. Rizzolatti e altri, 1971). Anche se non è ancora stato definitivamente provato che le differenze nel tempo di risposta fra i due emisferi riflettono effettivamente un processo di comunicazione interemisferica, sembra chiaro che questo approccio è un utile complemento alle ricerche sul cervello bisecato.

Una questione finale riguarda la possibilità che la bisezione cerebrale possa aumentare la capacità di analisi di informazioni da parte del sistema nervoso (v. Gazzaniga, 1970; v. Burešová e Bureš, 1969). Esperimenti eseguiti su scimmie con cervello bisecato (v. Gazzaniga e Young, 1967) e su pazienti commissurotomizzati (v. Gazzaniga e Sperry, 1966) hanno dimostrato che i due emisferi divisi possono utilizzare informazioni visive diverse presentate simultaneamente ai due occhi (nella scimmia) e nei due emicampi visivi (nell'uomo). In queste condizioni sperimentali il cervello bisecato è più efficiente del cervello intatto, probabilmente perché ciascuno degli emisferi disconnessi agisce come se fosse un cervello separato. D'altra parte, dati della sperimentazione sugli animali (v. Meikle jr. e altri, 1962; v. Larsen jr. e altri, 1969; v. Robinson e Voneida, 1970; v. Sechzer, 1970) hanno indicato che la bisezione cerebrale disturba, come del resto ci si aspetterebbe, l'organizzazione nervosa, visto che l'apprendimento con un emisfero singolo può essere assai peggiore dell'apprendimento con i due emisferi normalmente connessi. C. B. Trevarthen (v., 1968 e 1970) ha anche suggerito che nei pazienti con cervello bisecato meccanismi unificanti sensoriali e percettivi, probabilmente localizzati nel mesencefalo, non sezionato, possano impedire l'attuarsi di una completa indipendenza interemisferica. Questa indipendenza è postulata con l'ipotesi secondo la quale l'analisi simultanea di informazioni visive diverse può avvenire negli emisferi separati dei soggetti con cervello bisecato.

5. Conclusione

Il vasto interesse contemporaneo nei meccanismi delle comunicazioni interemisferiche è testimoniato dalla seguente bibliografia, la cui mole è in larga misura dovuta a lavori pubblicati nell'ultimo ventennio. La presente rassegna, assieme a quella sulla dominanza cerebrale (v. emisferi cerebrali: Dominanza cerebrale), indica chiaramente che lo studio delle comunicazioni interemisferiche sta procedendo sia nel campo della scienza neurologica di base, fondata prevalentemente sulla sperimentazione sugli animali, sia in quello dell'analisi clinica e neuropsicologica sperimentale dell'uomo. Le ricerche morfologiche e fisiologiche continuano a rivelare l'ordine e la complessità delle connessioni interemisferiche e le influenze sinaptiche transcommissurali. Il trasferimento interemisferico di segnali di senso e di comandi motori, dimostrato dall'elettrofisiologia, può ora essere correlato con la trasmissione interemisferica di messaggi percettivi e mnemonici studiata negli esperimenti neurocomportamentali. L'affascinante analisi dei soggetti umani con cervello bisecato, intrapresa negli ultimi anni, non solo permette il confronto con esperimenti simili eseguiti su altri Mammiferi, ma fornisce anche un mezzo unico per esplorare le differenze fra l'emisfero destro e l'emisfero sinistro del cervello umano, e per dedurre i meccanismi commissurali che effettuano normalmente l'integrazione delle differenti capacità degli emisferi. Questo è chiaramente uno dei campi in cui la combinazione delle più svariate tecniche per studiare l'attività del sistema nervoso non solo ha dato risposte esaurienti a importantissime domande scientifiche, ma continua tuttora a presentare allo studioso del sistema nervoso aspetti nuovi e ugualmente interessanti dell'attività e dell'organizzazione del cervello.

Neocorteccia

Enciclopedia della Scienza e della Tecnica (2007)

di Vernon B. Mountcastle

Nell'uomo, la neocorteccia è la sede delle funzioni cognitive superiori e la sua complessità anatomica rispecchia l'importanza del compito che essa svolge nell'adattamento all'ambiente. La neocorteccia si presenta come un tessuto sottile, esteso e convoluto; la sua superficie è di 2600 cm², lo spessore di 3÷4 mm. Essa contiene all'incirca 28×10^9 neuroni e, approssimativamente, un uguale numero di cellule gliali. I neuroni corticali sono collegati l'uno all'altro e agli assoni delle cellule di altre zone cerebrali da un vasto numero di

terminali assonici chiamati 'sinapsi', nell'ordine di 1012. Attraverso diverse metodiche di indagine, si è visto che la corteccia è organizzata orizzontalmente in sei strati cellulari o lamine e verticalmente in gruppi di cellule collegate per mezzo di sinapsi che attraversano le lamine orizzontali. L'unità funzionale e anatomica di base della neocorteccia matura è la minicolonna, una stretta catena di neuroni che si estende verticalmente tra il II e il VI strato cellulare, perpendicolarmente alla superficie piaie. Ogni minicolonna contiene circa $80 \div 100$ neuroni, interconnessi saldamente l'uno all'altro in senso verticale; un'eccezione a questo principio è la corteccia striata dei Primati, che contiene un numero di neuroni superiore di circa 2,5 volte. La minicolonna si forma durante lo sviluppo dell'individuo attraverso la divisione iterativa di un piccolo gruppo di cellule progenitrici del neuroepitelio, tramite l'azione dell'unità ontogenetica della piastra corticale della neocorteccia in via di sviluppo.

Numerose minicolonne unite da connessioni orizzontali dense e a corto raggio formano a loro volta un'unità funzionale e anatomica chiamata 'colonna' o 'modulo corticale'. Le colonne presentano un diametro che va da 300 a 600 μm nelle specie in cui il volume della massa cerebrale varia in rapporto da 1 a 1000. Nel processo di sviluppo del cervello nella nostra specie, l'espansione corticale è stata raggiunta attraverso l'espansione dell'area della superficie corticale, con modeste variazioni di spessore. Questa espansione è determinata dall'aumento del numero delle colonne corticali, ma non della dimensione di ogni singola colonna. La proliferazione neuroepiteliale, la migrazione verticale lungo le cellule gliali e l'organizzazione radiale sono caratteristiche di tutti i Mammiferi. L'organizzazione colonnare permette una rappresentazione ricorsiva a intermittenza; in questo modo è possibile localizzare numerose caratteristiche funzionali sulla superficie bidimensionale della neocorteccia. Ciò appare con chiarezza nelle porzioni di corteccia che, in base alle afferenze talamiche e al loro ruolo funzionale, sono definite 'aree sensoriali primarie' del cervello; sembra altresì probabile che questo si verifichi in tutte quelle zone in cui sono state osservate mappe sistematiche. La colonna corticale è una complessa unità elaborativa che collega un certo numero di informazioni in ingresso con un numero analogo di informazioni in uscita, tramite catene sovrapposte di elaborazione interna. A questo proposito, è stata osservata una segregazione parziale dei neuroni efferenti corticali con differenti bersagli estrinseci; quelli dal II al III strato laminare si proiettano verso altre zone corticali, quelli dal V al VI strato verso le strutture subcorticali. Ciò suggerisce che le operazioni di elaborazione che conducono ai diversi canali di output presentino differenze fondamentali.

Sommario

1. Ontogenesi della neocorteccia.
2. Studi fisiologici sulle aree somatosensoriali.
3. Studi fisiologici sulla corteccia visiva.
4. Studi fisiologici sulle aree associative.
5. Basi anatomiche dell'organizzazione colonnare.

1. Ontogenesi della neocorteccia

I neuroni corticali vengono generati nell'epitelio colonnare che riveste le zone ventricolari e subventricolari del telencefalo in via di sviluppo. Essi migrano dai rispettivi siti di generazione verso la posizione finale nella corteccia, attuando la prima divisione asimmetrica. I neuroni si differenziano ulteriormente dopo la migrazione e si dispongono in strati corticali nel sito in cui formano connessioni efferenti e ricevono connessioni estrinseche, caratteristiche dello strato. Essi sviluppano inoltre connessioni intrinseche translaminari che formano le basi reticolari delle colonne nella corteccia matura. Nella formazione della neocorteccia, l'evento iniziale è costituito dalla generazione di uno strato orizzontale denominato prepiastra, composto da un sottostrato superficiale di prime fibre nervose dirette alla corteccia, e dalle prime cellule neuronali: le cellule di Cajal-Retzius e uno strato cellulare inferiore che si trasformerà nella cosiddetta 'subpiastra'. Ondate successive di neuroni migranti formano la piastra corticale in una sequenza temporale che dall'interno si muove verso l'esterno creando i futuri strati laminari dal VI al II della corteccia matura. La piastra corticale è inserita nella prepiastra e la divide in una zona marginale estrema, il futuro I strato, e in una banda inferiore, spesso e parzialmente transitoria, la subpiastra.

I neuroni che migrano verso la neocorteccia si spostano lungo le fibre prodotte dalle cellule gliali radiali che formano barriere tra l'epitelio neuronale e la piastra corticale in via di sviluppo. Il tempo di generazione di un neurone determina la sua posizione finale laminare o verticale nella corteccia matura. La posizione spaziale originaria, nel piano x-y, di oltre il 90% dei neuroni dell'epitelio neuronale determina la posizione tangenziale finale della cellula nella neocorteccia matura. Nei 265 giorni di gestazione dell'essere umano, la neurogenesi inizia intorno al 40° giorno e termina intorno al 120°. I neuroni di proiezione e quelli intrinseci si differenziano, in maniera sequenziale, dagli strati profondi a quelli superficiali, contemporaneamente alla formazione degli strati nel processo di migrazione. Le cellule piramidali guidano gli interneuroni intrinseci nell'emissione e nella crescita di assoni e dendriti e nella formazione dei contatti sinaptici.

I percorsi migratori e la sequenza temporale degli eventi osservati nel cervello del feto di scimmia sono stati studiati in una storica serie di esperimenti da Pasko Rakic e hanno indotto a formulare l'ipotesi dell'unità radiale'. La migrazione dei neuroni immaturi dall'epitelio germinale alla piastra corticale si verifica soprattutto radialmente e lungo le cellule gliali. In seguito all'ultima divisione mitotica, i neuroni immaturi della zona ventricolare e di quella subventricolare si uniscono a un insieme adiacente di fibre-guida gliali. I neuroni generati serialmente nel tempo presso lo stesso sito dell'epitelio germinale migrano in maniera sequenziale lungo gli stessi insiemi di fibre-guida gliali o lungo insiemi adiacenti e si posizionano secondo il pattern interno/esterno in una colonna radiale. I neuroni di questa colonna radiale formano un'unità ontogenetica, cioè

l'elemento fondamentale di edificazione della corteccia in via di sviluppo. Perciò, l'organizzazione colonnare di base della corteccia riflette il modo in cui si è generata.

L'area superficiale e, quindi, le dimensioni di ogni neocorteccia sono determinate dal numero delle sue unità ontogenetiche, stabilito dalle divisioni simmetriche delle cellule progenitrici presenti nell'epitelio neuronale prima dell'inizio della migrazione. Ogni ulteriore divisione simmetrica fa raddoppiare il numero delle unità ontogenetiche e, di conseguenza, anche l'area della neocorteccia. Si ritiene che, nel corso dell'evoluzione, la neocorteccia si sia espansa grazie a una mutazione del sistema che regola il numero di divisioni simmetriche che si verificano nelle zone regionali del neuroepitelio. Le unità ontogenetiche moltiplicate interagiscono con altri fattori nel creare nuove aree corticali e nel promuoverne l'evoluzione attraverso la selezione naturale.

L'organizzazione modulare della neocorteccia è stata documentata attraverso lo studio di numerose aree corticali sensoriali, motorie e associative ed è stata inoltre osservata in numerose condizioni sperimentali, per esempio, nella scimmia in stato di veglia e libera di muoversi. Di seguito sono illustrate le principali evidenze sperimentali ottenute attraverso indagini condotte sulle aree primarie somatosensoriali, su quelle visive e su alcune aree associative. Le aree corticali motorie e uditive condividono i medesimi principi organizzativi, ma non saranno oggetto di questo testo.

2. Studi fisiologici sulle aree somatosensoriali

Dalle indagini elettrofisiologiche, condotte da Vernon B. Mountcastle nel 1957 e successivamente da quest'ultimo e da Thomas P.S. Powell (1959) su singoli neuroni della corteccia somatosensoriale (giro postcentrale) in gatti e scimmie anestetizzati, sono derivate le prime prove sperimentali dell'organizzazione colonnare della neocorteccia. I microelettrodi, introdotti perpendicolarmente alla superficie esterna del cervello e attraverso l'asse verticale della corteccia, incontrano in ogni strato cellulare neuroni aventi proprietà simili in termini di responsività a stimoli tattili (fig. 2).

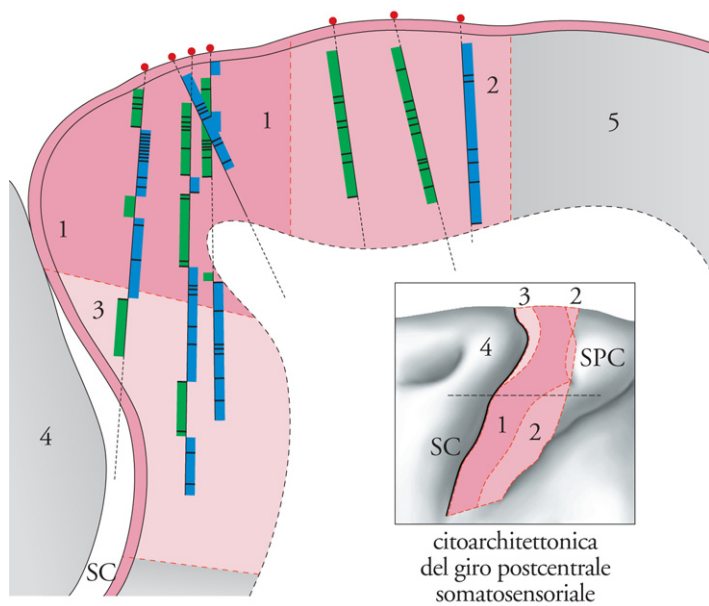


Fig. 2. Ricostruzione del tracciato di microelettrodi introdotti nel giro postcentrale di scimmie anestezizzate. I microelettrodi, introdotti perpendicolarmente alla superficie corticale, incontrano neuroni con un unico tipo di modalità indicata dalle fasce verdi e azzurre. I numeri rappresentano le aree corticali; SC: solco centrale; SPC: solco postcentrale.

Il termine 'responsività' è impiegato in questo contesto con un significato particolare, per descrivere, cioè, la natura di determinati stimoli e il livello di adattamento a stimoli costanti. I microelettrodi incrociano zone di tessuto della dimensione di $300 \div 500 \mu\text{m}$, in ognuna delle quali si incontrano neuroni con proprietà identiche. Ogni neurone riceve informazioni tattili soltanto da una specifica porzione periferica del corpo, possiede cioè un campo recettivo, ovvero un'area della cute o dei tessuti profondi che, se stimolata per esempio con una puntura di spillo o dalla pressione, determina l'attivazione elettrica (potenziale d'azione) in quel dato neurone. L'organizzazione colonnare è di natura dinamica. In alcune aree corticali le proprietà di definizione delle colonne sono quasi totalmente stabilite da informazioni tattili provenienti dalla cute e dai tessuti; in altri casi predominano le proprietà indotte dall'elaborazione intracorticale. Il grado delle proprietà di definizione colonnare definito dal flusso afferente di entrata o dalle costruzioni intracorticali varia in rapporto alle aree corticali. Soltanto in una regione, quale la corteccia dell'area 3b, predominano le proprietà statiche stabilite dal flusso di entrata. Per esempio, le colonne direzionalmente selettive delle aree 1 e 2 sono prodotte dalla combinazione di proprietà statiche di spazio e di modalità con la selettività direzionale, un prodotto dell'elaborazione intracorticale. Un'importante scoperta è stata l'individuazione, nel giro postcentrale dei Primati, di quattro mappe somatotopiche separate della forma del corpo, distribuite nelle aree 3a, 3b, 1 e 2. Inoltre, le mappe corticali della superficie del corpo non consistono di rappresentazioni continue ma di insiemi di regioni, ognuna delle quali è deputata a un flusso afferente di entrata proveniente da una zona del

corpo. Mentre la mappa disegna la sequenza generale del corpo, alcune regioni corticali adiacenti rappresentano zone del corpo molto distanti tra loro e alcune zone adiacenti del corpo sono rappresentate in zone corticali separate.

Oleg V. Favorov e Matthew E. Diamond (1990) hanno condotto studi sperimentali con l'introduzione di numerosi elettrodi formanti un fitto reticolo. I risultati hanno permesso di stabilire che la forma della colonna corticale è quasi esagonale, generalmente circondata da altre sei colonne, doppiamente convessa nella direzione della lunghezza, con una larghezza di $300\div 400\ \mu\text{m}$: tale colonna contiene circa 80 minicolonne con diametro di $50\div 60\ \mu\text{m}$. La colonna corticale si presenta separata e omogenea; i campi recettivi dei neuroni delle mini colonne di ogni colonna si spostano nel sito colonnare comune senza progressione topografica. Jon H. Kaas e collaboratori (1981) hanno condotto un esperimento di rigenerazione nervosa sulle scimmie, ottenendo una prova ulteriore della composizione minicolonnare dei moduli corticali. Un esperimento iniziale di registrazione è stato effettuato con microelettrodi introdotti tangenzialmente attraverso l'area corrispondente alla mano nella corteccia postcentrale somatica. La fig. 3 a sinistra illustra che, lungo una distanza considerevole, sono stati osservati neuroni con uno stesso tipo di proprietà modali collegati a campi recettivi che si spostano gradualmente e si sovrappongono. Successivamente è stato sezionato e risuturato il nervo mediano; si è quindi atteso il tempo necessario affinché la cute si innervasse nuovamente.

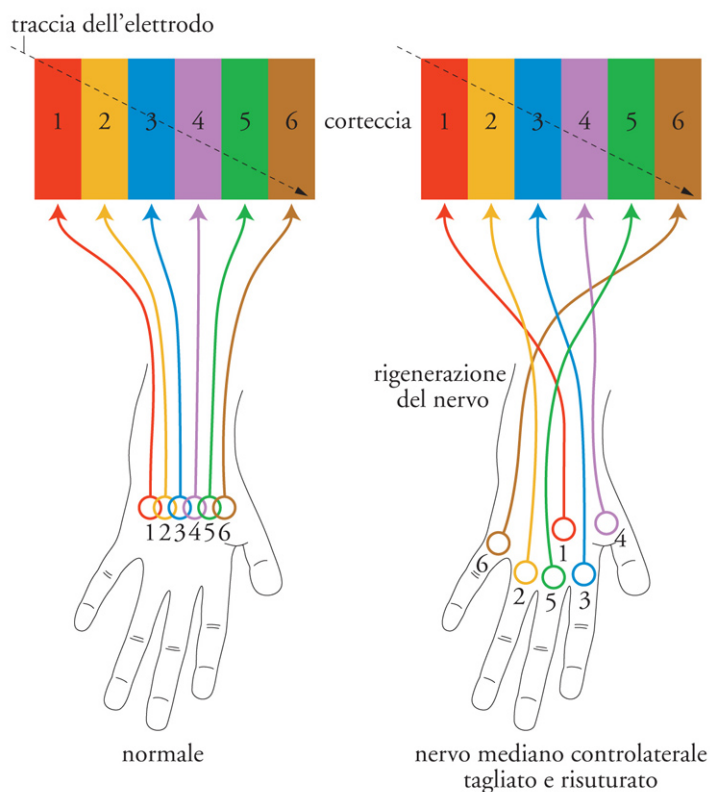


Fig. 3. Schema dell'esperimento di rigenerazione nervosa condotto sulle scimmie. A sinistra, le minicolonne adiacenti sono associate ai campi recettivi periferici che si uniscono e si sovrappongono, e le transizioni tra le minicolonne passano inosservate. A destra, i risultati ottenuti nello stesso animale dopo il sezionamento e la risuturazione del nervo mediano controlaterale, dove si nota la direzione erronea dei fasci di fibre nervose. Improvvisti spostamenti nella posizione dei campi recettivi periferici si riscontrano a intervalli di 4060 μm rivelando le minicolonne.

L'esperimento di registrazione è stato quindi ripetuto con il risultato illustrato nella fig. 3, a destra. In luogo di una progressione regolare di campi recettivi sovrapposti, zone corticali della dimensione di 40÷60 μm seguono un percorso trasversale; al loro interno i campi recettivi sono identici ma si notano bruschi spostamenti tra zone adiacenti. Ciò è stato attribuito a una direzione impropria assunta dai fasci nervosi di reinnervazione periferica. Un fascio nervoso che innervi impropriamente una zona nuova e anormale della cute provoca la formazione di un nuovo campo recettivo sull'intera minicolonna dei neuroni verso la quale si proietta. Questo esperimento ha rivelato l'esistenza di una minicolonna con una dimensione paragonabile a quella delle unità embrionali, gli antenati delle minicolonne della corteccia adulta.

Inoltre, va detto che ognuna delle mappe nel giro postcentrale riceve l'input principale prevalentemente da uno o due degli insiemi modalmente specifici di fibre afferenti primarie. I neuroni di una porzione dell'area 3 sono modulati da fibre nervose provenienti dai muscoli. Una seconda porzione dell'area 3 e l'area 1 ricevono l'input dagli insiemi di fibre nervose ad adattamento rapido e lento provenienti dalla cute; l'area 2 riceve informazioni prevalentemente da fibre provenienti dalle articolazioni, anche se questa area contiene in aggiunta una rappresentazione completa della superficie cutanea della mano. Se una singola area riceve un input da più di un insieme di afferenti primari, i neuroni con differenti proprietà modali vengono segregati in zone diverse all'interno dell'area. Per esempio, i neuroni cutanei ad adattamento rapido e lento delle aree 3 e 1 sono segregati in colonne corticali differenti.

Infine, gli studi elettrofisiologici sono stati approfonditi da altre indagini, che hanno dimostrato come la stimolazione locale meccanica della superficie del corpo produca un aumento di attività metabolica in insiemi modulari nella corteccia controlaterale somatosensoriale di gatti e scimmie. L'attivazione coinvolge numerose regioni separate e allungate (0,5÷1,5 mm) come se numerose colonne adiacenti fossero attivate da stimoli periferici, poiché questi moduli definiti dal punto di vista metabolico sono più grandi di quelli definiti in modo elettrofisiologico. Questi insiemi collegati di moduli sono delimitati da zone con attività ridotta, dovuta all'inibizione intracorticale esercitata dal neurotrasmettitore inibitorio GABA (acido γ -amminobutirrico). Mark Tommerdahl e collaboratori (1993) hanno condotto studi metabolici ed elettrofisiologici collegati, dimostrando che stimoli identici eccitano sia la zona dell'aumentata attività metabolica, sia l'attività dei neuroni al suo interno. L'incremento metabolico non è uniforme all'interno del modulo, ma si manifesta in

strette colonne translaminari separate da zone ristrette con attività ridotta e con una frequenza spaziale di $18 \div 33/\text{mm}$. Questo risultato sperimentale dimostra la presenza di minicolonne attive nella corteccia sensoriale e avvalorata l'ipotesi generale secondo la quale i moduli corticali sono composti da gruppi di minicolonne. Tale variazione periodica a orientamento radiale del trasporto di 2-desossiglucosio rispetto al livello di fondo è stata osservata anche nelle regioni della corteccia somatica non attivate dall'impiego di stimoli periferici. La variazione spaziale è stata simile a quella osservata in misurazioni di densità ottica in sezioni della corteccia sensoriale colorate con il violetto di cresile (colorazione di Nissl); ciò costituisce un'indicazione indiretta dell'incolonnamento verticale dei corpi cellulari neuronali in questa regione.

3. Studi fisiologici sulla corteccia visiva

La corteccia visiva primaria dei Mammiferi, variamente denominata 'corteccia striata', 'area 17' o 'area V1', è la struttura cerebrale dei Mammiferi più intensamente studiata, a partire dall'inizio degli anni Sessanta, in seguito alle ricerche svolte da numerosi studiosi e in particolare da David H. Hubel e Torsten N. Wiesel (1977). Nel corso dei primi studi, questi scienziati hanno suggerito un'ipotesi, in seguito elaborata ampiamente tramite numerosi esperimenti, secondo la quale l'organizzazione colonnare nell'area V1 dei Primati è definita dalle proprietà neuronali di dominanza oculare e orientamento spaziale imposte dall'input proveniente dal nucleo genicolato laterale del talamo e dalla specificità di orientamento generata dall'elaborazione intracorticale. I neuroni dell'area V1 sono sollecitati di preferenza da stimoli giunti a uno degli occhi da un punto particolare del campo visivo e sono sensibili in maniera selettiva a barre luminose brevi con angoli di orientamento particolari e limitati. Queste proprietà si presentano più o meno costanti da neurone a neurone quando i microelettrodi sono introdotti perpendicolarmente alla superficie corticale esterna. Per contro, queste proprietà cambiano da un sito all'altro quando gli elettrodi vengono introdotti tangenzialmente per un lungo tratto, quasi parallelamente alla superficie. I neuroni esaminati durante le indagini effettuate tangenzialmente presentano variazioni sistematiche di selettività oculare e orientativa. Quest'ultima sembra risentire di movimenti minimi ($20 \mu\text{m}$) degli elettrodi, e può addirittura cambiare posizione da una catena cellulare verticale all'altra. Una sequenza completa di 180° viene coperta da distanze che variano da 500 fino a $750 \mu\text{m}$. L'insieme di queste minuscole colonne orientative viene denominato ipercolonna per l'orientamento. La proprietà di dominanza oculare di questi stessi neuroni si modifica in modo tale da rivelare le colonne adiacenti a dominanza oculare, una per occhio. I neuroni presenti in ogni coppia di colonne passano sistematicamente dalla dominanza completa di un occhio alla dominanza completa dell'altro, attraverso passaggi graduali; questo fenomeno è stato definito ipercolonna per la dominanza oculare. Basandosi sulle misurazioni delle dimensioni tangenziali delle due classi di ipercolonne e della funzione di dispersione

luminosa puntiforme, Hubel e Wiesel hanno avanzato l'ipotesi secondo la quale insiemi doppi di ipercolonne sono sufficienti a elaborare tutti gli input provenienti da una regione determinata del campo visivo, con una sovrapposizione minima nelle regioni del campo visivo servite da insiemi adiacenti di ipercolonne. Con gli esperimenti successivi, condotti da Gary G. Blasdel nel 1992, gli insiemi colonnari nell'area V1 dei Primati sono stati studiati in maniera approfondita con i metodi di imaging ottico, in particolare gli insiemi in cui le colonne a dominanza sia di orientamento sia oculare sono identificate nella stessa regione localizzata della corteccia visiva. In alcuni siti la progressione laterale del cambiamento di preferenza di orientamento ha luogo in modo lineare, mentre altrove i cambiamenti sono marcatamente non lineari. Le colonne orientative formano piastre di orientamento che misurano $0,5 \div 1$ mm nella direzione dell'isorientamento e nelle quali si ripete una rotazione completa di 180° della preferenza di orientamento nell'arco di circa $560 \mu\text{m}$. Queste regioni lineari occupano circa il 50% della superficie corticale e sono localizzate di preferenza sui bordi delle colonne a dominanza oculare che intersecano in senso quasi ortogonale. L'intersezione crea un modulo in cui le numerose proprietà funzionali dei neuroni dell'area V1 vengono rappresentate con ritmo reiterativo, secondo un modello originariamente denominato 'cubo di ghiaccio' da Hubel e Wiesel.

Negli esperimenti di Blasdel sono stati identificati tre tipi di cambiamenti non lineari delle preferenze orientative. Le 'singolarità' sono costituite da discontinuità puntiformi che si creano quando le preferenze di orientamento mutano, in modo continuativo, per 180° intorno a loro; questi punti tendono a localizzarsi nei centri delle colonne a dominanza oculare. Le 'fratture' sono invece costituite da discontinuità localizzate presso le quali le preferenze di orientamento variano bruscamente; questi cambiamenti localizzati e improvvisi sono stati identificati da Hubel e Wiesel nei loro esperimenti elettrofisiologici. Infine i 'punti a sella' si configurano come piccole aree a forma di chiazza al cui interno le preferenze orientative sembrano stabili. Non è stato ancora appurato in maniera definitiva il ruolo che queste regioni di cambiamento di orientazione non lineare svolgono nella funzione della corteccia visiva.

La comprensione dell'architettura funzionale dell'area V1 dei Primati è stata resa più ardua dalla scoperta che lungo le colonne a dominanza oculare sono presenti, a intermittenza, zone localizzate di attività metabolica al di sopra della media. Queste zone, definibili come punti o macule (detti 'blob'), sono state rivelate mediante 2-desossiglucosio o citocromoossidasi. Sono zone localizzate con diametro di circa $150 \mu\text{m}$ più evidenti nel II e nel III strato, ordinate lungo il centro delle colonne a dominanza oculare a intervalli regolari di $500 \div 550 \mu\text{m}$. Le file parallele sono distanti tra loro circa $350 \mu\text{m}$. Le regioni maculate ricevono un input diretto dagli strati intercalati del nucleo genicolato laterale; le regioni che si alternano a esse ricevono solo un input corticale interno. I neuroni presenti nelle macule sono sensibili a particolari colori e non sono specifici per l'orientamento; i neuroni delle regioni intermedie si comportano in modo opposto. Le regioni a macula e

quelle intermedie si differenziano per tipo di connettività interna ed esterna e per la diversa distribuzione di alcuni marcatori molecolari.

4. Studi fisiologici sulle aree associative

Una caratteristica sorprendente delle aree corticali associative è l'evidenza che i parametri di definizione delle colonne sono costituiti da proprietà neuronali che si sono formate all'interno dei sistemi di elaborazione intracorticale. Si tratta di proprietà complesse e quelle collegate all'input sensoriale che definiscono i moduli delle aree sensoriali primarie 3b o V1 raramente appaiono immutate nelle aree associative. La plasticità delle sinapsi corticali sembra suggerire che tali proprietà possano essere modificate dall'esperienza, ovvero dall'apprendimento, e le evidenze preliminari sembrano confermare questa ipotesi. L'organizzazione modulare delle corteccie associative dipende in parte dal fatto che le connessioni tra queste aree sono distribuite in modo discontinuo nella dimensione corticale trasversale, sia all'origine sia al bersaglio. Esse terminano in colonne larghe 200÷500 μm , con particolare densità soprattutto negli strati sopragranulari, separate da zone di uguale larghezza in cui i terminali con quella origine sono rari. Le cellule provenienti dall'area di origine sono distribuite in modo simile in zone discontinue del II e del III strato.

Si considerano brevemente tre aree associative per le quali l'organizzazione modulare è stata documentata da esperimenti elettrofisiologici condotti su scimmie in stato di veglia: l'area parietale posteriore, la temporale mediale e la temporale inferiore. Nella prima, detta 'area 7a' (attualmente divisa in varie sottoaree) i neuroni con proprietà simili sono ordinati in moduli verticali che si estendono attraverso gli strati cellulari, collegati ad altri insiemi nei quali i neuroni sono caratterizzati da proprietà differenti. Queste aree corticali non riflettono singoli input sensoriali, né sono connesse in modo incondizionato a effettori periferici. Le proprietà neuronali che le caratterizzano sono state scoperte grazie al coordinamento di esperimenti elettrofisiologici e di indagini comportamentali condotte su scimmie addestrate a eseguire azioni scelte in base ad alterazioni comportamentali prodotte da lesioni dell'area e dei suoi tessuti connettivi. Le proprietà degli insiemi modulari della corteccia parietale posteriore differiscono notevolmente ma hanno un elemento in comune: sono tutte collegate alle azioni svolte dall'animale nello spazio immediatamente circostante, o alla sua percezione degli oggetti presenti e degli eventi accaduti in quello spazio e all'attenzione rivolta a essi.

Insiemi neuronali differenti si attivano in diverse situazioni: quando lo sguardo e l'attenzione si fissano su un oggetto che suscita interesse; quando l'oggetto viene seguito lentamente; quando il braccio si estende verso l'oggetto; quando l'oggetto viene manipolato; quando si produce una stimolazione visiva. L'ultima classe di neuroni ha prodotto proprietà visive non individuabili in alcuna delle aree corrispondenti gerarchicamente inferiori; essi forniscono un'immagine dinamica dello spazio circostante, del movimento dell'animale

attraverso quello spazio o del movimento degli oggetti attraverso di esso. Quando perpendicolarmente alla superficie del lobo parietale inferiore vengono introdotti microelettrodi, esiste un'elevata probabilità di incontrare neuroni appartenenti a una sola di queste classi, mentre il punto di registrazione si sposta attraverso gli strati cellulari. Penetrando con gli elettrodi ortogonalmente alla dimensione verticale della corteccia, si incontrano masse di neuroni in successione, prima di una classe e poi di un'altra. Attualmente, non è stato ancora chiarito in quale modo questi vari insiemi modulari siano collegati nell'area 7a.

La corteccia temporale mediale (MT) è una piccola area con un'organizzazione cellulare interna molto particolare, posta nella sponda posteriore del solco temporale superiore della scimmia; è stata scoperta da Semir Zeki ed è specializzata per l'elaborazione delle informazioni sul movimento di oggetti visibili e sulla loro direzione di movimento. Zeki l'ha denominata V5, area visiva prestriata di quinto ordine; essa riceve input sia dall'area V1 sia dalla V2. L'omologa della V5 delle scimmie è stata identificata da Josef Zihl e collaboratori (1983), nel cervello umano con la PET (Positron emission tomography). Una paziente con lesioni bilaterali e quasi simmetriche che includevano quest'area era stata oggetto di indagini minuziose; la donna non percepiva o non riconosceva gli oggetti in movimento, ma unicamente se erano fermi. La sua lesione era selettiva in modo specifico per la visione del movimento; gli aspetti della visione e del movimento percepibili attraverso gli altri sensi apparivano ragionevolmente integri.

I neuroni dell'area MT delle scimmie con assi simili di preferenza per la direzione di movimento sono ordinati in colonne verticali e queste colonne sono ordinate a loro volta in piastre in cui una rotazione completa di 180° dell'asse di movimento è rappresentata in $400\div 500 \mu\text{m}$ di corteccia. Le colonne dell'asse di movimento sono intersecate da un secondo insieme in cui le due opposte direzioni di movimento lungo ogni asse sono rappresentate in due colonne adiacenti. Quindi le colonne dell'area MT sono specificate dall'intersezione di due insiemi parametrici, ognuno dei quali viene prodotto dall'elaborazione intracorticale. La corteccia infero-temporale è fondamentale per la percezione visiva degli oggetti; infatti la sua rimozione nella scimmia danneggia gravemente le capacità di apprendere a distinguere o a riconoscere un oggetto attraverso la vista. Molti neuroni di quest'area rispondono selettivamente alle forme degli oggetti e alcune cellule vengono attivate soprattutto da forme particolari quali, per esempio, le sagome della mano o del muso della scimmia o quella del volto umano. In questo contesto è di particolare interesse il lavoro sperimentale condotto da Keiji Tanaka e collaboratori (1993). Tanaka è riuscito a ridurre i contorni di stimoli complessi, come per esempio i volti, nelle sagome essenziali all'attivazione neuronale e ha confermato che la maggior parte delle cellule presenti nella zona anteriore della corteccia temporale inferiore è attivata da sagome moderatamente complesse. I neuroni con selettività simili o strettamente correlate sono raggruppati in colonne che si estendono attraverso gli strati cellulari, mentre i neuroni con selettività diverse sono ordinati in un mosaico simile a quello illustrato nella fig. 4.

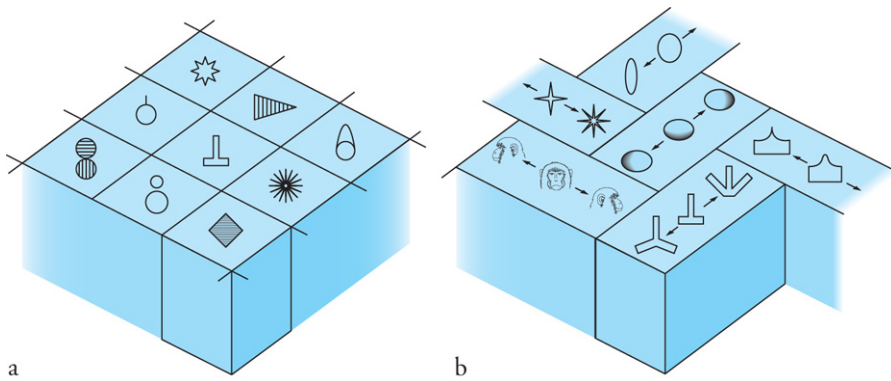


Fig. 4. Modello colonnare di Tanaka per la zona anteriore della corteccia infero-temporale del macaco. (A) I neuroni di quest'area rispondono in modo selettivo alle forme degli oggetti; in particolare alcune aree, localizzate nella parte posteriore di questa zona, vengono attivate dalle forme semplici stilizzate in figura. (B) I neuroni della parte anteriore rispondono invece preferenzialmente a forme più complesse che, se ruotate nello spazio, attivano i neuroni delle colonne adiacenti.

5. Basi anatomiche dell'organizzazione colonnare

Quando venne avanzata per la prima volta (Mountcastle 1957), l'ipotesi dell'organizzazione colonnare fu accolta con diffidenza dalla maggior parte degli studiosi di neuroanatomia. Negli anni Quaranta del XX sec., era dominante l'idea classica di un'organizzazione laminare della corteccia e venivano avanzate con frequenza ipotesi circa la specificità funzionale di ogni strato cellulare; si riteneva, per esempio, che gli strati sopragranulari fossero specializzati per le funzioni psichiche. La specificità colonnare era di natura dinamica ed era sostenuta dall'inibizione pericolumnare, la quale non poteva essere rivelata dai metodi anatomici allora in uso. L'introduzione di nuovi metodi nella ricerca neuroanatomica ha permesso di dimostrare l'esistenza di un'organizzazione colonnare della neocorteccia, di cui si descriveranno gli aspetti essenziali (fig. 5).

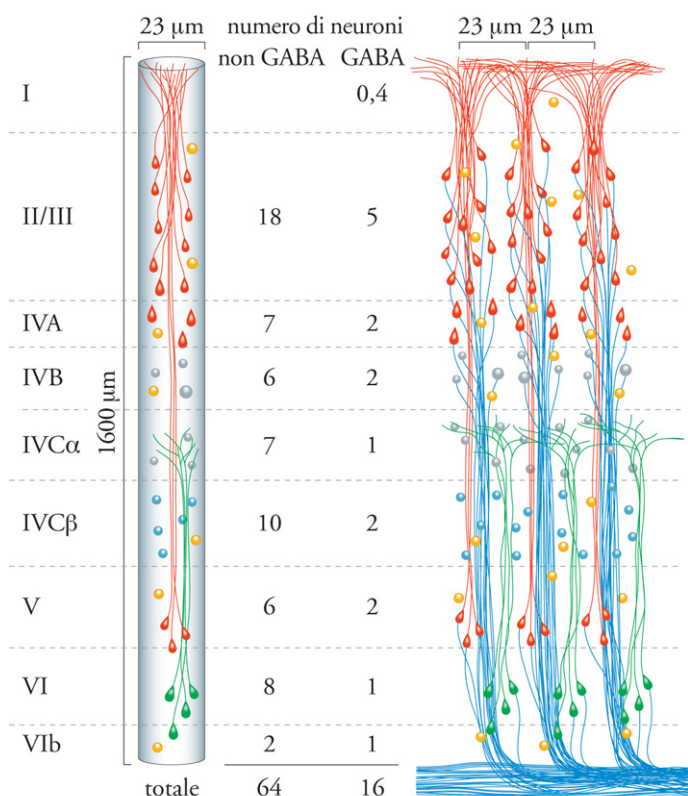


Fig. 5. Diagramma della disposizione di neuroni, dendriti e assoni nei moduli verticali della corteccia striata del macaco. A sinistra, la disposizione dei dendriti apicali delle cellule piramidali. Le cellule piramidali degli strati II/III, IVA e V sono indicate in rosso e quelle del VI strato in verde. I neuroni del IVB e IVC senza dendriti sono indicati in grigio, quelli GABA-ergici in azzurro. A destra, i moduli delle cellule piramidali (colonne) cui sono stati aggiunti gli assoni (in blu).

Incolonnamento per mezzo di proiezioni afferenti

Attualmente siamo in possesso di descrizioni dei due ordinamenti anatomici che convalidano l'ipotesi colonnare (Jones 1983). Numerose indagini anatomiche e fisiologiche, collegate tra loro, hanno dimostrato che il sistema sensoriale afferente, chiamato lemnisco mediale, è organizzato in moduli a partire dal livello di entrata della radice dorsale del midollo spinale fino a quello del giro postcentrale. I fasci di assoni provenienti dalle cellule dei moduli talamici si estendono verso le zone colonnari di terminazione nel IV strato e nel III della corteccia del giro postcentrale, formando insieme separati da zone in cui i terminali sono molto meno densi. Le zone apicali della rappresentazione postcentrale di mani, piedi e volto sono collegate all'altro emisfero mediante un grosso fascio di fibre chiamato 'corpo calloso'. All'interno delle regioni della mappa somatotopica collegate tra loro, gli afferenti callosali terminano in zone con dimensioni di 0,5÷1 mm. Queste zone e quelle terminali dei sistemi ipsilaterale cortico-corticale si sovrappongono per una distanza non ancora

definita agli insiemi dei terminali degli afferenti talamici degli strati IV e IIIb, ma si estendono anche agli strati più superficiali; in molte altre aree corticali le zone terminali di questi due sistemi sono interconnesse. Esiste una convergenza perché le cellule piramidali dello strato IIIb che emettono fibre callosali ricevano un input sinaptico dagli afferenti talamici.

Le zone focali delle terminazioni di questi sistemi, cioè le callosali, sono ordinate in strisce mediolaterali che incrociano in modo quasi ortogonale le rappresentazioni generali anteriori e posteriori di ogni parte del corpo attraverso le aree 3b, 1 e 2. Le intersezioni specificano un modulo secondo il luogo, la modalità e la connessione interemisferica, anche se il significato di quest'ultima per ciò che concerne la funzione è ancora oscuro. La specificazione di un modulo per mezzo dell'intersezione delle strisce sembra essere una proprietà corticale generale poiché è individuabile sia nella corteccia uditiva sia in quella visiva, nonché nella corteccia postcentrale somatica. I risultati di questi studi anatomici e le relative numerose osservazioni di natura fisiologica permettono di formulare un'importante conclusione di carattere generale: la reale unità operativa di questo sistema distribuito non è rappresentata dal singolo neurone con il proprio assone, ma da gruppi di cellule con connessioni anatomiche e proprietà funzionali simili.

Incolonnamento per mezzo della connettività intrinseca

Gli interneuroni (cioè piccoli neuroni modulatori che connettono fra loro più cellule nervose vicine) locali del IV strato e dello strato IIIb, le cellule spinose non piramidali o stellate, sono uno dei principali bersagli postsinaptici di afferenti provenienti dal nucleo talamico ventro-posteriore. Gli assoni di questi interneuroni si estendono verticalmente in piccoli fasci delle dimensioni di 100÷200 μm che attraversano tutti gli strati cellulari e terminano sopra i dendriti e le spine dendritiche delle cellule piramidali e sopra gli interneuroni inibitori; essi proiettano la zona locale dei terminali talamici in una colonna translaminare.

Come regola generale, tutte le altre azioni sinaptiche eccitatorie intrinseche alle colonne vengono imposte tramite le abbondanti ramificazioni collaterali ricorrenti degli assoni delle cellule piramidali. Questi circuiti di rientro creano un sistema eccitatorio bidirezionale, poiché le cellule piramidali degli strati sopragranulari innervano in questo modo le cellule piramidali degli strati infragranulari e viceversa. I collaterali di ogni assone staminale evitano la propria cellula d'origine ma si allungano diffusamente all'interno della zona ristretta costituita dalla popolazione colonnare locale delle cellule piramidali, fatta salva un'eccezione. Anche i collaterali ricorrenti terminano sopra gli interneuroni inibitori fornendo un meccanismo di inibizione pericolonnare. La fig. 6A illustra i vari tipi di cellule piramidali e non piramidali che ricevono afferenti talamocorticali e la fig. 6B cellule non piramidali intrinseche che non ricevono questo tipo di afferenti.

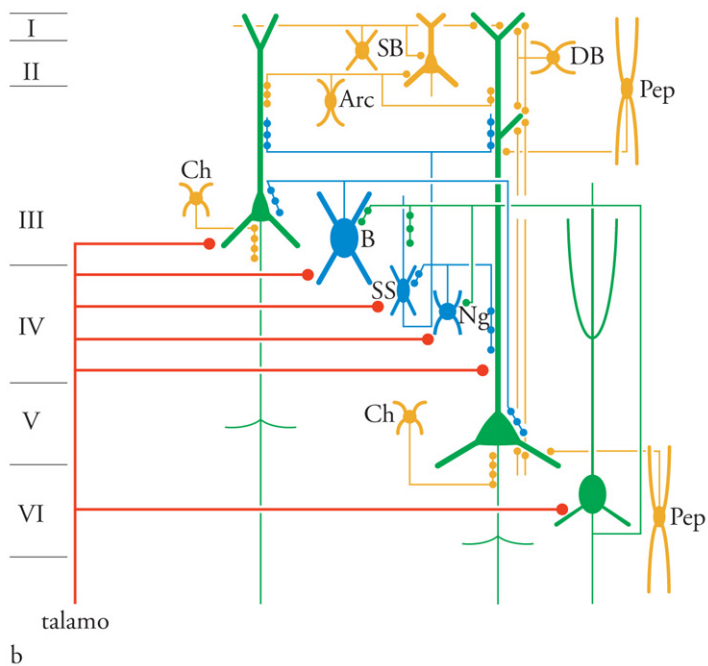
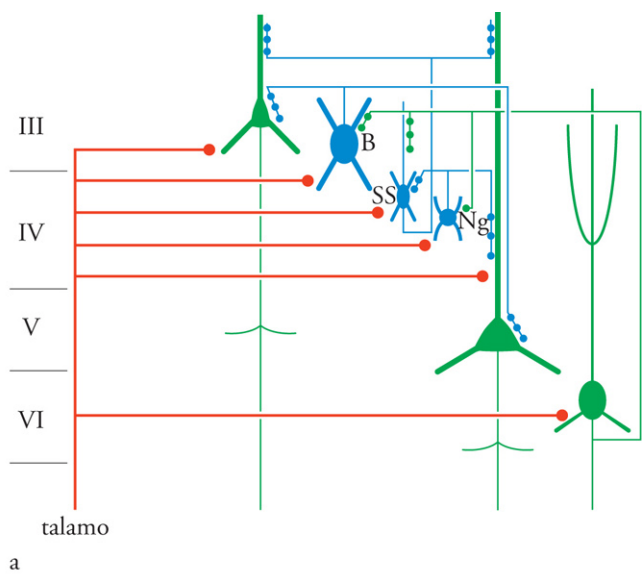


Fig. 6. Schema dei tipi di cellule neuronali della neocorteccia della scimmia che ricevono sinapsi di fibre talamocorticali (in rosso). (A) Le cellule illustrate comprendono cellule piramidali (in verde) del III, IV e VI strato e tre tipi di cellule non piramidali (in blu). (B) Allo schema precedente sono state aggiunte le cellule non piramidali intrinseche (in giallo) che non ricevono direttamente afferenze talamocorticali. (Arc: cellule ad arcata; B: cellule a canestro grandi; Ch: cellule a lampadario; DB: cellule a doppio bouquet; Ng: cellule nervose a forma gliale; Pep: cellule peptidergiche; SB: piccole cellule a canestro; SS: cellule non piramidali o stellate).

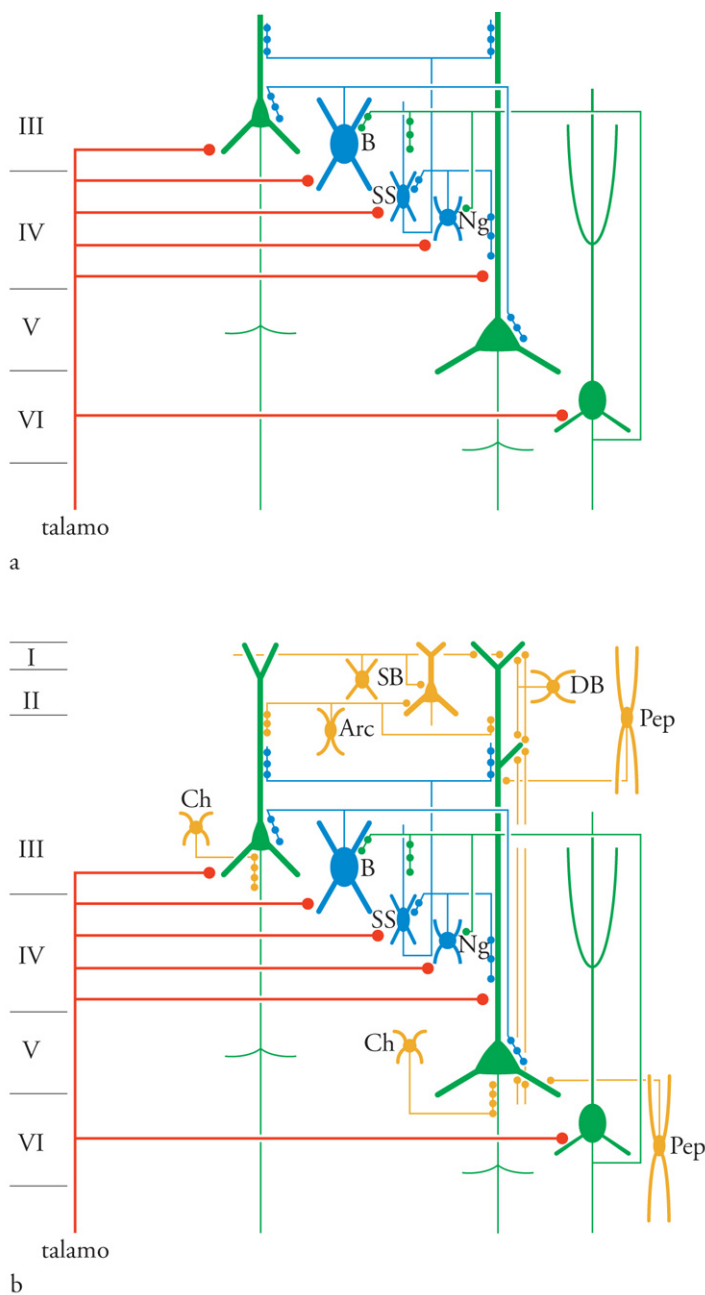


Fig. 6. Schema dei tipi di cellule neuronali della neocorteccia della scimmia che ricevono sinapsi di fibre talamocorticali (in rosso). (A) Le cellule illustrate comprendono cellule piramidali (in verde) del III, IV e VI strato e tre tipi di cellule non piramidali (in blu). (B) Allo schema precedente sono state aggiunte le cellule non piramidali intrinseche (in giallo) che non ricevono direttamente afferenze talamocorticali. (Arc: cellule ad arcata; B: cellule a canestro grandi; Ch: cellule a lampadario; DB: cellule a doppio bouquet; Ng: cellule nervose a forma gliale; Pep: cellule peptidergiche; SB: piccole cellule a canestro; SS: cellule non piramidali o stellate).

Altri collaterali ricorrenti degli assoni staminali delle cellule piramidali del II e del V strato di ognuno dei campi citoarchitettonici della corteccia postcentrale si proiettano orizzontalmente per lunghe distanze all'interno della propria area. Essi generano centri locali di contatti terminali simili a colonne che si incontrano

a intervalli orizzontali di circa 800 μm . Queste proiezioni costituiscono vie di unione tra colonne aventi proprietà modali simili, oppure permettono a quelle con proprietà differenti di convergere trasversalmente; gli aspetti funzionali di queste proiezioni sono ancora sconosciuti. Anche le fibre nervose afferenti talamocorticali specifiche terminano direttamente sopra i dendriti delle cellule piramidali del III, V e VI strato e forniscono vie alternative alle connessioni monosinaptiche attraverso la corteccia somatosensoriale. I potenziali postsinaptici inibitori evocati nelle cellule piramidali dalle scariche talamocorticali indicano che anche gli afferenti talamocorticali terminano direttamente sopra gli interneuroni inibitori locali.

Le cellule GABA-ergiche inibitorie del tipo a doppio bouquet sono presenti in tutti gli strati, ma più densamente nel II e nel III. Esse proiettano i propri assoni nei fasci verticali della corteccia e terminano sopra le cellule piramidali e gli interneuroni inibitori. Queste cellule impongono una potente corrente inibitoria a direzione verticale e possono anche esercitare una disinibizione a direzione verticale delle cellule piramidali sopra le quali si proiettano gli altri interneuroni inibitori. La stretta distribuzione verticale degli assoni a doppio bouquet è così specifica e limitata che crea uno stretto cilindro verticale di inibizione/disinibizione che attraversa verticalmente la corteccia. Inoltre, molte altre classi di interneuroni inibitori formano anelli locali di controllo sul corpo delle cellule piramidali e sopra i segmenti iniziali degli assoni. Le proiezioni orizzontali degli assoni mielinizzati delle cellule a canestro grandi si estendono per 1÷2 mm e forniscono un altro percorso all'inibizione pericolumnare. Le cellule nervose a forma gliale si proiettano sopra gli interneuroni eccitatori locali di tipo spinoso degli strati IV e IIIb formando un saldo anello inibitorio presso il sito dell'entrata corticale. Le cellule che usano peptidi come neurotrasmettitori terminano sopra i corpi e i dendriti delle cellule piramidali ma le conoscenze riguardanti la loro funzione sono scarse.

Tra tutti i sistemi corticali, i circuiti del I strato sono i meno noti; non si conoscono ancora le modalità attraverso le quali essi incidono sulla formazione e l'operatività delle colonne e rimane tuttora un mistero il ruolo da essi svolto in una funzione corticale più globale.

Neuroscienze

Enciclopedia del Novecento II Supplemento (1998)

di Antonio R. Damasio, Francesco Clementi, Vincenzo Bonavita e Simone Sampaolo

NEUROSCIENZE

Autocoscienza di Antonio R. Damasio

Sommario: 1. Introduzione. 2. La creazione delle immagini nella mente. a) Definizione di immagine. b) Zone cerebrali di formazione delle immagini. c) Sistemazione ed evocazione delle immagini. d) Meccanismo di formazione delle immagini. 3. La generazione di soggettività. a) Il senso cognitivo di sé. b) La teoria omuncolare. 4. Uno stato del sé, ma non un homunculus. a) Natura del sé cognitivo-neurale. b) Componenti centrali del sé. 5. Gli stati soggettivi: a) reazione del cervello alle immagini. b) Strutture cerebrali implicate nella reazione. c) Origine della soggettività.

1. Introduzione

Sebbene sia difficile formulare una definizione universalmente accettata di 'coscienza', la maggior parte di noi usa questo termine per riferirsi alla consapevolezza di sé e del proprio ambiente o, anche più specificamente, alla consapevolezza dell'ambiente dal punto di vista del sé. Quando nella mia mente ho un'immagine di un dato oggetto, io sento automaticamente che l'immagine appartiene a me e a nessun altro, che si è formata in me e non altrove e che usa la mia prospettiva e non quella di un altro. In altre parole, io compio un'autoreferenza, cioè genero soggettività. A nostro avviso la generazione di soggettività è la componente critica dei meccanismi biologici che permettono alla coscienza di emergere. La componente che presiede alla formazione di immagini è importante anche perché, dopo tutto, siamo sempre coscienti di qualcosa. Noi abbiamo la sensazione di soggettività nei confronti di ciò che può essere presente nella nostra mente solo sotto forma di immagine. Ma è anche possibile possedere delle immagini e non essere coscienti di esse, come accade in certi stati neurologici anormali. La formazione della soggettività segue la costruzione di immagini e crediamo che tale formazione sia l'ultimo stadio del processo che porta alla consapevolezza.

La comprensione della neurobiologia della coscienza, vale a dire della neurobiologia della soggettività, richiede, quindi, la comprensione delle basi neurali del sé. Il sé neurale si fonda su una continua segnalazione di stati del corpo e sull'attivazione, ripetuta continuamente, di ricordi autobiografici, compresi quei ricordi che si riferiscono a progetti per il futuro. Gli eventi autobiografici e la struttura corporea costituiscono, combinandosi, quel nucleo invariante su cui è possibile costruire un concetto di sé.

L'ipotesi qui prospettata è che la coscienza si determini quando, nel cervello di un organismo che sta formando un'immagine relativa a un dato oggetto, la rappresentazione di sé di quell'organismo viene modificata dal processo di formazione dell'immagine, e che anche il processo di modificazione sia rappresentato in forma di immagini.

È del tutto legittimo, per i biologi, studiare la coscienza, e non c'è ragione per dubitare che molti, o addirittura tutti, i meccanismi che concorrono alla generazione di questo complesso stato biologico possano, alla fine,

essere spiegati. Il formare immagini, il costruire un concetto di sé e l'essere in grado di avere una prospettiva soggettiva sulle immagini sono processi emersi e affermatasi nel corso dell'evoluzione, perché hanno favorito la sopravvivenza; non c'è una ragione evidente perché essi debbano essere meno accessibili all'indagine di quelli, per esempio, della memoria o del linguaggio. È, comunque, possibile che, poiché tutti i nostri sforzi investigativi dipendono dalla coscienza stessa, alcuni aspetti del processo rimangano nascosti e inaccessibili, sfuggendoci così almeno per qualche tempo.

Gli strumenti moderni delle neuroscienze cognitive hanno esteso la gamma dei mezzi a nostra disposizione per indagare la coscienza negli esseri umani; d'altronde, entro certi limiti, anche le ricerche sugli animali possono dare risultati interessanti. L'uomo ha certamente una mente più ricca di qualunque altra specie, ma credo che anche negli individui di molte altre specie operino gli stessi meccanismi di base che permettono la formazione della coscienza negli esseri umani.

Nell'affrontare la neurobiologia della coscienza, dobbiamo chiarire che il termine 'coscienza' è usato con molti significati, che vanno da 'consapevolezza di sé e dell'ambiente circostante' a 'coscienza morale'. Prenderemo in considerazione solo un aspetto del primo di questi significati, e cioè il processo di formazione della soggettività, considerato a livello di sistemi neurali macroscopici; pertanto non ci occuperemo di tutti gli altri aspetti della coscienza e non considereremo i dati neurobiologici a livello cellulare o molecolare. Questo articolo, inoltre, si basa sull'assunzione che la coscienza, nel senso sopra precisato, possa essere studiata dal punto di vista neurobiologico e sulla convinzione che, per progredire in questo campo, la neurobiologia debba innanzitutto capire come il cervello crei le immagini nella mente e come le immagini acquisiscano il carattere della soggettività, cioè che cosa permetta al soggetto di riconoscere queste immagini come proprie. È chiaro che la risposta della neurobiologia a entrambe le questioni non equivale a fornire una spiegazione esauriente delle basi neurali della coscienza, ma può rappresentare un proficuo inizio.

2. La creazione delle immagini nella mente

a) Definizione di immagine

Prima di trattare del modo in cui il cervello crea le immagini nella mente e del luogo in cui, dal punto di vista neuroanatomico, tali immagini si formano, dobbiamo definire il termine 'immagine'. Con questo termine ci riferiamo a configurazioni di attività mentale basate su varie modalità sensoriali: non esistono soltanto immagini visive, ma anche immagini di suoni, immagini di movimento nello spazio, ecc. Le immagini descrivono sia il mondo esterno sia quello interno all'organismo, cioè vi sono immagini degli stati viscerali, immagini della struttura muscolo-scheletrica, del movimento del corpo, ecc. (v. somatoestesia). Le immagini rappresentano entità sia verbali che non: sono immagini anche le corrispondenze acustiche e visive delle

parole e dei segni in generale. Noi usiamo il termine 'immagine' per riferirci a configurazioni generate sia nella percezione sia nella rievocazione dalla memoria.

b) Zone cerebrali di formazione delle immagini

In questo breve articolo non possiamo esaminare tutte le ragioni per cui siamo convinti che una parte essenziale della costruzione delle immagini dipenda dalle aree corticali primarie, ma qui di seguito ne spiegheremo i motivi principali. Sappiamo che la parziale distruzione della corteccia visiva primaria preclude sia la percezione che il ricordo di alcuni aspetti della visione. Per esempio, in seguito a lesione nelle aree corticali V2 e V4 i colori non possono essere né percepiti né immaginati: non si ha più la consapevolezza del colore, anche se altri aspetti della visione rimangono invariati e anche se si può essere consapevoli dell'assenza dell'esperienza del colore. Il fatto che la percezione e il ricordo siano compromessi da una lesione che interessa una stessa zona e che non si conosca alcun'altra zona la cui lesione produca lo stesso deficit suggerisce che le aree corticali sensoriali primarie siano sedi cruciali per i processi di costruzione delle immagini. A sostegno di questa ipotesi sta anche la constatazione che un danno ad aree corticali associative di ordine superiore, localizzate al di fuori di quelle sensoriali primarie, non impedisce la formazione delle immagini (v. Damasio e Damasio, 1993 e 1994; v. Kosslyn, 1994).

Noi abbiamo ipotizzato che le aree corticali sensoriali primarie relative a ciascuna modalità sensoriale formino le configurazioni neurali che costituiscono la base delle immagini, con la collaborazione di strutture del talamo e dei collicoli. L'ipotesi si fonda sui risultati forniti da studi condotti su individui che presentavano lesioni e da studi neurofisiologici in Primati non umani, nonché su modelli conosciuti di connessione neuroanatomica. Per quanto riguarda la corteccia cerebrale, il processo richiede la cooperazione di varie regioni corticali primarie interconnesse (v. emisferi cerebrali: Interazioni interemisferiche cerebrali). Sebbene gli esatti meccanismi che realizzano tale processo siano sconosciuti, sembra che l'attività coordinata nel tempo di queste aree corticali primarie e delle stazioni sottocorticali a esse interconnesse generi l'elemento rappresentativo di attività corrispondente a ciò che noi chiamiamo 'immagine' (v. TONI e altri, 1992; v. Zeki, 1993; v. Churchland e altri, 1994; v. Crick, 1994).

c) Sistemazione ed evocazione delle immagini

Le immagini hanno elementi rappresentativi organizzati spazialmente e temporalmente. Nel caso delle immagini visive, somatosensitive e acustiche, tali elementi sono organizzati topograficamente. La corrispondenza fra la struttura dell'elemento rappresentativo di attività neurale nelle aree corticali sensoriali primarie e la struttura degli stimoli che l'hanno evocato è impressionante, come mostra il lavoro di Roger Tootell e altri (v., 1988). Abbiamo ipotizzato che le rappresentazioni topografiche possano essere affidate alla

memoria in forma di sistemi non organizzati topograficamente ed essere immagazzinate in forma inattiva nelle regioni corticali o nei nuclei sottocorticali. Le rappresentazioni organizzate topograficamente possono essere rigenerate dalla successiva riattivazione di questi sistemi inattivi che, quindi, dalle loro sedi, inviano segnali retroattivi verso le aree corticali sensoriali primarie (v. Damasio, *The brain binds...*, e *Time-locked...*, 1989; v. Damasio e Damasio, 1994). Le reti neurali artificiali forniscono un quadro concettuale per capire come ciò sia possibile (v., per es., Churchland, 1995). Il processo di 'retroattivazione' usa gli elementi rappresentativi di connessione a feedforward e a feedback che caratterizzano l'architettura delle regioni corticali e dei nuclei sottocorticali. In breve, le rappresentazioni topografiche possono essere suscitate o da segnali esterni al cervello - nel processo percettivo - o - nel processo di rievocazione - da segnali interni al cervello, provenienti da registrazioni mnemoniche conservate in forma di sistemi.

d) Meccanismo di formazione delle immagini

Quasi tutte le nostre esperienze sono basate su immagini delle diverse modalità sensoriali, che si formano approssimativamente nell'arco della stessa finestra temporale. Poiché le aree corticali sensoriali di ciascuna modalità sensoriale non sono contigue né interconnesse direttamente, le nostre esperienze polimodali devono derivare dall'attività convergente di varie regioni separate del cervello, e non dall'attività di una singola regione. Questo significa che la costruzione delle immagini è un processo le cui componenti sono spazialmente separate; eppure alla nostra mente e alle nostre esperienze appare 'integrato' anziché parcellizzato. Come avviene questa 'integrazione'? La nostra idea è che la sincronizzazione di attività separate svolga un ruolo essenziale nell'integrazione. Noi sospettiamo che il meccanismo neurale preposto alla sincronizzazione comporti l'invio di segnali da parte di insiemi di neuroni sia corticali che sottocorticali, capaci di scaricare simultaneamente verso molte popolazioni separate di neuroni. Abbiamo chiamato questi insiemi 'zone di convergenza' (v. Damasio, *The brain binds...*, e *Time-locked...*, 1989): esse ricevono segnali convergenti e danno origine a segnali divergenti verso i siti di provenienza dei segnali convergenti. Le zone di convergenza contengono un deposito di conoscenze in forma di sistemi pronti per essere attivati. Tali zone, interamente localizzate nelle aree corticali associative e nei nuclei sottocorticali, durante la rievocazione generano immagini nelle aree corticali sensoriali primarie, mentre durante la percezione rinforzano le immagini percepite accrescendone la coerenza.

L'idea che la sincronizzazione svolga un ruolo nella costruzione delle immagini nell'ambito di una modalità sensoriale è stata prospettata da alcuni autori (v. Malsburg e Bienenstock, 1986; v. Edelman, 1987; v. Singer e altri, 1990), mentre altri, tra cui noi, sostengono che la sincronizzazione può essere essenziale per l'integrazione polimodale (v. Damasio, *Time-locked...*, 1989; v. Llinas, 1993).

Ma gli elementi rappresentativi sensoriali organizzati temporalmente e topograficamente qui discussi non bastano a formare l'esperienza di un'immagine, cioè la coscienza di un'immagine. Senza dubbio, rievocazione o percezione non possono avvenire senza l'attività concertata di aree corticali sensoriali primarie, del corpo genicolato laterale e del collicolo superiore, ma non crediamo che l'attività di queste aree sia sufficiente a rendere il soggetto cosciente di un'immagine. L'emergere della consapevolezza necessita di altre strutture, corticali e non, e di altri processi. Le belle immagini di attivazione sensoriale che le moderne tecniche di neuroimmagine permettono di ottenere non corrispondono alle esperienze visive coscienti, sebbene indichino un sottoinsieme delle attività neurali necessarie per rendere le immagini cosce.

3. La generazione di soggettività

a) Il senso cognitivo di sé

L'idea che esista un senso cognitivo di sé, che si poggia su strutture e meccanismi neurobiologici, non significa che tutte le immagini, e le manipolazioni delle immagini, che hanno luogo nel cervello siano controllate da un elemento unico e centrale deputato al riconoscimento e al controllo, né che esso sia addirittura situato in una sola parte del cervello. Il nostro punto di vista è in linea con le critiche rivolte all'ipotesi che la coscienza risieda in una sola regione del cervello (v. Churchland, 1984 e 1995; v. Churchland e Sejnowski, 1992; v. Damasio, *Time-locked...*, e *The brain binds...*, 1989; v. Dennett, 1991). Semplicemente, intendiamo dire che le nostre esperienze vengono elaborate in una prospettiva coerente - quella del singolo soggetto - che è diminuita o sospesa negli stati patologici del cervello, quali le forme estreme di anosognosia, alcuni tipi di crisi epilettiche, i casi di personalità multipla e la schizofrenia.

L'idea che ciascuno ha di sé non è legata ai pronomi 'io' o 'me': è infatti difficile immaginare come i meccanismi di costruzione del linguaggio avrebbero potuto evolversi, se gli animali non avessero posseduto 'sé' precedenti il linguaggio. Gli animali sprovvisti di linguaggio hanno probabilmente un sé, nel senso descritto sopra, sebbene la complessità del sé sia maggiore nei Primati superiori e ancora più grande negli esseri umani. Il linguaggio arricchisce il sé dell'uomo anche se non è indispensabile alla sua formazione.

b) La teoria omuncolare

La soluzione usuale del problema del sé è rappresentata dall'ipotesi dell'homunculus (v. sistema piramidale: *Fisiologia del sistema piramidale*), che consiste nel postulare l'esistenza, nel cervello, di una 'creatura' con una ben definita collocazione spaziale, davanti ai cui occhi scorrerebbero le immagini, e nell'assumere che questa 'creatura' disponga delle conoscenze necessarie per interpretarle. Ma questa soluzione sarebbe valida solo se l'homunculus pensante avesse un suo cervello e sue conoscenze, sicché si dovrebbero, a loro volta, spiegare le sue immagini: chiaramente la soluzione dell' 'homunculus spaziale' non è accettabile, perché perpetua il

problema all'infinito. La fallacia di questa ipotesi è ora ampiamente riconosciuta, ma, poiché il sé è stato tradizionalmente concettualizzato in termini omuncolari, i tentativi di rimuovere il concetto di homunculus hanno spesso comportato l'abolizione della nozione di 'sé' e, per estensione, della nozione di soggettività. Ma rifiutare l'idea che esista un homunculus nel nostro cervello non modifica il fatto che, nella maggior parte dei casi, le immagini della nostra mente sono elaborate in una prospettiva coerente. Sostenere che il nostro cervello non fa altro che formare immagini e che noi siamo coscienti di queste immagini non è una buona soluzione: la natura dell'entità neurale che è conscia di queste immagini rimane non specificata. Ciò di cui abbiamo bisogno è un'ipotesi plausibile e verificabile circa la struttura neurale che è alla base del sé, così da poter evitare i problemi dell'homunculus.

4. Uno stato del sé, ma non un homunculus

a) Natura del sé cognitivo-neurale

Le linee essenziali della nostra ipotesi sulla natura del sé, che abbiamo descritto dettagliatamente altrove (v. Damasio e Damasio, 1994; v. Damasio, 1994), sono le seguenti.

Il sé è formato da una collezione di immagini riguardanti la maggior parte degli aspetti costanti del nostro organismo e delle sue interazioni, compresi alcuni aspetti della struttura corporea e del funzionamento del corpo (tra cui un repertorio dei movimenti eseguibili con l'intero corpo e con le sue parti), i tratti che definiscono l'identità (legami di parentela, attività, luoghi) e i modelli di risposta - motoria e sensoriale - specifici. Questa collezione di immagini ha un'alta probabilità di essere evocata ripetutamente e continuamente dai vari stati del corpo oppure per attivazione da parte di sistemi rappresentativi, come accade con le registrazioni riguardanti l'identità e i modelli di risposta specifici.

Il sé cognitivo-neurale è quindi l'equivalente cognitivo-neurale di un concetto, non differente, nella sua essenza, dal concetto di un particolare oggetto la cui rappresentazione si basa sulla registrazione separata delle sue proprietà (quali forma, dimensione, colore, tessitura, movimento caratteristico, ecc.) in diversi sistemi neurali, dai quali possono essere rievocate congiuntamente non appena il concetto viene attivato.

b) Componenti centrali del sé

Abbiamo ipotizzato che le componenti centrali del concetto di sé riguardino sia la struttura corporea, cioè i visceri e l'armatura muscolo-scheletrica, sia i fondamenti dell'identità individuale, cioè le attività usuali, le preferenze, le relazioni con gli oggetti e con le altre persone. Queste componenti centrali cambiano in modo sostanziale durante l'infanzia e l'adolescenza, mentre mutano meno e più gradualmente durante la vita adulta. Il concetto di sé è legato agli stati viscerali e al meccanismo neurale che rappresenta e regola i processi biologici fondamentali, la cui modificabilità è minima. La situazione degli stati viscerali viene continuamente

segnalata al midollo spinale, alla formazione reticolare del tronco-encefalo e quindi al complesso delle aree corticali somatosensoriali dell'insula, all'operculum parietale e alle zone corticali parietali postrolandiche, nonché a quelle limbiche (la segnalazione è bilaterale, ma, a livello corticale, si ha, nell'uomo, l'effetto dominante dell'emisfero destro; v. emisferi cerebrali: Dominanza cerebrale; sistema reticolare ascendente, somatoestesia).

Gli scettici possono obiettare che di solito noi non siamo consapevoli degli stati del nostro corpo e che, quindi, è strano che la soggettività sia dipendente dai segnali corporei. Ma questa obiezione, come abbiamo sostenuto altrove (v. Damasio, 1994), è debole: è vero che la nostra attenzione generalmente è concentrata su segnali non corporei, ma essa può spostarsi rapidamente, soprattutto in situazioni quali il dolore o l'agitazione emotiva. Inoltre il discorso che stiamo portando avanti riguarda in particolar modo lo sviluppo storico - evolutivo e individuale - del senso di sé, più che la situazione di un adulto. Infine, poiché siamo tutti d'accordo sul fatto che i meccanismi deputati a far emergere la soggettività sono occulti, non vi sono ragioni perché gli stati corporei che abbiamo ipotizzato come loro impalcatura debbano essere facilmente percepiti dalla coscienza. La questione importante è decidere se tali meccanismi siano plausibili, non se ne siamo, o ne potremmo essere, consapevoli.

5. Gli stati soggettivi

a) Reazione del cervello alle immagini

È importante indicare come la soggettività possa emergere dal meccanismo neurale sopra descritto. Il cervello reagisce alle immagini corrispondenti a un'entità percepita di recente - per esempio, un viso - non appena queste si formano nelle aree corticali sensoriali primarie. Secondo la nostra teoria, ciò accade perché segnali indotti da quelle immagini sono trasmessi a diversi nuclei sottocorticali (per esempio, l'amigdala e il talamo) e a molte regioni corticali (nei settori temporale, parietale e frontale), e anche perché questi nuclei e queste regioni corticali contengono sistemi atti a rispondere a determinate classi di segnali. Il risultato è che tali sistemi rappresentativi presenti nei nuclei e nelle regioni corticali vengono attivati e, di conseguenza, inducono un insieme di cambiamenti nello stato del soggetto. Questi cambiamenti, a loro volta, alterano momentaneamente lo stato corporeo e perturbano la configurazione corrente del sé. In altre parole, il molteplice processo di riconoscimento di un oggetto genera un insieme di risposte - nervose autonome, ormonali, motorie, 'eidetiche', ecc. - che cambiano lo stato dell'organismo per un certo intervallo di tempo. Noi suggeriamo che l'essenza dei meccanismi di coscienza neurali risieda nella perturbazione degli stati del sé da parte di immagini formatesi di recente.

Sebbene il processo di risposta che abbiamo delineato sopra implichi conoscenza (conoscenza registrata in tutto il cervello sotto forma di rappresentazioni sistematizzate innate o acquisite), esso certamente non implica che qualsiasi componente del cervello 'sappia' che le risposte vengono stimulate dalla presenza di un'entità. Quando il cervello di un organismo genera un insieme di risposte all'immagine di un'entità, l'esistenza di una rappresentazione di sé non può far sì che il sé sappia che il suo organismo sta rispondendo. Il sé, come descritto sopra, non può sapere: non è un homunculus. Arriviamo così all'interrogativo cruciale di questa teoria: come possono generare soggettività l'immagine corrente di un'entità, da una parte, e un insieme di immagini dello stato dell'organismo, dall'altra, l'una e l'altro esistenti come momentanee attivazioni di rappresentazioni? Una possibile risposta è rappresentata dal seguente processo: 1) il cervello crea una descrizione della perturbazione dello stato dell'organismo, conseguente alle risposte del cervello stesso alla presenza di un'immagine; 2) la descrizione del processo di perturbazione assume una forma 'eidetica' e diventa l'immagine del sé perturbato; 3) questa immagine è mostrata accanto, o in rapido avvicendamento, all'immagine che ha scatenato la perturbazione.

b) Strutture cerebrali implicate nella reazione

Per realizzare questo processo il cervello deve avere: 1) strutture neurali che sostengono l'immagine di un oggetto; 2) strutture neurali che sostengono le immagini del sé; 3) strutture neurali interconnesse con le prime e con le seconde, costituite da un terzo insieme di neuroni, che abbiamo chiamato 'zona di convergenza' e che abbiamo indicato come il substrato neurale necessario per costruire i sistemi rappresentativi nelle regioni corticali e nei nuclei sottocorticali.

Questo terzo insieme di neuroni riceve segnali sia dalla rappresentazione di un oggetto sia da quelle del sé, quando queste ultime sono perturbate dalla reazione all'oggetto. In altre parole, il terzo insieme di neuroni può costruire una rappresentazione sistematizzata del sé nel processo di cambiamento, mentre l'organismo risponde a un oggetto. Questa rappresentazione sistematizzata sarebbe proprio dello stesso tipo di quelle che il cervello ininterrottamente costruisce, alimenta e rimodella nelle condizioni generali di apprendimento. L'informazione necessaria a costruire una tale rappresentazione sistematizzata è prontamente disponibile: poco dopo aver visto un oggetto e ottenuto una sua rappresentazione nelle aree corticali visive primarie, noi possediamo anche molte rappresentazioni dell'organismo che reagisce all'oggetto, in varie regioni somatosensoriali.

Come tutti gli altri sistemi rappresentativi, la rappresentazione sistematizzata in esame possiede la potenzialità, una volta formata, di riattivare un'immagine in qualsiasi area corticale sensoriale primaria con cui

sia connessa. L'immagine fondamentale sarebbe quella del corpo dell'organismo nel processo di risposta a un particolare oggetto, cioè un'immagine somatosensoriale.

c) Origine della soggettività

Noi abbiamo avanzato l'ipotesi che tutti gli elementi sopra descritti - un oggetto che viene rappresentato, un organismo che risponde all'oggetto della rappresentazione e una descrizione dell'organismo nel processo di cambiamento in risposta all'oggetto - siano presenti simultaneamente nella memoria di lavoro e siano situati, l'uno accanto all'altro o in rapido avvicendamento, nelle aree corticali sensoriali primarie. La soggettività emergerebbe durante l'ultimo stadio, quando il cervello produce contemporaneamente non solo l'immagine di un'entità, del sé e delle risposte dell'organismo, ma anche un altro tipo di immagine: quella dell'organismo nell'atto di percepire un'entità e di rispondere a essa. Quest'ultimo tipo di immagine è all'origine della soggettività (v. Damasio, 1994).

La rappresentazione sistematizzata elaborata dal terzo insieme di neuroni di cui sopra fornisce una visione schematica dei principali protagonisti, l'oggetto e il sé, da una prospettiva esterna a entrambi, una descrizione non verbale di cosa stia avvenendo a quei protagonisti, realizzata con gli strumenti base dei sistemi sensoriale e motorio. Ciò che abbiamo in mente non è creato né percepito da un homunculus e non necessita di linguaggio.

Il cervello degli Uccelli e dei Mammiferi può essere in grado di costruire descrizioni dello stesso tipo. In effetti, la soggettività emergerebbe in ogni organismo fornito di una certa rappresentazione di sé, della capacità di formare immagini e di rispondere a esse, e della capacità di generare un qualche tipo di descrizione-sistema rappresentativo in un terzo insieme di neuroni. Le capacità narrative del second'ordine fornite dal linguaggio permetterebbero agli esseri umani di creare descrizioni verbali, oltre a quelle non verbali, e porterebbero a quella forma sofisticata di soggettività che emerge dall'ultimo processo. La macchina seriale virtuale proposta da Dennett (v., 1991) opererebbe a tale alto livello piuttosto che al livello elementare al quale funzionerebbe il meccanismo di base della soggettività da noi ipotizzato. La nostra ipotesi è abbastanza diversa da quella, avanzata da Crick (v., 1994), relativa alla base neurale della consapevolezza visiva, mentre ha alcuni importanti aspetti in comune con l'ipotesi di Edelman (v., 1992) sulla coscienza primaria, ipotesi che sviluppa il concetto di valore biologico e postula un sé radicato in sistemi omeostatici.

Una macchina fornita di dispositivi di costruzione di immagini, della capacità di rappresentare con immagini la propria struttura fisica e i propri stati fisici, e di una conoscenza dei sistemi rappresentativi del proprio passato probabilmente non sarebbe in grado di generare soggettività, anche se dovesse costruire immagini del proprio 'sé perturbato', come descritto sopra. A meno che, naturalmente, il corpo della macchina non fosse

vivente, con proprietà derivate dal proprio stato interno instabile, da proprie inerenti necessità di sopravvivenza e dalla propria intrinseca cognizione che ciò che favorisce la sopravvivenza è prezioso. Il dispositivo neurale che secondo la nostra ipotesi presiede alla formazione della soggettività ha la funzione di connettere le immagini con lo svolgersi della vita.

Basi molecolari della comunicazione neuronale di Francesco Clementi

Sommario: 1. Organizzazione del sistema nervoso. a) Composizione cellulare del tessuto nervoso. b) Organizzazione neuronale. 2. La sinapsi. 3. I neurotrasmettitori. a) Neurotrasmettitori classici. b) Amminoacidi. c) Neuropeptidi. 4. Canali ionici voltaggio-dipendenti. a) Trasmissione dell'informazione attraverso il potenziale d'azione. b) Struttura dei canali voltaggio-dipendenti. c) Composizione dei canali ionici. d) Regolazione dei canali ionici. 5. Recettori. a) La scoperta dei recettori. b) Superfamiglie recettoriali. c) Recettori canale. d) Recettori accoppiati a proteine G. e) Recettori con attività tirosinchinasica. 6. Modulazione delle risposte ai neurotrasmettitori. 7. Modulazione patologica e farmacologica della comunicazione neuronale. a) Integrazione di più informazioni nella risposta neuronale. b) Canali ionici. c) Recettori nicotinici. d) Traduzione del segnale. e) I farmaci come strumenti specifici per analizzare e modificare la comunicazione nervosa. 8. Conclusioni. □ Bibliografia.

1. Organizzazione del sistema nervoso

La costruzione e il funzionamento di un tessuto o di un organo presuppongono che le cellule siano tra loro connesse non solo fisicamente e meccanicamente, ma anche funzionalmente. Questo significa che ciascuna cellula può non solo rendersi conto dello stato morfofunzionale di cellule vicine e di conseguenza modificare il suo atteggiamento funzionale, ma anche modificare la risposta di altre cellule a stimoli esterni.

Nel tessuto nervoso la comunicazione intercellulare è di estrema importanza proprio perché attraverso di essa questo tessuto può svolgere la sua funzione essenziale di integrazione e di coordinamento. Inoltre, a differenza di altri tessuti, il tessuto nervoso non solo coordina le informazioni al suo interno, ma svolge un coordinamento generale tra tutti gli organi dell'organismo attraverso una fitta rete di connessioni.

a) Composizione cellulare del tessuto nervoso

L'unità fondamentale di base del sistema nervoso è il neurone, una cellula specializzata per ricevere ed elaborare informazioni e trasmetterle ad altri neuroni, a cellule muscolari o ghiandolari (v. fig. 1). Il neurone è

in genere una cellula molto allungata, costituita da un corpo cellulare, che contiene il nucleo e la maggior parte dei ribosomi, del reticolo endoplasmatico rugoso e dei lisosomi. Al suo interno si attua la sintesi di quasi tutte le proteine e degli organuli neuronali; le macromolecole sintetizzate vengono assemblate negli organuli citoplasmatici e in complessi proteici e quindi trasportate nei dendriti e nell'assone. Dal corpo cellulare si dipartono una serie di propaggini, i dendriti, che possono essere considerati una sorta di antenne deputate a ricevere i segnali dagli assoni di altre cellule nervose. La superficie ricevente del neurone, tra dendriti e corpo cellulare, diviene così molto estesa, fino a poter accogliere talvolta più di 100.000 sinapsi. Da una regione precisa del neurone, chiamata asson hillock, si diparte un lungo e stretto prolungamento, l'assone, la cui funzione è quella di condurre il segnale informativo del neurone alle altre cellule; esso alla fine può sfioccarsi in numerosi assoni più piccoli, che possono quindi prendere contatto e trasmettere un segnale contemporaneamente a più cellule (v. fig. 2). La lunghezza di questo prolungamento neuronale, il cui diametro è spesso inferiore al micron (μm), può andare da qualche micron (interneuroni) a molti centimetri (motoneuroni), e arrivare anche a più di un metro: si pensi a un motoneurone posto nel midollo spinale che debba innervare un muscolo delle dita dei piedi. Esso contiene alla sua estremità una delle strutture più delicate e complesse di questa cellula, la sinapsi, il punto nel quale avviene la trasmissione dell'impulso nervoso tra una cellula e l'altra. Per consentire i continui contatti, non solo elettrici ma anche metabolici, tra il corpo cellulare e le parti più distali dei dendriti e dell'assone, nel neurone sono particolarmente sviluppati i microtubuli, i 'motori' cellulari, e il citoscheletro, cioè l'apparato necessario per attuare il trasporto del materiale cellulare in tutte le direzioni (v. neurobiologia: Trasporto assonale).

Naturalmente, nel tessuto nervoso sono presenti anche altre cellule, le cellule gliali, le quali, fornendo soprattutto supporto meccanico e nutritivo ai neuroni ed esercitando un controllo metabolico del milieu intercellulare, permettono il regolare funzionamento dei neuroni. Le cellule gliali possono essere differenziate in diversi sottotipi: tra questi ricordiamo le cellule di Schwann, responsabili della costruzione della guaina mielinica attorno agli assoni, e le cellule microgliali, che hanno una funzione simile a quella dei macrofagi e attraverso la secrezione di interleuchine possono influenzare non solo la risposta immune a livello del sistema nervoso, ma anche l'attività e la reattività neuronale.

Le strutture attraverso le quali si attua l'interazione cellulare sono le giunzioni cellulari, classificabili in tre gruppi funzionali: giunzioni occludenti (tight junctions), comunicanti e ancoranti (v. fig. 3A). Le giunzioni occludenti sono deputate a sigillare le cellule tra di loro in modo che la permeabilità tra di esse sia praticamente nulla e neppure molecole di piccole dimensioni possano attraversarle: questo è reso possibile dall'esistenza di una struttura complessa di particelle intramembrana poste in file ordinate nelle cellule adiacenti e combacianti perfettamente tra loro (v. fig. 3B); queste giunzioni sono tipiche dei tessuti epiteliali e

vengono utilizzate per isolare completamente il mondo esterno dal milieu intérieur. Le giunzioni comunicanti permettono alle cellule di comunicare tra loro da un punto di vista metabolico, controllando il passaggio di ioni e piccole molecole: sono infatti costituite da raggruppamenti di piccoli canali che mettono in comunicazione il citoplasma di due cellule vicine e permettono il passaggio bidirezionale di molecole fino a un peso molecolare di 1.500 circa (v. fig. 3C); attraverso di esse passano, per esempio, gli ioni (e tra essi il più importante è il calcio), AMP e cAMP, ATP e altre molecole utili per il metabolismo cellulare; l'apertura e la chiusura di queste giunzioni è controllata dalla concentrazione di ioni Ca^{2+} intracellulari. L'adesione meccanica tra le varie cellule si ottiene, invece, attraverso le giunzioni ancoranti, che legano le cellule alla membrana basale, e i desmosomi, che le tengono legate tra loro.

Nel tessuto nervoso sono presenti tutte e tre le strutture di interazione intercellulare sopra descritte, che sono poste sia tra i neuroni, sia tra i neuroni e le cellule gliali, sia tra le cellule gliali. Per quanto riguarda la comunicazione neuronale, le giunzioni più interessanti sono quella comunicante e soprattutto un altro tipo di giunzione, la sinapsi, elaborata appositamente dalla cellula nervosa per comunicare in modo controllato e specifico con altre cellule, della quale discuteremo più avanti e alla quale è dedicato uno specifico articolo (v. sinapsi). Gli altri tipi di giunzione sono invece importanti non solo durante lo sviluppo, in quanto permettono a ogni cellula sia di trovare la giusta via durante la migrazione, sia il riconoscimento reciproco (v. Shatz, 1992), ma anche dopo che il tessuto nervoso si è sviluppato poiché consentono di mantenere e solidificare i rapporti tra le cellule. Nel cervello svolgono un ruolo importante le giunzioni occludenti poste tra le cellule endoteliali dei capillari, in quanto garantiscono la tenuta della barriera ematoencefalica che costituisce una sorta di isolamento biochimico tra il liquido extracellulare del cervello e il sangue. (Per una descrizione più esauriente del neurone, delle cellule gliali e dell'organizzazione del sistema nervoso, v. neurone e impulso nervoso; neurobiologia).

b) Organizzazione neuronale

Due delle fondamentali funzioni del sistema nervoso sono la coordinazione della risposta a uno stimolo e la modulazione della risposta dell'organismo agli stimoli esterni. Schematicamente abbiamo, quindi, un sistema per riconoscere lo stimolo (i neuroni sensitivi), un sistema per ordinare la risposta, in genere motoria (i neuroni motori), e vari sistemi per coordinare, modulare e integrare le informazioni tra questi due sistemi (gli interneuroni).

Negli organismi più semplici, per esempio in molti Invertebrati, i neuroni sensitivi si connettono direttamente con i neuroni motori, e non vi sono quindi grandi possibilità di modulare la risposta (v. fig. 4A). Negli organismi che hanno raggiunto un certo grado di sviluppo, i neuroni sono collegati tra loro a formare dei

circuiti o delle vie neuronali. Un esempio di circuito neuronale tra i più semplici è quello dell'arco riflesso, scoperto fin dagli inizi delle ricerche in neuroscienze. Lo scopo dell'arco riflesso è quello di collegare i neuroni sensitivi con i neuroni motori attraverso una serie di interneuroni: in tal modo un neurone sensitivo può mandare la sua informazione a più neuroni motori e un motoneurone può modificare la sua attività ricevendo le informazioni provenienti da più neuroni sensitivi; gli interneuroni integrano le informazioni che vengono dai motoneuroni e dai neuroni sensitivi, favorendo quindi la coordinazione e la modulazione della risposta dell'organismo allo stimolo ambientale (v. fig. 4B). Nel sistema nervoso centrale (SNC), che è il punto più alto d'integrazione dell'informazione e la sede delle elaborazioni intellettive ed emotive, i circuiti nervosi sono assai più complessi ed è molto difficile dissecarli nelle diverse parti, anche se le metodiche moderne di immunocitochimica e di biologia cellulare e molecolare hanno permesso di identificare le vie nervose più importanti.

La caratteristica dei circuiti nervosi consiste soprattutto nella specificità delle connessioni neuronali che si realizzano attraverso le sinapsi; tale specificità è ottenuta sia attraverso collegamenti precisi sul piano spaziale, sia attraverso la compatibilità tra il neurotrasmettitore secreto dalla parte presinaptica e i recettori presenti in quella postsinaptica.

2. La sinapsi

La sinapsi è la struttura che permette il passaggio unidirezionale dell'informazione da una cellula a un'altra. Questa struttura si trova alla fine dell'assone e rappresenta il punto di contatto tra l'assone stesso e la cellula innervata ed è qui che avviene la trasmissione dell'informazione (v. fig. 1). La sinapsi ha le seguenti proprietà, che sono essenziali per formare un corretto circuito neuronale: 1) la trasmissione del segnale è unidirezionale, dall'assone alla cellula innervata e non viceversa; 2) la trasmissione è focalizzata, avviene cioè non solo con una cellula ben precisa, ma anche con una porzione precisa della cellula, in modo che il segnale sia localizzato e puntiforme; 3) la trasmissione è specifica, in quanto si basa sull'interazione tra il neurotrasmettitore liberato dalla parte presinaptica e un recettore specifico presente sulla membrana postsinaptica: solo quando i due elementi, trasmettitore e recettore, sono compatibili avviene la trasmissione nervosa; inoltre, la risposta postsinaptica dipende dal tipo di recettore attivato: per esempio l'acetilcolina può indurre sia una trasmissione assai rapida dell'impulso nervoso, se eccita recettori di tipo nicotinico, sia una risposta lenta e di tipo metabolico, se eccita recettori di tipo muscarinico; 4) la trasmissione del segnale può essere modulata nell'intensità attraverso sofisticati meccanismi che controllano sia la secrezione di neurotrasmettitore, sia la presenza e la reattività dei recettori, sia l'interazione tra neurotrasmettitore e recettore. Per ottemperare a queste funzioni la sinapsi ha una struttura particolare che è già stata descritta precedentemente (v. sinapsi).

Le sinapsi hanno dimensioni diverse (da qualche micron² nelle giunzioni tra neuroni fino a molti micron² nella giunzione tra motoneurone e cellula muscolare), ma la loro struttura di base è simile e consiste in: a) una parte presinaptica, che contiene gli enzimi per sintetizzare i neurotrasmettitori e il complesso apparato per immagazzinarli e secernearli; b) uno stretto spazio intrasynaptico di 200 Å nel quale viene rilasciato il neurotrasmettitore, ricco di proteine della matrice extracellulare e, talvolta, di enzimi implicati nel metabolismo del neurotrasmettitore: le sue funzioni sono quelle di fissare meccanicamente il contatto sinaptico tra le due cellule attraverso le numerose molecole di adesione, di rendere disponibile uno spazio limitato nel quale il mediatore può temporaneamente rimanere in alta concentrazione senza essere diluito dal liquido extracellulare, di cooperare al mantenimento della struttura della membrana postsinaptica, soprattutto favorendo l'addensamento dei recettori attraverso molecole che collegano la matrice extracellulare ai recettori; c) una membrana postsinaptica, nella quale sono presenti i recettori specifici per il neurotrasmettitore liberato dalla presinapsi, la cui struttura può essere semplice, come nella giunzione tra due cellule nervose, oppure più elaborata, come nella giunzione neuromuscolare (v. fig. 5); la sua funzione più importante è quella di contenere recettori per i neurotrasmettitori e altre strutture necessarie alla trasduzione del segnale, come canali ionici e pompe; essa inoltre garantisce che queste strutture molecolari si trovino nella giusta posizione per svolgere il loro lavoro: per esempio, i recettori debbono essere localizzati proprio in corrispondenza del punto in cui il neurotrasmettitore è secreto dalla parte presinaptica; ciò è possibile in quanto nella parte citoplasmatica, sotto la membrana plasmatica, è presente un citoscheletro, con un'organizzazione spaziale ben precisa, al quale i recettori o le altre molecole di membrana si ancorano attraverso proteine specifiche che fanno da ponte tra queste strutture. Tale complesso citoscheletro-recettori conferisce alla membrana postsinaptica, vista al microscopio elettronico, il particolare aspetto mostrato nella fig. 5.

La funzione della sinapsi è relativamente semplice (v. fig. 6). Nel momento in cui la membrana presinaptica è invasa dal potenziale d'azione, essa si depolarizza e questo cambiamento di voltaggio viene percepito dai canali per il calcio voltaggio-dipendenti, che si aprono lasciando entrare il Ca²⁺: attraverso un meccanismo complesso recentemente delucidato, questo ione permette che le vescicole sinaptiche ricche di neurotrasmettitore si fondano con la membrana plasmatica e liberino il neurotrasmettitore nello spazio sinaptico. Il neurotrasmettitore liberato attiva i recettori postsinaptici e in questo modo il segnale si trasferisce dalla fibra presinaptica alla cellula innervata. In seguito, le vescicole sinaptiche svuotate del neurotrasmettitore ritornano all'interno della presinapsi per ricaricarsi ed essere pronte per un nuovo ciclo (v. McPherson e De Camilli, 1994). Il neurotrasmettitore liberato nello spazio sinaptico viene rimosso attraverso diversi meccanismi che possono anche funzionare contemporaneamente: può essere ripreso dalla presinapsi, attraverso trasportatori specifici recentemente clonati (v. Attwell e altri, 1993; v. Attwell e Mobbs, 1994), e

immagazzinato nelle vescicole; oppure distrutto da enzimi, come per esempio l'acetilcolina dall'acetilcolinesterasi; o catturato dalle cellule gliali che circondano la giunzione; o ancora, diluito dal liquido extracellulare.

La risposta che la cellula innervata produce quantitativamente è funzione del numero di molecole di neurotrasmettitore uscito dalla parte presinaptica e del numero di recettori postsinaptici attivati, mentre qualitativamente dipende dal tipo di recettore attivato.

Nei capitoli seguenti analizzeremo in modo più dettagliato i meccanismi molecolari che permettono alla sinapsi di funzionare, soffermandoci soprattutto sui neurotrasmettitori, sui canali ionici e sui recettori.

3. I neurotrasmettitori

Come abbiamo detto, le molecole che trasportano l'informazione neuronale attraverso la sinapsi sono i neurotrasmettitori, che possono quindi essere chiamati messaggeri sinaptici. Essi vengono sintetizzati nel citoplasma della presinapsi, immagazzinati in vescicole e, allorché l'impulso depolarizzante invade la membrana presinaptica, vengono secreti nello spazio sinaptico, ove raggiungono i recettori e li stimolano. Contemporaneamente alla secrezione, si pongono in atto i meccanismi deputati alla rimozione dei neurotrasmettitori dallo spazio sinaptico, mettendo fine alla trasmissione sinaptica.

I neurotrasmettitori possono essere divisi in due gruppi fondamentali: i neurotrasmettitori classici, o convenzionali, e i neuropeptidi (v. McQueen, 1987).

a) Neurotrasmettitori classici

Appartengono a questo gruppo l'acetilcolina (le sinapsi del SN sono per il 5-10% colinergiche), le monoammine (catecolammine, serotonina e istamina, secrete dall'1-2% delle sinapsi cerebrali) e gli amminoacidi (GABA, glicina, glutammato, aspartato, taurina, secreti da circa il 60% delle sinapsi centrali). Essi sono sintetizzati nel citoplasma, soprattutto a livello della sinapsi, per azione di una serie di enzimi specifici, partendo da precursori molto comuni e che facilmente possono essere disponibili nel neurone (v. tab. I). Ogni neurone può sintetizzare solamente un neurotrasmettitore di tipo convenzionale; si hanno così neuroni colinergici, dopamminergici, GABA-ergici, ecc., che sono raggruppati in nuclei specifici del SNC dai quali proiettano assoni a zone anche distanti dove stabiliscono le connessioni sinaptiche. Si hanno pertanto delle vie neuronali ben precise destinate a convogliare i neurotrasmettitori ai siti particolari nei quali devono agire. Alcune di queste vie sono schematizzate nella fig. 7.

TABELLA I. – SINTESI DEI PRINCIPALI NEUROTRASMETTITORI.

Precursore	Via sintetica
Colina	$\xrightarrow{\text{CAT}}$ Acetilcolina
Tirosina	$\xrightarrow{\text{TOH}}$ DOPA $\xrightarrow{\text{AADC}}$ DA $\xrightarrow{\text{D}\beta\text{H}}$ \longrightarrow NA $\xrightarrow{\text{PNMT}}$ A
Triptofano	$\xrightarrow{\text{TPOH}}$ 5-HTP $\xrightarrow{\text{AADC}}$ Serotonina
Istidina	$\xrightarrow{\text{HD}}$ Istamina
Glutammina	$\xrightarrow{\text{Glutamminasi}}$ Glutammato $\xrightarrow{\text{GAD}}$ GABA $\xrightarrow{\text{ASPT}}$ Aspartato

A, adrenalina; AADC, decarbossilasi degli amminoacidi aromatici; ASPT, aspartato-transaminasi mitocondriale; CAT, colina-acetiltransferasi; D β H, dopamina- β -idrossilasi; DA, dopamina; DOPA, diidrossifenilalanina; GAD, decarbossilasi dell'acido glutammico; HD, decarbossilasi dell'istidina; 5-HTP, 5-idrossitriptofano; NA, noradrenalina; PNMT, feniletanolammina-N-metiltransferasi; TOH, tirosinidrossilasi; TPOH, triptofanoidrossilasi.

L'acetilcolina è sintetizzata a partire dalla colina - che entra nei neuroni attraverso uno specifico trasportatore per azione di un enzima, la colinoacetiltransferasi - ed è inattivata per idrolisi dalle acetilcolinesterasi, presenti nello spazio sinaptico. I neuroni colinergici sono raggruppati soprattutto nel nucleo magno-cellulare di Maynert, nel nucleo del setto mediale e in alcuni nuclei pontini. Da lì essi proiettano alla corteccia in modo diffuso, al talamo e all'ippocampo. I recettori per l'acetilcolina si dividono in due tipi: i nicotinici, canali ionici per il sodio e il calcio, e i muscarinici, accoppiati alle proteine G (v. cap. 5). In genere l'acetilcolina è un mediatore eccitatorio.

Le monoammine costituiscono una grande famiglia della quale fanno parte la noradrenalina, l'adrenalina, la dopamina, la serotonina e l'istamina. La loro sintesi coinvolge più enzimi, come esplicitato nella tab. I. Le fibre monoaminergiche, nonostante siano minoritarie, sono molto diffuse e possono avere un'influenza assai importante su molte funzioni cerebrali. Molti farmaci psicotropi, dagli antidepressivi agli antiparkinsoniani, ai

farmaci usati nella schizofrenia, agiscono modulando la secrezione o la sintesi o la liberazione di questi neurotrasmettitori.

La noradrenalina è sintetizzata da neuroni confinati nel midollo allungato, nel ponte e nel nucleo del tratto solitario. Questi neuroni proiettano in modo diffuso a quasi tutte le regioni del SNC, soprattutto alla corteccia, all'ipotalamo e al midollo spinale. L'adrenalina è meno diffusa della noradrenalina; i neuroni adrenergici sono localizzati soprattutto nel midollo allungato e proiettano a vari nuclei ipotalamici e al midollo spinale. I recettori adrenergici sono diversi, raggruppati in due grandi famiglie - α e β - e sempre accoppiati a proteine G. L'effetto dell'adrenalina o della noradrenalina dipende dal tipo di recettore eccitato e in genere è di tipo inibitorio.

La dopamina è sintetizzata soprattutto in neuroni concentrati nella substantia nigra, nell'ipotalamo e nel bulbo olfattivo: nella via più conosciuta, quella tra la substantia nigra e lo striato, essa controlla la regolazione del movimento. La degenerazione delle cellule dopaminergiche porta a una patologia imponente, come quella del morbo di Parkinson, che può essere parzialmente alleviata somministrando un precursore della dopamina, la L-DOPA. Si conoscono almeno quattro recettori per la dopamina, i quali agiscono tutti attraverso proteine G.

La serotonina è sintetizzata a partire dal triptofano attraverso diverse tappe metaboliche, ed è inattivata per ossidazione dalle monoamminossidasi (v. tab. I). I neuroni che la producono sono localizzati soprattutto nel rafe e nel midollo allungato e proiettano in modo diffuso alla corteccia, al midollo spinale e al cervelletto. La serotonina è certamente connessa con importanti processi affettivi e conoscitivi nonché con il controllo di alcune funzioni importanti, come la regolazione della temperatura e l'appetito.

Si pensa che molti farmaci antidepressivi agiscano attraverso un'attivazione delle vie serotoninergiche. I recettori serotoninergici sono di almeno cinque tipi: i recettori 5-HT_{1,2,4,5} sono legati a proteine G; il 5-HT₃ è invece un canale ionico.

b) Amminoacidi

Questi neurotrasmettitori, tra i più abbondanti nel SNC, sono costituiti da amminoacidi inibitori, come il GABA (acido γ -amminobutirrico) e la glicina, o eccitatori, come il glutammato e l'aspartato.

Il GABA è il più importante neurotrasmettitore inibitorio del SNC, essendo contenuto in circa il 40% delle sinapsi. È sintetizzato soprattutto da piccoli interneuroni distribuiti in quasi tutto il SNC; la sua sintesi avviene anche in alcuni neuroni che proiettano dal corpo striato alla substantia nigra. I recettori per il GABA sono di due tipi, i GABA_A e i GABA_B: i recettori GABA_A sono dei canali ionici selettivi per il cloro; i recettori GABA_B sono accoppiati a proteine G e il loro ruolo funzionale non è ancora chiaro. Farmaci assai attivi,

come ansiolitici e ipnotici (le benzodiazepine e i barbiturici) o come antiepilettici (l'acido valproico), agiscono nel sistema nervoso potenziando il sistema GABA-ergico. La glicina è il neurotrasmettitore inibitorio presente nel midollo spinale; anch'essa attiva recettori-canale per il cloro.

L'acido glutammico, che è il mediatore eccitatorio più diffuso nel SNC, è sintetizzato da neuroni sparsi in molti nuclei del cervello; particolarmente studiati sono i nuclei ippocampali, che forniscono un modello prezioso per analizzare i meccanismi con i quali si instaura e si mantiene la memoria.

c) Neuropeptidi

Dagli anni settanta si è cominciato a isolare dal SNC alcuni piccoli peptidi con attività di neurotrasmettitori (v. Harmor, 1987). Questi peptidi possono essere sintetizzati dagli stessi neuroni che sintetizzano i neurotrasmettitori classici; si realizza così per alcuni neuroni un duplice codice d'informazione attraverso mediatori differenti. Sembra infatti che i peptidi possano avere una funzione più modulatrice che non proprio neurotrasmettitrice: tra le associazioni più comuni ricordiamo quelle tra acetilcolina e galanina, noradrenalina e neuropeptide Y (NPY), acetilcolina e calcitonin gene-related peptide. Tra i peptidi più studiati vi sono l'ossitocina e la vasopressina, gli ormoni ipotalamici - quali la somatostatina, il fattore per la liberazione della tiotropina (TRH), il fattore per la liberazione delle gonadotropine (GnRH) -, la colecistochinina, il peptide vasoattivo interstiziale (VIP), ecc. Ma la scoperta più rilevante in questo settore ha riguardato i peptidi oppioidi, come le endorfine e le encefaline, che stimolano i recettori per la morfina: la loro individuazione ha permesso di capire il meccanismo d'azione della morfina, in che modo, cioè, essa produca gli effetti analgesici, stimolanti o depressivi nel SNC. Si sperava anche di poter arrivare a sintetizzare farmaci analgesici che non avessero contemporaneamente gli effetti indesiderati della morfina, quali ad esempio la depressione dei centri respiratori o la dipendenza; purtroppo, nonostante molte ricerche, questo risultato non è stato ancora raggiunto.

La scoperta di peptidi neurotrasmettitori così numerosi (un elenco dei più importanti è riportato nella tab. II) ha permesso non solo di ampliare notevolmente le conoscenze sulla trasmissione a livello del SNC, ma soprattutto di fornire delle basi funzionali per attività nervose non spiegabili solo attraverso l'azione dei neuromediatori classici. I neurotrasmettitori peptidici agiscono, in genere, su recettori accoppiati a proteine G.

TABELLA II. – PRINCIPALI PEPTIDI PRESENTI NEL SISTEMA NERVO-
SO CENTRALE.

Peptide	Numero di amminoacidi
ORMONI IPOTALAMICI:	
ormone rilasciante le gonadotropine (GnRH)	10
ormone rilasciante la tirotropina (TRH)	3
ormone rilasciante la corticotropina (CRH)	41
ormone rilasciante l'ormone della crescita (GHRH)	44
somatostatina	14
ORMONI IPOFISARI:	
ormone adrenocorticotropo (ACTH)	39
ormone stimolante i melanociti (MSH)	13
PEPTIDI OPIOIDI:	
metionin-encefalina	5
leucin-encefalina	5
dinorfina A	17
β -endorfina	31
TACHICHININE:	
sostanza P	11
neurochinina A e B	10
ALTRI NEUROPEPTIDI:	
peptide intestinale vasoattivo (VIP)	28
neuropeptide Y (NPY)	36
neurotensina	13
colecistochinina (CCK8)	8
peptide derivante dal gene della calcitonina (CGRP)	38
calcitonina	32

Dal punto di vista della biologia cellulare vi è una grande differenza tra i neurotrasmettitori classici e i neuropeptidi: i primi sono sintetizzati a livello del citoplasma presinaptico e veicolati poi nelle vescicole sinaptiche tramite trasportatori, mentre i neuropeptidi sono sintetizzati nel corpo cellulare e nel reticolo endoplasmatico, e da lì trasferiti nei granuli di secrezione che vengono poi trasportati fino alla sinapsi; inoltre,

le vescicole sinaptiche possono essere ricaricate di neurotrasmettitore subito dopo averlo liberato, mentre i granuli che contengono i peptidi non possono più essere ricaricati e la sinapsi deve essere rifornita di nuovi granuli dal corpo cellulare; infine, sembra che per liberare i neuropeptidi siano necessarie stimolazioni nervose più intense e prolungate (v. fig. 6).

Queste differenze di organizzazione cellulare e di secrezione distinguono quindi ulteriormente i due tipi di neurotrasmettitori. In genere, si può ipotizzare che i veri neurotrasmettitori siano quelli di tipo classico, mentre i neuropeptidi agirebbero soprattutto da modulatori dell'attività neuronale. Solo le endorfine possono essere considerate dei veri neurotrasmettitori.

4. Canali ionici voltaggio-dipendenti

I neurotrasmettitori rinchiusi nelle vescicole sinaptiche vengono liberati nello spazio extrasinaptico attraverso una depolarizzazione della membrana plasmatica (potenziale d'azione) che permette l'entrata di ioni calcio e la fusione delle vescicole con la membrana presinaptica. Il flusso degli ioni attraverso la membrana sinaptica dipende dai canali ionici voltaggio-dipendenti.

a) Trasmissione dell'informazione attraverso il potenziale d'azione

Nonostante che i vari tipi neuronali trasmettano segnali con diverso significato e che alla fine si possano ottenere informazioni tanto numerose e tuttavia ben definite, il segnale è sempre rappresentato da cambiamenti del potenziale elettrico della membrana cellulare del neurone. La propagazione del segnale lungo l'assone può avvenire in quanto una piccola perturbazione elettrica prodotta in una parte della cellula si propaga a tutta la membrana plasmatica del neurone. Questa propagazione diviene naturalmente sempre più debole man mano che si allontana dal punto d'insorgenza, a meno che la cellula non impieghi energia per amplificarla durante il tragitto. L'attenuazione del segnale non ha molta importanza per comunicazioni a breve distanza, ma diviene assai significativa per distanze lunghe. Il neurone e le altre cellule eccitabili hanno pertanto elaborato un sofisticato sistema di amplificazione del segnale: una depolarizzazione che superi una certa intensità (e vedremo più avanti come essa possa prodursi in seguito all'azione dei neurotrasmettitori) attiva una serie di canali ionici, detti appunto voltaggio-dipendenti, permeabili soprattutto agli ioni Na^+ ; l'ingresso di questi ultimi depolarizza ulteriormente la membrana, permettendo l'apertura di altri canali che fanno entrare una quantità ancora maggiore di Na^+ che a sua volta fa aumentare la depolarizzazione della membrana. Si innesca così una 'esplosione' di attività elettrica che si propaga rapidamente e autonomamente su tutta la membrana plasmatica del neurone: questa eccitazione elettrica è chiamata potenziale d'azione (v. elettrofisiologia). Il potenziale d'azione è un sistema assai efficiente e veloce per trasmettere l'informazione attraverso il neurone; esso può viaggiare, infatti, con una velocità di più di 100 metri al secondo. La genesi e il mantenimento del

potenziale d'azione sono più complessi di quanto qui delineato e coinvolgono una fine interazione tra diversi canali ionici voltaggio-dipendenti e con altre molecole necessarie per la ripolarizzazione della membrana.

I canali voltaggio-dipendenti non solo sono importanti per la conduzione dell'impulso nervoso lungo l'assone, ma sono anche essenziali per la funzionalità della sinapsi. A questo livello i canali coinvolti sono soprattutto quelli permeabili al calcio, in particolare quelli sensibili alla ω -conotossina e alla ω -agatossina, denominati N e P/Q, rispettivamente, responsabili dell'accoppiamento tra l'arrivo dell'impulso nervoso e la secrezione di neurotrasmettitore. Nel corpo cellulare del neurone sono presenti anche altri tipi di canali voltaggio-dipendenti per il Ca^{2+} , soprattutto quelli di tipo sensibile alle diidropiridine, probabilmente responsabili di altri fenomeni calcio-dipendenti, quali il trofismo neuronale, l'attivazione genica e, in condizioni non fisiologiche, la neurotossicità (v. Varadi e altri, 1995).

b) Struttura dei canali voltaggio-dipendenti

La chiave della trasmissione dell'impulso nervoso, sia a livello assonale e dendritico sia a livello sinaptico, risiede, quindi, nel corretto funzionamento dei canali ionici. Le molecole costitutive di questi canali, che probabilmente derivano da uno stesso canale ancestrale, si sono evolute poi in diverse classi, schematizzate nella tab. III. Poiché la biofisica classica dei canali è stata già trattata in precedenza (v. neurone e impulso nervoso; sinapsi; trasporto attraverso membrane biologiche), ci limiteremo a dare una breve descrizione della struttura molecolare e delle implicazioni funzionali che questa comporta, in quanto si tratta di acquisizioni assai recenti (v. Hille, 1992; v. Jan e Jan, 1992; v. Catterall, 1993; v. Volterra e Sher, 1996).

TABELLA III. – PRINCIPALI TIPI DI CANALI IONICI VOLTAGGIO-DIPENDENTI.

Tipo	Effetti	Ligandi selettivi	Localizzazione
CANALI ALL'Na ⁺ Neuronale	Depolarizzazione	Tetrodotossina, chinidina, saxitossina, lidocaina	Neuroni (<i>asson hillock</i> , nodi di Ranvier)
Muscolare	Depolarizzazione	Tetrodotossina, chinidina, saxitossina, lidocaina	Muscoli scheletrici
Cardiaco	Depolarizzazione	Tetrodotossina, chinidina, saxitossina, lidocaina	Cuore
CANALI AL K ⁺ A rettificazione ritardata	Ripolarizzazione nel potenziale d'azione	Tetraetilammonio	Cellule eccitabili
A rettificazione verso l'interno	Potenziale di riposo	Mg ²⁺ -Ba ²⁺	Cellule eccitabili
Ad attivazione transiente	Frequenza del potenziale d'azione	Amminopiridina	Cellule eccitabili
CANALI AL Ca ²⁺ T, a bassa soglia di attivazione	Non chiari	Octanolo, amiloride	Cellule nervose (corpo cellulare), muscolari, endocrine
L, ad alta soglia di attivazione	Contrazione muscolare, attività metabolica	Diidropiridine, fenilalchilammine	Cellule nervose (corpo cellulare), muscolari, endocrine
N, ad alta soglia di attivazione	Secrezione di neurotrasmettitori	ω -conotossina	Cellule neuronali (sinapsi) e neuroendocrine
P/Q, ad alta soglia di attivazione	Secrezione di neurotrasmettitori	ω -agatossina	Cellule neuronali (sinapsi) e neuroendocrine

La prima intuizione della presenza dei canali ionici si è avuta nella metà degli anni cinquanta, ma solo in questi ultimi anni si è riusciti a ottenere molte informazioni di carattere molecolare e strutturale, e anche biofisico, che hanno permesso di comprenderne la funzione nonché la regolazione in situazioni fisiologiche e in determinate patologie. Si è così aperta la possibilità di un intervento farmacologico che in molti casi ha portato a grandi progressi terapeutici: basti pensare agli inibitori dei canali al Ca²⁺ (calcioantagonisti) e all'Na⁺ (antiaritmici) nelle patologie cardiovascolari. Uno schema della struttura di un canale ionico è presentato nella fig. 8. Il canale appare come una macromolecola proteica che attraversa il doppio strato lipidico della membrana cellulare formando un poro acquoso che si estende per tutto lo spessore della membrana. Il poro ha dimensioni assai più ampie di quelle di uno ione per la maggior parte della sua lunghezza, ma si restringe a dimensioni atomiche in un piccolo tratto, detto 'filtro di selettività', dove viene stabilita la 'selettività ionica', ovvero il tipo di ione con carica e raggio atomico adatti a passare attraverso quel punto. Nel canale vi è un sensore del voltaggio che è in grado di 'sentire' la differenza di potenziale attraverso la membrana. Dal sensore dipende la possibilità che un canale voltaggio-dipendente si apra o si chiuda in funzione del potenziale di membrana. Nella porzione intracellulare vi sono inoltre siti importanti per l'inattivazione e per la modulazione dei canali stessi e per il legame con il citoscheletro che garantisce la loro localizzazione precisa a livello della membrana plasmatica.

c) Composizione dei canali ionici

I canali ionici voltaggio-dipendenti sono costituiti da proteine integrali di membrana altamente omologhe tra loro. La componente principale del canale è rappresentata da una struttura proteica il cui peso molecolare si aggira sui 200-250 kDa. Nel caso dei canali all' Na^+ e al Ca^{2+} questa struttura è generata da una singola grossa catena polipeptidica (subunità α) organizzata in forma simile a un tetramero, mentre nel caso del canale al K^+ quattro distinti polipeptidi più piccoli si associano per ottenere un vero tetramero con lo stesso ruolo funzionale (v. fig. 8). Oltre a queste subunità principali, che formano il canale vero e proprio, esiste una serie di subunità accessorie (chiamate α_2 , β , γ e δ a seconda dei canali), variabili sia come numero che come tipo nei diversi canali, che contribuiscono al corretto assemblaggio, trasporto e localizzazione nella membrana plasmatica e al corretto funzionamento del canale stesso. Esistono numerose isoforme delle subunità costitutive del canale come di quelle accessorie: esse vengono espresse in modo variabile nei diversi tessuti e sono all'origine delle singole proprietà di ciascun canale.

La subunità α è un'unica proteina di grandi dimensioni formata da quattro territori molto simili tra loro, organizzati in modo da formare il canale all'interno della subunità. Si tratta di strutture che si sono conservate nell'arco evolutivo e che contengono le caratteristiche fondamentali per la funzionalità del canale, quali il poro ionico e la sensibilità al voltaggio. I quattro territori transmembrana (I, II, III e IV), di 300-400 amminoacidi, hanno una omologia di sequenza molto alta non solo nel singolo canale, ma anche nei diversi tipi di canali. Ciascuno dei quattro territori contiene sei segmenti presumibilmente transmembrana (da S1 a S6), formati prevalentemente da amminoacidi idrofobici. Ognuno di questi segmenti, nonché ciascun tratto di congiunzione tra i segmenti, svolge un ruolo specifico nelle varie attività del canale, come attivazione, inattivazione, sensibilità al voltaggio e selettività ionica.

Recentemente è stato dimostrato che il tratto che congiunge i segmenti transmembrana S5 e S6 (chiamato in genere P) contiene una sequenza di una ventina di amminoacidi, che si insinua nello strato lipidico (pur senza attraversarlo) e che presumibilmente forma il contorno del poro acquoso attraverso il quale passano gli ioni (v. fig. 8, C e D).

Queste informazioni di correlazione tra struttura e attività sono state ottenute attraverso esperimenti di mutagenesi, che consentono di modificare singoli amminoacidi della proteina e di valutare poi le conseguenze delle diverse mutazioni sulle caratteristiche biofisiche del canale o sulla alterazione di tali caratteristiche determinata da diverse sostanze farmacologiche.

d) Regolazione dei canali ionici

L'inattivazione, cioè la capacità di un canale voltaggio-dipendente di chiudersi spontaneamente anche se permane la variazione di potenziale di membrana che aveva portato alla sua apertura, è una proprietà assai importante del canale grazie alla quale esso rimane aperto solo per un tempo prestabilito, a prescindere dallo stimolo. Questa proprietà può essere modificata da farmaci o da neurotrasmettitori, che cambiano così le caratteristiche della risposta neuronale: basti pensare ai farmaci antiaritmici, ai β -stimolanti, alle catecolammine, la cui attività si esplica proprio interferendo con le caratteristiche di apertura e chiusura dei canali ionici. La perfusione intracellulare dell'assone gigante di calamaro con enzimi proteolitici (come la proteasi alcalina di tipo B o la tripsina) o con anticorpi diretti contro piccole parti del tratto intracellulare di congiunzione tra i territori III e IV del canale all' Na^+ è risultata in grado di bloccare completamente l'inattivazione del canale. Inoltre, diversi esperimenti di mutagenesi puntiforme in questi settori del canale hanno confermato l'ipotesi che questa zona idrofobica intracellulare rappresenti la zona che controlla l'inattivazione. Altri modelli di inattivazione, in parte simili, sono stati proposti per i canali al K^+ e al Ca^{2+} (v. fig. 9; v. Catterall, 1993).

5. Recettori

Altre molecole chiave nella trasmissione neuronale sono i recettori, che trasducono il messaggio portato dal neurotrasmettitore all'interno della cellula postsinaptica. Per recettore si intende una molecola che lega in modo specifico, definito e con affinità precisa uno o più mediatori endogeni e che in seguito a questo legame subisce una trasformazione conformazionale capace di far scaturire un effetto biologico. Non è quindi sufficiente che una proteina leghi un ormone o un neurotrasmettitore per definirla un recettore: per esempio, l'albumina, che lega gli acidi grassi, o la ceruloplasmina, che lega il rame, non sono recettori.

I recettori per i neurotrasmettitori sono attivati da mediatori che, essendo sostanze idrofile, difficilmente attraversano la membrana cellulare; per tale ragione è necessario che questi recettori trasducano il segnale dall'esterno all'interno della cellula. I meccanismi impiegati a tal fine variano grandemente da recettore a recettore: è attraverso questa diversità che si attua la specificità della risposta cellulare ai vari neurotrasmettitori.

a) La scoperta dei recettori

La prima ipotesi di recettore (receptive substance) fu avanzata da J. N. Langley, attorno al 1880, in base a esperimenti eseguiti sul sistema autonomo del gatto, nel corso dei quali aveva scoperto l'antagonismo tra nicotina e curaro. Contemporaneamente, P. Ehrlich arrivava alle stesse conclusioni studiando un sistema diverso e più semplice, quale le interazioni tra tossine e antitossine e tra coloranti e Batteri. A lui si deve la famosa frase "Corpora non agunt nisi fixata". Negli anni venti vi furono poi le ricerche, effettuate da H. H.

Dale in Inghilterra e da O. Loewi in Germania, sui mediatori chimici e sui loro effetti biologici, che vennero spiegati mediante l'interazione con diversi e specifici recettori. In quel periodo, inoltre, A. J. Clark introdusse la legge di massa che diede una prima spiegazione modellistica dell'interazione tra farmaco e recettore. Negli anni quaranta e cinquanta la chimica farmaceutica, attraverso fini modifiche della struttura chimica dei neurotrasmettitori o dei loro agonisti e antagonisti, giunse a definire alcune caratteristiche del sito di legame di molti recettori, fornendo la base per un disegno logico e non casuale dell'azione dei farmaci; è in questo periodo che nei laboratori di E.-F.-A. Fourneau prima e di D. Bovet poi, furono ottenuti gli anestetici locali, i curari, gli antistaminici. Ma il grande progresso nello studio dei recettori è stato possibile solo con l'aiuto della biologia molecolare. Nel 1982 S. Numa, in Giappone, clonava dall'organo elettrico della torpedine il recettore colinergico nicotinico, e da quel momento si apriva una nuova prospettiva nella comprensione di queste molecole. Successivamente, sono stati clonati molti altri recettori, dei quali si comincia a capire la struttura molecolare, i meccanismi della trasduzione del segnale e quelli attraverso cui le cellule regolano il numero di recettori e la loro funzione.

Un dato assai importante, che è emerso sin dall'inizio, è che ogni neurotrasmettitore è capace di attivare molti sottotipi di recettori, ciascuno con diverse caratteristiche biofisiche e farmacologiche, e la biologia molecolare ha permesso di scoprire che essi sono più numerosi di quanto si fosse supposto in base all'osservazione dei soli effetti dell'attivazione recettoriale e delle caratteristiche di legame dei farmaci. Questo permette al sistema nervoso di attivare un numero molto elevato di risposte assai specifiche con un numero limitato di neurotrasmettitori. Inoltre, come riportato schematicamente nella fig. 7, ogni neurotrasmettitore attiva delle precise vie nervose specifiche. L'esatta localizzazione del neurotrasmettitore e il fatto che la trasmissione dell'informazione avvenga solo quando nella sinapsi si trovano i recettori per quel trasmettitore garantiscono la specificità della trasmissione nervosa. La molteplicità delle risposte è garantita invece dal numero di neurotrasmettitori e dalla diversità di recettori per ogni tipo di neurotrasmettitore.

b) Superfamiglie recettoriali

I recettori per i neurotrasmettitori si possono raggruppare in quattro grandi famiglie, composte ciascuna da numerosi membri: recettori canale, recettori accoppiati alle proteine G, recettori che attivano una tirosinchinasi intrinseca, recettori che attivano una guanilatociclastasi intrinseca (v. fig. 10). La maggioranza dei neurotrasmettitori agisce attivando recettori associati a canali o a proteine G, mentre i fattori di crescita attivano i recettori con proteinchinasi (v. Heinemann e Stühmer, 1993).

La stimolazione da parte di un neurotrasmettitore di un tipo di recettore e non di un altro non è evento indifferente. Come vedremo più avanti, l'apertura di un canale comporta una trasduzione del segnale molto

rapida, mentre l'attivazione di una proteina G o di una proteinchinasi porta a una risposta più lunga e più lenta. Quasi tutti i neurotrasmettitori possono attivare sia canali sia proteine G (v. tab. IV) e indurre quindi nella cellula bersaglio risposte rapide o lente. È pertanto importante conoscere quali sottotipi recettoriali sono presenti in una cellula per capire quale sarà la sua risposta a un determinato neurotrasmettitore (v. anche farmacologia molecolare).

TABELLA IV. – SOTTOTIPI RECETTORIALI COINVOLTI NELLA TRASDUZIONE LENTA E VELOCE.

Neurotrasmettitore	Trasmissione lenta	Trasmissione veloce
Acetilcolina GABA Glutammato Serotonina ATP	Muscarinici GABA _B Metabotropi 5-HT _{1,2,4,5} P2 _y	Nicotinici GABA _A Ionotropi 5-HT ₃ P2 _x

c) Recettori canale

I recettori di questo tipo sono costituiti da un canale ionico che viene aperto in seguito al legame con il neurotrasmettitore o con farmaci agonisti, e perciò la loro attivazione porta a rapidi cambiamenti delle concentrazioni ioniche intracellulari e quindi del potenziale elettrico transmembrana (v. De Lorey e Olsen, 1992; v. Sargent, 1993; v. Unwin, 1993; v. Bertrand e Changeux, 1995). Appartengono a questa famiglia i recettori nicotinici, il recettore A per il GABA, il recettore per la glicina, i recettori ionotropi per il glutammato, il recettore HT3 per la serotonina. Essi hanno tutti una struttura simile e una particolare storia evolutiva (v. Ortells e Lunt, 1995): sono composti da 4 o 5 subunità che delimitano un canale idrofilo attraverso il quale passano gli ioni (v. fig. 11); ogni subunità è formata da una catena polipeptidica che attraversa quattro volte la membrana plasmatica in corrispondenza di altrettante regioni ricche di amminoacidi idrofobici (chiamate regioni M); il canale è delimitato dalle regioni M2 di ciascuna subunità; la selettività della carica ionica che attraversa il canale è data dalla presenza di amminoacidi elettricamente carichi posti nella regione M2 di ciascuna subunità, in posizione tale da costituire degli anelli di carica positiva o negativa all'interno del canale.

Il sito di legame per il neurotrasmettitore o per i farmaci è posto all'esterno della membrana cellulare, in un territorio vicino al terminale amminico nella subunità che, per convenzione, viene chiamata α . Sulla superficie

extracellulare del recettore sono spesso presenti siti di legame per altre sostanze regolatrici, detti 'siti allosterici', in quanto la loro occupazione modifica le caratteristiche di attivazione recettoriale da parte dell'agonista principale. Nel citoplasma i recettori possono contenere dei siti di fosforilazione, importanti per la regolazione delle cinetiche di apertura e chiusura del canale ionico, e dei siti di legame con le proteine del citoscheletro, che ne garantiscono la stabilità e la giusta localizzazione nella membrana cellulare.

I farmaci attivi su questa classe di recettori possono avere come bersaglio il sito di legame per l'agonista naturale (per esempio, i curari sul recettore nicotinic), oppure possono legarsi al sito allosterico (per esempio, le benzodiazepine sul recettore A del GABA). Infine, alcuni farmaci possono interferire con le proprietà biofisiche e funzionali del canale legandosi a siti posti nel lume del canale stesso (per esempio, l'esametonio nel recettore nicotinic gangliare).

d) Recettori accoppiati a proteine G

Questa è la famiglia più numerosa di recettori e il bersaglio della maggior parte dei farmaci utilizzati a scopo terapeutico. La caratteristica peculiare di questi recettori è quella di trasdurre il segnale generato dal legame con il mediatore attivando una proteina G (v. Hille, 1992; v. Linder e Gilman, 1992; v. Coughlin, 1994; v. Vallar e Vicentini, 1996). Le proteine G rappresentano una famiglia di molecole proteiche eterotrimeriche e derivano il loro nome dalla capacità di legare il GTP (guanosintrifosfato) e di possedere un'attività GTPasica intrinseca. Delle tre subunità che costituiscono ciascuna proteina G, chiamate α , β e γ , solo la subunità α è capace di legare il GTP e idrolizzarlo in GDP (guanosindifosfato) (v. fig. 12).

In seguito all'attivazione di uno di questi recettori da parte del suo agonista, esso subisce una modificazione conformazionale grazie alla quale riesce ad attivare una specifica proteina G che, a sua volta, lega una molecola di GTP presente nel citoplasma; il legame con il GTP provoca la dissociazione delle tre subunità e l'attivazione della subunità α , che rimane attiva finché non riesce a idrolizzare il GTP. Durante la fase di attivazione, la subunità α modula l'attività di effettori quali le adenilatocicliasi, le fosfolipasi C e A2 e alcuni canali ionici (v. Hille, 1992; v. Tang e Gilman, 1992; v. Berridge, 1993; v. Vallar e Vicentini, 1996). Ogni proteina G attiva in modo specifico solo determinati effettori (per esempio, fosfolipasi e cicliasi; v. tab. V). L'attivazione dell'adenilatocicliasi e delle fosfolipasi produce la sintesi di secondi messaggeri, quali cAMP, IP3, DG, acido arachidonico e altri, che a loro volta attivano numerose proteinchinasi. La fosforilazione di substrati specifici provoca la reazione cellulare che sfocia nella risposta biologica indotta dall'attivazione recettoriale (v. fig. 13). Quindi il legame dell'agonista con un recettore accoppiato a proteine G può portare alla produzione di molte molecole di secondi messaggeri, ciascuna delle quali può attivare numerose altre

molecole enzimatiche in una cascata che si amplifica sempre più. Lo sviluppo di questa cascata può essere controllato a ogni livello, sia positivamente sia negativamente, da fattori endogeni e da farmaci.

TABELLA V. – ESEMPI DI RECETTORI CHE ATTIVANO PROTEINE G E ATTRAVERSO DI ESSE GLI EFFETTORI SPECIFICI.

Recettore	Proteina G	Effettore
NEUROTRASMETTITORI		
Catecolammine: adrenergico β_1	G_s	↑ Adenilatociclastasi ↑ Canali al Ca^{2+}
adrenergico β_2, β_3	G_s	↑ Adenilatociclastasi
adrenergico α_1	G_q	↑ Fosfolipasi C
adrenergico α_2	G_i	↓ Adenilatociclastasi
		↑ Canali al K^+
	G_o	↓ Canali al Ca^{2+}
Dopamina: D ₁	G_s	↑ Adenilatociclastasi
D ₂	G_i	↓ Adenilatociclastasi
		↑ Canali al K^+
	G_o	↓ Canali al Ca^{2+}
Serotonina: 5-HT 1	G_i	↓ Adenilatociclastasi
5-HT 2	G_q	↑ Fosfolipasi C
5-HT 4	G_s	↑ Adenilatociclastasi
Acetilcolina: muscarinico M ₁ , M ₃ , M ₅	G_q	↑ Fosfolipasi C
muscarinico M ₂ , M ₄	G_i	↓ Adenilatociclastasi ↑ Canali al K^+
ORMONI PEPTIDICI		
Ormone adrenocorticotropo (ACTH)	G_s	↑ Adenilatociclastasi
Ormone luteinizzante (LH)	G_s	↑ Adenilatociclastasi
	G_q (?)	↑ Fosfolipasi C
Ormone follicolo-stimolante (FSH)	G_s	↑ Adenilatociclastasi
Ormone tireotropo (TSH)	G_s	↑ Adenilatociclastasi
	G_q	↑ Fosfolipasi C
Ormone di rilascio dell'ormone della crescita (GHRH)	G_s	↑ Adenilatociclastasi
Ormone di rilascio delle gonadotropine (GnRH)	G_q	↑ Fosfolipasi C
Ormone di rilascio del TSH (TRH)	G_q	↑ Fosfolipasi C
Fattore di rilascio dell'ACTH (CRF)	G_s	↑ Adenilatociclastasi
Somatostatina	G_i	↓ Adenilatociclastasi ↑ Canali al K^+
	G_o	↓ Canali al Ca^{2+}
Vasopressina V ₁	G_q	↑ Fosfolipasi C
V ₂	G_s	↑ Adenilatociclastasi
Glucagone	G_s	↑ Adenilatociclastasi
Ormone paratiroideo (PTH)	G_s	↑ Adenilatociclastasi
	G_q (?)	↑ Fosfolipasi C
Calcitonina	G_s	↑ Adenilatociclastasi
	G_q (?)	↑ Fosfolipasi C
EICOSANOIDI		
Prostaglandina PGE EP ₃	G_i	↓ Adenilatociclastasi
Prostaglandina PGF _{2a}	G_q	↑ Fosfolipasi C
Prostaciclina PGI ₂	G_s	↑ Adenilatociclastasi
Leucotrieni LTC ₄ , LTD ₄	G_q	↑ Fosfolipasi C
Trombossano TXA ₂	G_q	↑ Fosfolipasi C
Fotoni Rodopsina	G_t	↑ cGMP fosfo-diesterasi

↓ = inibizione; ↑ = stimolazione

Una conseguenza di questa cascata amplificatrice di eventi biochimici è che la durata degli effetti indotti dall'attivazione di questa classe di recettori può essere anche dell'ordine di minuti e dipende non solo dalla durata dell'interazione farmaco-recettore, ma soprattutto dall'efficienza di meccanismi cellulari specifici preposti alla riduzione della concentrazione del secondo messaggero e all'abolizione delle modificazioni post-traduzionali da questo indotte.

I recettori accoppiati a proteine G sono inclusi in un'unica superfamiglia genica, in quanto hanno un'organizzazione molecolare comune: sono formati da una singola catena polipeptidica che attraversa sette volte la membrana plasmatica in corrispondenza di altrettante regioni idrofobiche e che si organizza spazialmente nella membrana in modo da costituire una particella globulare (v. fig. 12). Il sito di legame per il neurotrasmettitore si trova nelle porzioni transmembrana o extracellulari della sequenza amminoacidica. Il tratto di sequenza compreso tra le regioni transmembrana 5 e 6 è rivolto verso il citoplasma e presenta siti di fosforilazione, importanti per la funzionalità del recettore, e un sito per il riconoscimento delle proteine G; quest'ultimo permette a ciascun recettore di riconoscere e di legarsi solo ad alcuni tipi di proteina G ed è quindi responsabile della specificità d'interazione tra recettore e proteina G.

e) Recettori con attività tirosinchinasica

A questa famiglia appartengono i recettori non di neurotrasmettitori ma di fattori responsabili del trofismo, della differenziazione e della sopravvivenza dei neuroni (v. Fantl e altri, 1993; v. Comoglio e Boccaccio, 1996): il primo di questi fattori a essere individuato e studiato è stato quello per la crescita neuronale (Nerve Growth Factor, NGF), scoperto da Rita Levi-Montalcini, al quale se ne sono associati altri come il Brain Derived Growth Factor (BDGF) e i Neurotrophic Factors (NT3 e NT4). I recettori con attività tirosinchinasica sono costituiti da una catena polipeptidica che attraversa una sola volta la membrana cellulare e sono caratterizzati dal fatto di possedere un'attività tirosinchinasica intrinseca, così che sono capaci di fosforilare substrati proteici in corrispondenza di residui tirosinici (v. figg. 10 e 14). L'interazione ligando-recettore avviene a livello della porzione extracellulare della sequenza amminoacidica e porta alla dimerizzazione del recettore, che è la tappa responsabile dell'attivazione della tirosinchinasi intrinseca. L'autofosforilazione di residui tirosinici presenti nella porzione citoplasmatica del recettore porta alla sua associazione con una serie di proteine citoplasmatiche, alcune delle quali sono enzimi che iniziano una complessa serie di eventi a cascata, inducendo la cellula a proliferare o differenziarsi. Molti oncogeni codificano recettori per fattori di crescita che, a causa di mutazioni o delezioni di parte della proteina, hanno perso la loro attività regolatrice fisiologica (v. neoplasie: Oncologia sperimentale).

6. Modulazione delle risposte ai neurotrasmettitori

Perché la risposta cellulare agli stimoli portati dai diversi neurotrasmettitori sia la più adeguata possibile, è necessario che essa sia controllata in termini quantitativi e temporali. Le strategie attuate per esercitare questo controllo sono molteplici e comprendono soprattutto meccanismi di regolazione della capacità del recettore di rispondere al mediatore.

Controllo a livello della produzione e della degradazione del neurotrasmettitore. - Il primo livello di controllo viene attuato a livello del neurotrasmettitore. Circuiti neuronali e altri sistemi di feedback locali e a distanza controllano la sua sintesi e il suo rilascio, mentre sistemi enzimatici degradativi o sistemi di recupero provvedono all'eliminazione dell'ormone o del neurotrasmettitore in modo da ridurre la concentrazione nello spazio sinaptico e quindi la possibilità di incontro con il recettore.

Per dare un'idea della rilevanza di questo meccanismo di controllo si possono ricordare gli inibitori della colinesterasi, l'enzima deputato all'inattivazione dell'acetilcolina nelle sinapsi colinergiche. Queste sostanze provocano una lunga persistenza dell'acetilcolina nella sinapsi: l'acetilcolina non più idrolizzata continua ad attivare i recettori colinergici provocando dapprima una loro risposta molto intensa e, in seguito, una completa desensitizzazione e quindi un blocco della trasmissione. L'effetto finale è la morte dell'organismo per completa paralisi del sistema nervoso autonomo e della trasmissione neuromuscolare. Gli inibitori della colinesterasi sono infatti usati come insetticidi e come armi da guerra.

Controllo dell'interazione neurotrasmettitore-recettore. - Il secondo livello di controllo viene attuato a livello dell'interazione neurotrasmettitore-recettore, che è, tranne rare eccezioni, di tipo reversibile. Poiché il recettore può essere allo stato attivo (in grado cioè di indurre la cascata di eventi che costituiscono il suo sistema di trasmissione del segnale) solo quando è stato legato dal suo mediatore, la sua attività è controllata dalla costante di equilibrio (K_d) del complesso mediatore-recettore, variabile da 10^{-3} a 10^{-12} M e tipica per ogni complesso mediatore-recettore. In genere, quei recettori che mediano risposte rapide (per esempio depolarizzazione) sono caratterizzati da basse affinità per i loro ligandi naturali (K_d compresa tra 10^{-3} e 10^{-5} M): la loro attività non è quindi continua, ma caratterizzata da cicli di attività-inattività corrispondenti all'occupazione del recettore da parte del ligando e al rilascio di quest'ultimo. Recettori che mediano risposte più lente, come il differenziamento o l'ingresso della cellula nel ciclo mitotico, sono in genere caratterizzati da tempi di occupazione molto più lunghi e quindi da K_d più basse.

Spesso le cellule sono in grado di modificare la K_d di un recettore (in genere attraverso la sua fosforilazione): esempio tipico è quello del recettore β -adrenergico, la cui affinità per l'adrenalina viene aumentata in risposta a una stimolazione prolungata o di eccessiva intensità.

Controllo sulla trasduzione del segnale recettoriale e sulla sua persistenza. - Il terzo livello di controllo si attua a livello di trasduzione del segnale. Le strategie messe in atto per questo controllo sono molteplici e vanno dalla regolazione della capacità della singola molecola di recettore di trasdurre il segnale alla regolazione del sottotipo e del numero di recettori espressi dalla cellula. La riduzione della capacità di un recettore di trasdurre il segnale, anche se legato dall'agonista, è definita 'desensitizzazione', mentre le variazioni del numero di molecole recettoriali espresse dalla cellula vengono definite con i termini inglesi upregulation (aumento) e downregulation (riduzione). Questi tre tipi di eventi regolatori sono molto comuni e hanno una rilevanza fisiologica e farmacologica-terapeutica notevole. Infatti, l'esposizione abbastanza lunga di un recettore al suo agonista, come abbiamo già detto, provoca desensitizzazione: è questo, per esempio, ciò che accade al recettore nicotinic nella placca neuromuscolare dopo avvelenamento con anticolinesterasici. L'esposizione cronica di una cellula all'agonista di un recettore è spesso associata a downregulation di quello stesso recettore e quindi a riduzione dell'entità dell'effetto del farmaco stesso: la downregulation e la desensitizzazione del recettore β -adrenergico sono alla base della riduzione dell'efficacia broncodilatatoria dei β 2-agonisti che compare nel corso di una terapia antiasmatica condotta per lungo tempo con questi farmaci. La upregulation è inducibile dalla riduzione dell'attività del recettore causata da assenza dell'agonista (per esempio, a seguito di denervazione) o da trattamento cronico con un antagonista recettoriale (per esempio, β -bloccanti nell'ipertensione o antagonisti del recettore H2 dell'istamina nell'ulcera). In questi casi, al momento della sospensione della terapia, la cellula, che ha un numero maggiore di recettori alla sua superficie, può rispondere in modo esagerato a normali concentrazioni dell'agonista naturale (supersensitività).

Sono compresi in questo livello di regolazione anche quei fenomeni di adattamento cellulare che si attuano attraverso regolazione dell'attività del sistema di trasduzione accoppiato al recettore. Per esempio, la tolleranza (riduzione dell'intensità delle risposte a una certa concentrazione di farmaco) agli oppiacei sembra attuarsi attraverso un controllo dell'attività del complesso proteina G-ciclasasi senza che intervengano variazioni del numero e della K_d dei recettori.

Controllo sullo spegnimento dell'attivazione recettoriale. - Il quarto livello di controllo si attua a livello dei meccanismi responsabili dello spegnimento del segnale generato dal recettore. Lo spegnimento rapido delle risposte indotte dall'attivazione recettoriale è assai importante, in quanto permette che la cellula sia di nuovo eccitata e quindi una più graduale modulazione delle risposte allo stimolo. I meccanismi di spegnimento sono molteplici, ma sono in genere controllati nella loro attività dall'entità del segnale generato dal recettore. Per esempio, l'attività della fosfodiesterasi e delle fosfatasi (gli enzimi responsabili dell'eliminazione del cAMP e della rimozione delle fosforilazioni da questo indotte) è controllata dalla concentrazione dello stesso secondo

messaggero, mentre l'attività di canali, pompe e trasportatori preposti al ripristino del potenziale di riposo è modulata dalla concentrazione ionica e dallo stesso potenziale di membrana.

7. Modulazione patologica e farmacologica della comunicazione neuronale

a) Integrazione di più informazioni nella risposta neuronale

Come abbiamo visto all'inizio, un neurone può ricevere sulla sua superficie più di 100.000 sinapsi, ognuna portatrice di una particolare informazione da un particolare circuito nervoso. Se supponiamo che per ogni sinapsi ci possa essere più di un tipo di trasmettitore e/o più di un recettore, si può ben immaginare quante informazioni possano arrivare contemporaneamente a un neurone e influenzarne la risposta. Inoltre, l'attivazione di un recettore non rimane isolata, ma può riflettersi sulla funzionalità di altri recettori o canali. Vediamo, per esempio, che l'attivazione di un recettore β -adrenergico produce un aumento di AMP ciclico e un'attivazione di proteinchinasi A, che a loro volta possono fosforilare non soltanto il recettore β disattivandolo, ma anche altri recettori e altri canali ionici di membrana, modificandone le proprietà. Vi è quindi spesso un controllo reciproco tra i vari recettori che può portare a un aumento o a una diminuzione delle loro attività.

La cellula neuronale quindi è una sorta di computer che riceve informazioni molteplici, le elabora in modi non ancora del tutto chiariti e, infine, produce la sua risposta. La compromissione della funzione di una sola molecola neuronale, sia un canale o un recettore, per opera di farmaci o di agenti patogeni, può quindi portare a grandi modificazioni della risposta di un neurone e determinare un grave squilibrio nell'omeostasi dei circuiti neuronali.

Come è facile ipotizzare, molte patologie umane nascono da modificazioni del numero o della struttura delle molecole coinvolte nella trasmissione dell'impulso nervoso. L'argomento potrebbe essere estremamente ampio, ma spesso le alterazioni sono più supposte - sulla base, ad esempio, dell'azione positiva di farmaci - che non sperimentalmente provate. Ci limiteremo quindi a quelle patologie nelle quali le modificazioni sono conclamate e sperimentalmente provate, in quanto esse possono dare un'idea precisa di come l'omeostasi di un sistema può venire perturbata con la modifica di una di queste molecole; forniremo inoltre alcuni esempi che coinvolgono canali voltaggio-dipendenti, recettori e sistemi di trasduzione del messaggio.

b) Canali ionici

Le patologie più conosciute che hanno come bersaglio i canali ionici sono a carico non solo delle cellule neuronali, ma anche delle cellule muscolari o ghiandolari da queste innervate. Ne riportiamo alcune come esempio.

Nella fibrosi cistica alcune mutazioni geniche provocano modificazioni a carico del canale del cloro, la cui apertura è regolata da ATP, rendendolo non più apribile: ciò determina un grave squilibrio ionico, il quale causa la secrezione di muco denso e colloso che ostruisce i dotti pancreatici e biliari e le vie respiratorie; sono presenti inoltre disturbi a livello della trasmissione nervosa che tuttavia, data la gravità dei sintomi secretori, sono ritenuti di minore gravità.

La paralisi periodica iperpotassiemica è una malattia autosomica dominante caratterizzata da episodi di debolezza muscolare, associati ad aumento del potassio serico. Studi sui muscoli dei pazienti hanno dimostrato che le cellule sono cronicamente depolarizzate in seguito al cattivo funzionamento del canale all' Na^+ e mostrano una conduttanza all' Na^+ abnormemente 'non inattivante'. Il locus genico responsabile della malattia è stato localizzato nella zona del cromosoma 17, dove si trova il gene per la subunità $\alpha 1$ del canale all' Na^+ muscolare: si ipotizza che il danno al canale sia dovuto ad alterazioni del segmento S5 del territorio II e del segmento S6 del territorio IV conseguenti a due mutazioni puntiformi.

La paramiotonia congenita è una patologia paralitica simile alla precedente, la cui sintomatologia viene scatenata dal freddo o dall'esercizio al freddo. Anche in questo caso il gene responsabile è colocalizzato nel genoma con il gene che codifica la subunità $\alpha 1$ del canale all' Na^+ ; sono state identificate diverse mutazioni che provocano modificazioni specialmente a carico del tratto intracellulare di congiunzione fra il segmento S6 del territorio III e il segmento S1 del territorio IV.

Sembra quindi che in entrambe queste patologie le mutazioni inducano alterazioni a carico delle zone del canale all' Na^+ muscolare specificamente deputate al controllo della sua inattivazione.

Recentemente si è osservato che una mutazione che modifica il canale all' Na^+ cardiaco è responsabile di una grave patologia della trasmissione cardiaca, la sindrome del QT lungo, che porta a morte improvvisa.

La disgenesia muscolare è una patologia murina caratterizzata da un difetto genetico a carico della subunità $\alpha 1$ del canale al Ca^{2+} muscolare, la cui espressione viene inibita. Il muscolo malato, quindi, non possiede né 'sensore' del voltaggio per l'accoppiamento eccitazione-contrazione, né correnti al Ca^{2+} .

Un'altra patologia del canale al Ca^{2+} , non dovuta però a errori genetici, è la sindrome miastenica di Lambert-Eaton (v. Sher e altri, 1991). La patogenesi di questa malattia è di tipo autoimmune, in quanto i pazienti producono autoanticorpi in grado di riconoscere e indurre la degradazione del canale al Ca^{2+} voltaggio-dipendente. In questo caso il canale selettivamente colpito è quello neuronale, senza alcuna alterazione dei vari canali al Ca^{2+} di tipo muscolare. L'aumentata degradazione del canale al Ca^{2+} fa sì che, all'arrivo del potenziale d'azione, entri meno Ca^{2+} nei terminali nervosi e di conseguenza venga rilasciato meno

neurotrasmettitore: è questa la base della sintomatologia paralitica presente sia a livello neuromuscolare che neurovegetativo.

c) Recettori nicotinici

La miastenia grave è una patologia che colpisce la giunzione neuromuscolare provocando difficoltà della trasmissione tra nervo e muscolo; ciò porta ad affaticabilità dei muscoli e a una loro progressiva paralisi. In questi ultimi anni si è scoperto che la paralisi è dovuta alla diminuzione del numero di recettori colinergici nicotinici presenti nella giunzione neuromuscolare; l'acetilcolina, quindi, secreta in quantità e con modalità normali dalla sinapsi, trova a livello postsinaptico un numero minore di recettori con i quali interagire e non può garantire un'efficiente trasmissione dell'impulso. La diminuzione dei recettori è provocata da anticorpi antirecettore nicotinico che ne operano la distruzione. La terapia che oggi si attua consiste, fondamentalmente, nel bloccare la produzione di autoanticorpi attraverso farmaci immunosoppressori (v. Drachman, 1994) e, in parte, nell'aumentare la vita dell'acetilcolina nello spazio sinaptico attraverso l'inibizione dell'acetilcolinesterasi. Sono state inoltre descritte molte altre forme di miastenia, meno diffuse, nelle quali la affaticabilità muscolare è prodotta da alterazioni dei geni che codificano per il recettore nicotinico muscolare (v. Engel e altri, 1997).

d) Trasduzione del segnale

In questi anni sono state descritte molte patologie legate a mutazioni che provocano modificazioni dei recettori o delle proteine G a questi associate: tra le prime ricordiamo la retinite pigmentosa causata da rodopsina alterata (v. visione, voll. VII e XI), il diabete insipido nefrogenico causato da un recettore mutato per la vasopressina, alcune forme di nanismo dovute all'alterazione del recettore per l'ormone della crescita; tra le seconde, vi sono gli adenomi dell'ipofisi dovuti ad attivazione congenita della proteina G_{α} e i tumori della tiroide dovuti ad attivazione della proteina $G_{1\alpha}$. Recentemente sono state descritte anche mutazioni che alterano i recettori α_1 , α_2 , β_2 per le catecolammine, che potrebbero fornire una spiegazione per alcune patologie del SN periferico. Con la diffusione sempre più ampia delle tecniche di biologia molecolare è prevedibile che patologie del SNC con alta familiarità possano essere spiegate attraverso mutazioni che inducono modificazioni strutturali di proteine coinvolte nella trasmissione nervosa.

Oltre a queste patologie conclamate, vi sono poi numerose situazioni patologiche nelle quali si sospetta che vi sia un'alterazione in alcuni punti della trasmissione nervosa, senza averne però delle prove precise. Le maggiori indicazioni vengono dall'uso dei farmaci: per esempio, è ben nota l'azione positiva delle benzodiazepine nell'ansia; sapendo che esse agiscono sul recettore GABA-ergico, si suppone che nell'ansia vi sia un'alterazione di questo sistema di trasduzione dell'informazione nervosa.

e) I farmaci come strumenti specifici per analizzare e modificare la comunicazione nervosa

Questo argomento necessiterebbe di una vastissima trattazione, ma riteniamo importante almeno menzionarlo in questa sede, in quanto i farmaci non solo sono stati strumenti essenziali per capire il funzionamento del SN, ma hanno anche permesso di intervenire terapeuticamente su molte delle sue patologie, recuperando, almeno in parte, alla vita e alla dignità umana persone che sarebbero altrimenti relegate ai confini della società o schiacciate da grandi dolori e angosce. Si pensi, per esempio, all'evoluzione della cura della schizofrenia, della depressione, della paranoia: con l'introduzione degli psicofarmaci è stato possibile rivoluzionare anche l'ospedalizzazione dei malati di queste patologie, abolendo quasi completamente gli ospedali psichiatrici oppure trasformandoli radicalmente.

La complessa struttura responsabile della trasmissione nervosa fa sì che vi siano molti possibili bersagli per un intervento farmacologico. Abbiamo riportato nella tab. VI alcuni esempi di farmaci che vengono comunemente usati in terapia per mostrare come essi agiscano su un bersaglio ben preciso, e come agendo su bersagli comuni si possano avere effetti diversi: per esempio, i farmaci che bloccano i canali all' Na^+ voltaggio-dipendenti possono svolgere sia un'azione insetticida (bloccando i canali all' Na^+ negli Insetti), sia un'azione anestetica locale, se impiegati per bloccare i canali presenti nei nervi, sia un'azione antiaritmica, se bloccano i canali cardiaci, o antiepilettica, se bloccano i canali nel SNC. Spesso questi effetti possono essere provocati da una stessa molecola, ma più frequentemente si è saputo sfruttare alcune piccole differenze nelle molecole o una loro diversa localizzazione tissutale per rendere il farmaco il più specifico possibile. Nonostante i grandi progressi della biologia molecolare e della farmacologia, siamo però ancora molto lontani dal comprendere come si instauri gran parte delle malattie del SNC e quale ne sia la causa, cosicché appare ancora molto lontana una loro terapia causale e specifica. I progressi fin qui fatti ci permettono però di alleviare molti sintomi delle malattie nervose e quindi di tenerle sotto controllo, consentendo di intervenire assai positivamente anche se l'approccio non può dirsi ottimale.

TABELLA VI. – ESEMPI DI FARMACI CHE INTERVENGONO NELLA TRASMISSIONE NERVOSA E LORO AZIONE FARMACOLOGICA.

Bersaglio d'azione	Farmaco	Meccanismo	Azione
CANALI ALL'Na ⁺ VOLTAGGIO-DIPENDENTI in: Insetti Nervi Cuore SNC	DDT, piretroidi Lidocaina Chinidina Difenilidantoina	Inattivazione dei canali all'Na ⁺ Blocco dei canali all'Na ⁺ Blocco dei canali all'Na ⁺ Blocco dei canali all'Na ⁺	Insetticida Anestetica locale Antiaritmica Anticonvulsiva
CANALI AL Ca ²⁺ VOLTAGGIO-DIPENDENTI in: Vasi Cuore SN	Diidropiridina Diidropiridina, Verapamil <i>ω</i> -Conotossina, <i>ω</i> -Agatossina	Blocco dei canali al Ca ²⁺ di tipo L Blocco dei canali al Ca ²⁺ di tipo L Blocco dei canali al Ca ²⁺ di tipo N/P/Q	Vasodilatatoria Antiaritmica Blocco del rilascio di neurotrasmettitori
SINTESI E METABOLISMO DI NEUROTRASMETTITORI			
Catecolammine Catecolammine	<i>α</i> -Metildopa Iproniazide	Diminuzione della sintesi Blocco del metabolismo da parte di monoamminossidasi	Antiipertensiva Antidepressiva
Acetilcolina	Fisostigmina	Blocco del metabolismo per inibizione reversibile dell'AChE	Antimiastenica
Acetilcolina	Parathion	Blocco del metabolismo per inibizione irreversibile dell'AChE	Insetticida
GABA	Acido valproico	Diminuzione del metabolismo per inibizione di GABA-transaminasi	Anticonvulsivante
IMMAGAZZINAMENTO E LIBERAZIONE DI NEUROTRASMETTITORI			
Catecolammine	Reserpina Anfetamina Imiprammina	Inibizione del trasporto del mediatore nelle vescicole sinaptiche Liberazione del mediatore Inibizione della ricaptazione dei neurotrasmettitori	Antiipertensiva/neurolettica Stimolante SNC Antidepressiva
RECETTORI			
Catecolammine	Clorpromazina Butirrofenoni Propranololo DOPA	Inibizione del recettore dopamminergico Inibizione del recettore dopamminergico Inibizione del recettore <i>β</i> -adrenergico Attivazione del recettore dopamminergico	Neurolettica Neurolettica Antiipertensiva Antiparkinsoniana
Serotonina	Sumatriptan	Attivazione del recettore HT ₃ serotoninergico	Anticefalea
Acetilcolina	Curaro Nicotina	Blocco dei recettori nicotinici muscolari Stimolazione dei recettori nicotinici SNC	Paralisi flaccida Attivazione attenzione e memoria
GABA Peptidi oppioidi	Scopolamina Benzodiazepine Morfina	Inibizione dei recettori muscarinici SNC Aumento attività recettoriale Attivazione recettori	Perdita di memoria Ansiolitica Analgesica

8. Conclusioni

Il SN è organizzato in circuiti ben precisi che esigono un sistema di comunicazione molto puntuale, discreto nello spazio e nel tempo, e ben modulabile. I circuiti neuronali non sono sempre fissi, ma probabilmente possono variare in ampiezza e in moduli, a seconda degli stimoli esterni. Un esempio tipico di questa

organizzazione è fornito dalla memoria, che probabilmente si basa sull'attivazione e inattivazione di circuiti neuronali (v. memoria: studi sperimentali). Vi sono quindi due aspetti della comunicazione neuronale: i meccanismi con i quali le cellule nervose comunicano tra loro e i meccanismi e i principi con i quali si stabiliscono i circuiti nervosi durante lo sviluppo e durante l'apprendimento (v. Hinton, 1992; v. Kandel e Hawkins, 1992). In questo articolo ci siamo occupati solo del primo aspetto, in quanto il secondo è già trattato in altre parti dell'opera (v. neurogenesi; neurobiologia: Organizzazione neuronale cerebrale e cerebellare).

Abbiamo illustrato soprattutto il meccanismo di funzionamento della sinapsi, mettendo in luce, relativamente alla parte presinaptica, la struttura e la funzione dei canali ionici voltaggio-dipendenti, responsabili della propagazione del potenziale d'azione, e le modalità di sintesi, immagazzinamento e secrezione dalle sinapsi dei messaggeri sinaptici; quindi, relativamente alla parte postsinaptica, ci siamo soffermati sui recettori, che sono responsabili dell'ultima parte della trasmissione nervosa, cioè la trasduzione nella cellula postsinaptica del messaggio portato dai neurotrasmettitori; abbiamo illustrato la loro struttura e i meccanismi mediante i quali funzionano, soffermandoci sulle ultime conquiste rese possibili dalla biologia molecolare e cellulare e sulle modalità con le quali la cellula può regolare la funzione dei recettori e quindi, in ultima analisi, la sua risposta agli stimoli. Sono state accennate alcune patologie del SN che riconoscono la loro causa in una precisa alterazione delle molecole responsabili della comunicazione neuronale e, infine, abbiamo visto come sia possibile modulare la trasmissione nervosa attraverso i farmaci e indicato qualche meccanismo che può spiegare il loro effetto terapeutico.

L'aspetto molecolare è quello su cui ci siamo maggiormente soffermati, in quanto è da questo approccio che sono scaturite le novità più importanti in questi ultimi anni, ed è da una sempre più feconda interazione tra la biologia molecolare e cellulare da un lato e l'osservazione clinica e comportamentale dall'altro che scaturiranno le basi per una maggior comprensione del funzionamento di quella macchina stupenda che è il cervello.

Neuropatologia

di Vincenzo Bonavita, Simone Sampaolo

Sommario: 1. Strutturazione della disciplina e classificazione delle malattie di interesse neuropatologico. 2. Cenni storici. 3. Metodiche d'indagine. 4. Cenni di anatomia funzionale. 5. Anatomia microscopica del SNC. 6. Neuropatologia generale: processi elementari. a) Processi neuronali regressivi. b) Processi assonali

regressivi e progressivi. c) Processi mielinici regressivi e progressivi. d) Processi astrocitari regressivi e progressivi. e) Processi oligodendrogliali, microgliali e monocitari. 7. Neuropatologia generale: processi patologici tissutali. 8. Principali sindromi neurologiche lesionali. a) Lobi frontale, parietale, temporale e occipitale. b) Gangli basali. c) Talamo. d) Asse ipotalamo-ipofisario. e) Troncoencefalo e cervelletto. f) Midollo spinale. g) Nervo periferico. h) Sindrome di ipertensione endocranica. 9. Neuropatologia speciale. a) Malattie degenerative. b) Malattie prioniche. c) Malattie da Retrovirus (HIV-1). □ Bibliografia.

1. Strutturazione della disciplina e classificazione delle malattie di interesse neuropatologico

La neuropatologia studia le alterazioni strutturali cui vanno incontro il sistema nervoso centrale (SNC) e periferico in seguito all'azione di noxae patogene esogene e/o endogene, nelle varie fasi del ciclo vitale (sviluppo embrionale, crescita, maturazione e invecchiamento). Sue finalità sono la descrizione della localizzazione, estensione, tipologia, qualità ed evoluzione di dette alterazioni a livello macroscopico (organo), microscopico (tessuti e cellule), ultrastrutturale (organelli subcellulari) e biomolecolare, e l'individuazione delle condizioni e delle connessioni causali degli eventi responsabili di tali modificazioni (eziopatogenesi). Nel corpo della materia rientra, comunque, anche la morfologia patologica del muscolo scheletrico: la frequente associazione causale tra disordini del SN e alterazioni muscolari ne ha storicamente motivato, infatti, lo studio unitario.

Si distinguono la neuropatologia generale e la neuropatologia speciale: la prima tratta dei processi elementari a livello cellulare e tissutale, la seconda dei complessi quadri morfologici lesionali conseguenti a specifiche malattie. Settori superspecialistici vengono individuati nella pado-neuropatologia, in ragione della peculiarità dei processi tissutali che si verificano nel tessuto nervoso immaturo sotto l'azione delle varie noxae patogene, e nella neuropatologia forense, in ragione dell'approccio metodologico differente rispetto a quello della routine neuropatologica, perché finalizzato alle necessità dell'indagine giudiziaria e della particolare prospettiva che orienta l'interpretazione critica dei reperti.

Una classificazione dettagliata delle malattie che hanno una base neuropatologica definita esula dagli obiettivi della presente trattazione e inoltre uno schema internazionalmente accettato non è attualmente disponibile. È in atto, infatti, una revisione in chiave eziopatogenetica della nosografia neuropatologica classica, basata in larga parte su criteri anatomopatologici, e cioè su distribuzione, tipologia e momento di comparsa delle lesioni. Ciò è dovuto alla sempre più rapida acquisizione di nuove conoscenze sulla natura e le cause delle malattie del sistema nervoso, frutto dei progressi delle metodiche biochimiche, immunologiche e, soprattutto, sul versante della biologia molecolare, della messa a punto delle cosiddette tecniche del DNA ricombinante (v. biotecnologie). L'inquadramento nosografico secondo criteri anatomopatologici rimane, ovviamente, l'unico

possibile per i disordini la cui patogenesi è ancora sconosciuta. Le classificazioni attuali seguono pertanto un criterio misto, cioè anatomopatologico ed eziopatogenetico: a tale modello si ispira anche quella adottata nel presente capitolo (v. tab. I).

TABELLA I. – CLASSIFICAZIONE E DEFINIZIONE DEI PRINCIPALI QUADRI CLINICO-NEUROPATOLOGICI.

Quadri clinico-neuropatologici	Definizione
Malformazioni congenite primarie	Difetti o anomalie dello sviluppo del SN (o di parte di esso) presenti alla nascita e conseguenti a un difetto intrinseco del processo di sviluppo.
Disordini del periodo perinatale e della prima infanzia	Disordini secondari a <i>noxae</i> patogene varie (a esclusione di quelle metaboliche ereditarie) agenti sul SN tra la ventesima settimana di gestazione e sino al termine del secondo anno di vita.
Malattie metaboliche ereditarie	Disordini geneticamente determinati, nei quali è dimostrabile o presumibile un errore ereditario del metabolismo, a estrinsecazione clinica prevalentemente neurologica e ad andamento progressivo.
Malattie tossico-carenziali	Disordini secondari a: esposizione a composti chimici naturali, di produzione industriale, di provenienza batterica o vegetale, di uso farmacologico, ad azione neurotossica selettiva o meno; <i>deficit</i> o difettosa assimilazione di fattori nutrizionali, conseguenti a carenze alimentari o a condizioni ereditarie o acquisite.
Malattie demielinizzanti	Disordini caratterizzati da perdita progressiva della mielina con relativo risparmio degli assoni, a patogenesi infiammatoria e/o autoimmune ed eziologia infettiva dimostrata o presunta.
Malattie cerebro-vascolari	Disordini conseguenti alla discrepanza tra richiesta energetica tissutale e apporto ematico concomitanti o meno ad alterazioni della parete vasale.
Malattie infettive	Disordini causati dall'azione sul SN di Batteri, Funghi, parassiti, Virus, ecc., conseguenti alla liberazione di tossine e fattori citolesivi da parte dei microrganismi, al loro incistamento (parassiti) e agli effetti collaterali della risposta infiammatoria e immunitaria dell'ospite.
Malattie degenerative	Afezioni cronico-progressive, talora con ricorrenza di tipo ereditario, a eziopatogenesi sconosciuta, con interessamento prevalente di uno o più sistemi anatomico-funzionali del SN caratterizzati da atrofia e perdita neuronale, modesta gliosi reattiva, assenza di reazione infiammatoria.
Tumori	Formazioni occupanti spazio prodotte da proliferazione incontrollata di elementi cellulari sia atipici (neoplasie) sia normalmente differenziati, di origine embrionale o meno (cisti, teratomi, amartomi).
Traumatismi cerebro-spinali	Condizioni conseguenti all'azione di agenti lesivi di natura fisica (meccanica, termica, elettrica, ecc.).
Neuropatie periferiche	Disordini a eziopatogenesi varia, con prevalente interessamento clinico-neuropatologico primario o secondario dei nervi periferici.
Malattie del muscolo scheletrico	Disordini a eziopatogenesi varia, con prevalente interessamento clinico-neuropatologico primario o secondario del muscolo scheletrico.

2. Cenni storici

Le prime osservazioni sistematiche sulla patologia del sistema nervoso risalgono al XVII secolo, grazie all'opera di Johann Jakob Wepfer (De Apoplexia, Schaffhausen 1658), Thomas Willis (Cerebri anatome, Londra 1664; Pathologiae cerebri et nervosi generis specimen, Oxford 1667; De anima brutorum, Oxford

1672) e soprattutto, quasi un secolo più tardi, a quella di Giambattista Morgagni (*De sedibus et causis morborum per anatomen indagatis*, Venezia 1761). In sostanza, però, la natura e l'origine delle malattie del sistema nervoso furono studiate solo in misura assai limitata sino ai primi decenni del 1800, periodo in cui gli anatomopatologi e i frenologi iniziarono a occuparsi dello studio macroscopico dei reperti neuropatologici. A opera di studiosi quali Robert Hooper, Jean Cruveilhier, sir Robert Carswell e Richard Bright fu pubblicata una serie di atlanti illustrati di notevole interesse scientifico e valore artistico, il più importante dei quali, per la precisione delle immagini e la varietà dei quadri descritti, è comunque quello di Bright, intitolato *Diseases of the brain and nervous system* (1831), che costituiva il secondo volume del trattato *Reports of medical cases*. In questo lavoro Bright espone la teoria secondo la quale i disordini del sistema nervoso sono riconducibili a cinque fenomeni principali: infiammazione febbrile, pressione da lesione occupante spazio, concussione meccanica, irritazione del cervello o delle sue meningi, inanizione o deficit circolatorio. Nello stesso periodo, John Cheyne, pupillo di Charles Bell e noto anche per aver descritto una modificazione patologica della respirazione (respiro periodico di Cheyne-Stokes), pubblicò una monografia sull'idrocefalo acuto (1808) - la prima in assoluto sull'argomento - e una sull'apoplezia (1812), nella quale vengono descritti e illustrati, per la prima volta, i reperti di un caso di emorragia subaracnoidea, oltre ad alcuni esempi di infarto ischemico cerebrale.

Una pietra miliare nella storia della neuropatologia macroscopica è rappresentata dalla monografia di John Abercrombie, *Pathological and practical researches on diseases of the brain and spinal cord* (1828): questo lavoro, in cui vengono descritti oltre 150 casi clinico-neuropatologici suddivisi in quadri di malattie infiammatorie, apoplettiche, organiche e del midollo spinale, ebbe una vasta diffusione e fu tradotto in francese e tedesco. Determinante per l'ulteriore sviluppo della neuropatologia fu l'enunciazione nel 1838 - da parte di Matthias Jakob Schleiden, ordinario di botanica a Jena, e Theodor Schwann, ordinario di anatomia e fisiologia a Liegi - della teoria cellulare di strutturazione dei viventi, che diede impulso agli studi di anatomia microscopica e alla messa a punto di apparecchiature, quali il microtomo e il microscopio composto, oltre che di metodi specifici di fissazione e colorazione dei tessuti biologici.

Da questo periodo in poi la storia della neuropatologia descrittiva corre parallela a quella della neuroistologia, dal momento che la corretta definizione della lesione istopatologica richiede l'esatta conoscenza del normale substrato anatomico. Già nel 1836 C. G. Ehrenberg aveva identificato le cellule dei gangli spinali e simpatici, e nel 1838 Johannes Evangelista Purkinje aveva descritto l'esistenza di 'corpi gangliari a forma di fiasco' nel cervelletto. Nel 1856, Otto Friedrich Karl Deiters, grazie all'impiego di nuovi metodi di colorazione, identificò la struttura generale dei neuroni, con i prolungamenti dendritici e l'assone, ma solo nel 1873 Camillo Golgi, utilizzando il metodo di impregnazione al cromato d'argento da lui inventato, fornì una rappresentazione

accurata della morfologia dei neuroni e dell'istoarchitettura del sistema nervoso. Golgi fu protagonista, con lo spagnolo Santiago Ramón y Cajal, della più interessante controversia della storia delle neuroscienze: il primo, infatti, sosteneva l'ipotesi che i neuroni formassero un reticolo cellulare continuo, mentre Cajal, utilizzando una modificazione del metodo di Golgi, dimostrò irrefutabilmente l'indipendenza individuale dei neuroni e raccolse elementi indicativi che l'impulso nervoso viene trasmesso da cellula a cellula attraverso strutture di contatto. Studi sulla retina e sul bulbo olfattorio lo portarono a formulare la teoria della polarizzazione dinamica dei neuroni: i processi neuronali di maggiore spessore, i dendriti, portano l'impulso dalla periferia al corpo cellulare; l'assone, sottile, porta invece l'impulso lontano dal neurone. Nella sua inesauribile attività Cajal non tralasciò di esplorare i fenomeni di degenerazione e rigenerazione del sistema nervoso e il suo *Manual of pathological anatomy*, pubblicato nel 1909, fu riedito per ben 7 volte. Carl Weigert, professore di anatomia patologica a Francoforte, mise a punto un metodo specifico per la colorazione della mielina e migliorò i metodi di fissazione e di inclusione del tessuto nervoso; in particolare perfezionò il metodo di inclusione in celloidina, aprendo così la strada allo studio microscopico su sezioni del cervello in toto. Il suo metodo - insieme a quello di Vittorio Marchi per la mielina, a quello di Augustus Volney Waller per le fibre nervose in degenerazione, alla colorazione di Franz Nissl per i neuroni e ai metodi di impregnazione di Cajal - fornì la base tecnica per lo sviluppo della moderna neuropatologia microscopica.

La teoria cellulare fu applicata alla patologia da Rudolf Ludwig Carl Virchow - ordinario di anatomia patologica a Würzburg e poi a Berlino - che nel 1855 pubblicò il manifesto di quella che chiamò 'patologia del futuro', intitolato con un significativo aforisma *Omnis cellula a cellula*, in cui sostenne che la cellula è la sede dei processi normali e patologici. Virchow, il quale personalmente era un appassionato dello studio microscopico dei reperti patologici, tuttavia attribuì pari valore alle indagini biochimiche sui tessuti e considerò fondamentali la correlazione delle osservazioni anatomopatologiche con la clinica e la ricerca della patogenesi delle lesioni. Tra i suoi numerosi contributi alla neuropatologia, i più importanti sono la scoperta della neuroglia, la descrizione della capacità fagica di cellule di natura gliale in prossimità di una lesione malacica, gli studi su trombosi, embolia ed emorragia cerebrale, e, ancora, sulle meningiti, sui tumori, sulle anomalie congenite.

Sebbene intorno alla metà del XIX secolo l'anatomia patologica del sistema nervoso avesse già solide basi, la nascita della moderna neuropatologia non si considera anteriore al 1872, anno in cui Jean Martin Charcot successe a Félix-Alfred Vulpian sulla cattedra di anatomia patologica della facoltà di medicina di Parigi. Charcot, infatti, fu il più grande neurologo clinico francese del secolo e un eccellente anatomopatologo: attivo in questa duplice veste presso l'ospedale Salpêtrière dedicò, insieme ai suoi allievi, un incredibile impegno allo studio delle relazioni tra le lesioni organiche del sistema nervoso e le manifestazioni cliniche delle malattie.

Cardini di questi studi erano, per un verso, il rilievo periodico e la registrazione metodica dei segni e sintomi neurologici durante il decorso della malattia, per l'altro, lo studio sistematico al microscopio di sezioni istologiche seriate del sistema nervoso. Charcot definì le basi istopatologiche di numerose malattie neurologiche, tra le quali la sclerosi laterale amiotrofica, la paralisi bulbare, la sclerosi multipla, la tabe dorsale e le atrofie muscolari; insieme a Henri Bouchard descrisse gli aneurismi miliari e ne rimarcò l'importanza nella genesi delle emorragie cerebrali; con Alex Joffroy avanzò l'idea che nella poliomielite vi fosse un fattore 'irritante' che colpiva i neuroni delle corna anteriori ledendone la funzione, e provò inoltre che in questa malattia la perdita dei motoneuroni delle corna spinali anteriori è responsabile della progressiva atrofia muscolare.

Sulle orme di Charcot, del quale ricalcò l'approccio clinico-anatomopatologico alla neuropatologia, si mosse Aloisius Alzheimer, professore di psichiatria a Monaco di Baviera. In questa città egli fondò una scuola di neuropatologia che rappresenta la prima istituzione nella quale sia stata riconosciuta l'autonomia disciplinare della materia. I contributi di Alzheimer alla neuropatologia comprendono studi sulle alterazioni istologiche corticali in pazienti affetti dalla forma di demenza presenile denominata, da Emil Kraepelin, demenza di Alzheimer, quelli sulle lesioni organiche cerebrali che accompagnano l'arteriosclerosi e la senilità, studi sulla paralisi agitante e sulla corea di Huntington. Stretto collaboratore di Alzheimer, e successore di Kraepelin sulla cattedra di psichiatria di Heidelberg, fu Franz Nissl, il quale mise a punto nuove tecniche di fissazione dei tessuti nervosi e introdusse un metodo di colorazione dei neuroni con blu di metilene, che gli consentì di identificare nel loro interno le cosiddette 'zolle di Nissl' e di elaborare una classificazione dei neuroni normali e patologici. Il successore di Alzheimer a Monaco, Walther Spielmeier, professore e direttore del laboratorio anatomico dell'istituto di psichiatria, migliorò numerose tecniche istopatologiche e diede contributi scientifici rilevanti su argomenti che variano dalla idiozia amaurotica familiare alla malattia di Wilson, dalla sclerosi tuberosa alla tabe dorsale. Fondamentali sono i suoi studi sulle lesioni dei nervi periferici e sulle alterazioni delle funzioni cerebrali conseguenti ai disordini temporanei della circolazione e all'ipossia cerebrale. Il suo manuale di laboratorio e il testo di istopatologia del sistema nervoso sono classici della letteratura neuropatologica. Importanti contributi allo sviluppo della disciplina furono dati, ancora, da Alfons Maria Jakob e da Max Bielschowsky: il primo studiò, in particolare, le alterazioni traumatiche cerebrali, le condizioni degenerative secondarie, le malattie extrapiramidali e, insieme a Hans Gerhard Creutzfeldt, descrisse la malattia detta di Creutzfeldt-Jakob; Bielschowsky mise a punto un metodo di impregnazione argentea per le neurofibrille che soppiantò il metodo equivalente di Cajal ed è tuttora in uso.

Tra gli scienziati che contribuirono all'introduzione della neuropatologia nei vari paesi europei vanno ricordati: Heinrich Obersteiner ed Emil Redlich a Vienna; Károly Schaffer, professore a Budapest, fondatore

della neuropatologia ungherese, autore di studi pionieristici sulle malattie ereditarie del sistema nervoso; il rumeno Georges Marinesco, allievo di Charcot e professore di neurologia a Bucarest, i cui studi sono pubblicati nell'atlante di neuropatologia di Victor Babes e P. O. Blocq, che coniò il termine cromatolisi, descrisse per primo le placche senili, gli aspetti clinici e neuropatologici delle lesioni talamiche e, insieme a Blocq, le alterazioni della substantia nigra nella sindrome parkinsoniana, offrendo, così, la base per la teoria di Édouard Brissaud sull'origine nigrale di questo disordine; Arnold Pick, allievo di Theodor Hermann Meynert e professore di psichiatria a Praga, che descrisse l'atrofia corticale lobare o malattia di Pick e compì studi fondamentali sull'aprassia; Giovanni Mingazzini, direttore di un laboratorio di neuropatologia e in seguito professore di neurologia e psichiatria a Roma, cui si devono importanti studi sul cervelletto (1895) e sul nucleo lenticolare e le sue connessioni (1908).

Nel XX secolo la neuropatologia è riconosciuta e praticata in tutto il mondo come disciplina autonoma, in quanto possiede oggetto e metodiche di studio specifici. La storia contemporanea delle conquiste delle neuroscienze applicate, almeno per quanto riguarda la comprensione della natura e degli eventi causali delle malattie del sistema nervoso, si identifica con quella della neuropatologia. Alle tradizionali scuole neuropatologiche europee si sono affiancate, e per alcuni versi hanno assunto una posizione preminente rispetto a esse, quella americana, di radice culturale anglosassone, e quella giapponese, legata, invece, alla scuola tedesca. La storia e i protagonisti della neuropatologia nel XX secolo possono essere conosciuti prendendo in esame i principali testi prodotti nell'ambito delle esperienze di dette scuole.

3. Metodiche d'indagine

La neuropatologia diagnostica classica studia i tessuti del SNC, il nervo periferico, il muscolo scheletrico - ottenuti mediante autopsia o biopsia - e il liquido cefalo-rachidiano prelevato nel corso dell'iter diagnostico neurologico. Essa utilizza, essenzialmente, metodiche morfologiche macro- e microscopiche (istologia, istochimica, immunoistochimica, microscopia elettronica), biochimiche (spettrofotometria, elettroforesi, cromatografia, ecc.) e, da alcuni anni, metodiche di biologia molecolare derivate dalle cosiddette tecniche del DNA ricombinante, in particolare l'ibridazione in situ e la PCR (Polymerase Chain Reaction), utilizzate soprattutto in neurovirologia e neuroncologia (v. biotecnologie; genetica).

Le metodiche di immagine del sistema nervoso, sviluppate negli ultimi 20 anni - cioè la tomografia computerizzata (TC) e l'imaging di risonanza magnetica (MRI) - hanno migliorato le possibilità e la precisione della diagnostica neurologica, grazie alla capacità di dimostrazione diretta delle alterazioni strutturali del tessuto nervoso. La tomografia a emissione di positroni (PET), che ha finalità essenzialmente sperimentali, consente di ottenere informazioni sul metabolismo e la neurochimica del sistema nervoso in

condizioni normali e patologiche. Queste possono essere considerate, a tutti gli effetti, metodiche neuropatologiche in vivo. La correlazione tra i reperti di TC, MRI e PET e quelli neuropatologici ex vivo rappresenta uno dei filoni più affascinanti delle neuroscienze contemporanee (v. radiologia medica; tomografia).

L'esame neuropatologico e l'interpretazione critica dei risultati devono essere indirizzati dai dati clinici (anamnesi, esame obiettivo, esami strumentali). Uno degli obiettivi primari della neuropatologia è rappresentato dalla definizione del rapporto tra lesioni tissutali e reperti clinici: esso non può essere raggiunto senza un'adeguata familiarità con la neurologia clinica, oltre che con l'anatomia e la patologia del sistema nervoso. Lo studio delle alterazioni tissutali può essere effettuato su materiale prelevato nel corso di autopsia e su campioni bioptici. Per procedere all'esame autoptico, l'encefalo e il midollo spinale devono essere rimossi in toto dal cadavere e fissati, a meno di esplicita diversa indicazione (esigenze forensi, richiesta d'esame a fresco), rapidamente, per immersione in soluzione neutra di aldeidi (formalina al 10%); il materiale va poi sezionato, dopo almeno 10 giorni di fissazione: la scarsa consistenza del tessuto nervoso fresco ne preclude un preciso esame macroscopico e una manipolazione priva di artefatti. Nei casi in cui può tornare utile eseguire indagini speciali (immunoistochimiche, biochimiche o biomolecolari), ad esempio in disordini ereditari e/o del metabolismo, è indicato il congelamento rapido di parte dell'encefalo e/o del midollo spinale, o di campioni tissutali prelevati a fresco.

Il prelievo dei campioni di tessuto da utilizzare per gli esami microscopici di routine deve contemplare, sistematicamente, aree anatomiche codificate (lobo frontale, temporale, parietale, occipitale, gangli della base, talamo, mesencefalo, tre livelli del ponte, cervelletto, due livelli del bulbo, sezioni rappresentative del midollo cervicale e, se necessario, di quello dorsale, lombare e sacrale), aree sede di alterazioni visibili a occhio nudo e, infine, aree che, seppure macroscopicamente indenni, sulla scorta dei dati clinici potrebbero essere sede di alterazioni. A differenza di altri organi in cui l'omogeneità strutturale consente un prelievo a campione, l'encefalo e il midollo sono costituiti da più strutture, istologicamente e funzionalmente differenziate, che presentano vulnerabilità variabile alle differenti noxae patogene: solo l'esame d'insieme delle diverse strutture consente una corretta diagnosi neuropatologica.

L'esame microscopico viene eseguito al microscopio ottico su sezioni fini (4-10 μm) o semifini (0,5-0,7 μm) dopo inclusione dei tessuti in paraffina o in resine sintetiche, rispettivamente, oppure al microscopio elettronico su sezioni ultrafini (0,05-0,07 μm). Per l'osservazione microscopica le sezioni tissutali devono essere colorate con metodi istologici generali (ematossilina-eosina, colorazione tricromica secondo van Gieson, ecc.) e con metodi specifici per i neuroni e/o i loro prolungamenti (Nissl, Golgi, Bodian, ecc.), per l'astroglia (Holzer), per la microglia (del Rio-Hortega), per la mielina normale (Klüver-Barrera) o in

degenerazione (Marchi, Waller). Negli ultimi 15 anni le colorazioni istologiche sono state integrate, e in taluni casi soppiantate, da quelle immunocitochimiche che utilizzano antisieri o anticorpi monoclonali diretti contro componenti strutturali o composti specifici dei vari elementi cellulari del tessuto nervoso (neurofilamenti, enolasi neurono-specifica, sinaptofisina nei neuroni; proteina gliofibrillare acida negli astrociti; anidrasi carbonica negli oligodendrociti e negli epitelii dei plessi corioidei; proteina basica della mielina nelle guaine mieliniche, ecc.). A queste si affiancano le metodiche per la dimostrazione degli elementi coinvolti nelle reazioni infiammatorie e dei microrganismi potenziali patogeni nei processi meningo-encefalitici.

Un vastissimo settore del corpus metodologico della neuropatologia è quello della diagnostica neuroncologica, intraoperatoria (preparazioni estemporanee su materiale sezionato al criostato, strisciato o schiacciato e colorato con ematossilina-eosina o blu di toluidina) e su tessuto fissato, in cui alle tecniche suddette si affiancano quelle per i marcatori immunocitochimici tumorali (marcatori di attività mitotica; fattori di proliferazione, di crescita, di necrosi; proteine di membrana; componenti del citoscheletro; neurosecreti; ecc.).

Metodiche istochimiche su sezioni di tessuto congelato vengono utilizzate routinariamente nella diagnostica miopatologica, per la dimostrazione di composti intracitoplasmatici (glicidi e lipidi) e di enzimi (miosin-ATPasi, miofosforilasi, NADH-tetrazolio-reduttasi, citocromo-ossidasi, ecc.). Anche in questo settore sono state introdotte metodiche immunoistochimiche principalmente per la dimostrazione di componenti strutturali della miocellula (distrofina, spectrina, desmina, ecc.).

L'esame biotico dei nervi periferici si fonda, invece, soprattutto sullo studio qualitativo e quantitativo (morfometria) su sezioni semifini, e su quello ultrastrutturale in microscopia elettronica a trasmissione.

4. Cenni di anatomia funzionale

Il SNC è costituito dall'encefalo e dal midollo spinale che sono racchiusi entro gli involucri ossei del cranio e della colonna vertebrale, rispettivamente (v. fig. 1), e quelli fibroconnettivali delle meningi (dura madre, aracnoide e pia). Il SNC galleggia, inoltre, nel liquido cefalo-rachidiano o liquor, circolante sia esternamente al SNC, accolto nello spazio compreso tra dura madre e pia (spazio aracnoideo), che internamente a esso, entro quattro grosse cavità encefaliche profonde, chiamate 'ventricoli' (v. fig. 2).

L'encefalo, osservato dall'alto dopo la rimozione della dura, appare costituito da due masse simmetriche, ovoidali, gli emisferi cerebrali (v. fig. 3; v. emisferi cerebrali). L'intera superficie emisferica è strutturata in pieghe a margini ondulati, dette 'circonvoluzioni', separate da solchi di diversa profondità, dei quali quelli più lunghi e profondi prendono il nome di 'scissure' (v. fig. 4). Osservando la superficie inferiore dell'encefalo, procedendo antero-posteriormente, si distinguono (v. fig. 5): la superficie orbitaria dei lobi frontali, la faccia inferiore dei lobi temporali e, tra questi, sulla linea mediana, l'infundibolo e i corpi mammillari, che sono parte

dell'ipotalamo. Posteriormente si nota l'insieme di peduncoli cerebrali, ponte e bulbo, che viene definito 'troncoencefalo'. Le strutture sovrastanti quest'ultimo costituiscono il cervello propriamente detto.

Posteriormente e inferiormente a ponte e bulbo si riconosce, infine, il cervelletto. Sulla superficie inferiore dell'encefalo risaltano, con aspetto di filamenti di vario calibro e di colore bianco-giallastro, i nervi cranici (v. fig. 5A), così detti perché emergono dall'encefalo a livello intracranico.

Tagliando il cervello, si nota che l'intera superficie cerebrale è formata da una lamina, detta 'corteccia', il cui spessore varia, nelle diverse parti dell'encefalo, da 3 a 6 millimetri (v. fig. 6). La corteccia - che, essendo di colore grigio-rosa, si dice formata da 'sostanza grigia' - è costituita prevalentemente dai corpi dei neuroni disposti in lamine e dai prolungamenti afferenti o 'dendriti' e ricopre una voluminosa massa di tessuto di aspetto bianco-lucente - definito perciò 'sostanza bianca' - formata da fasci dei prolungamenti neuronali efferenti o 'assoni' avvolti o meno in una guaina lipoproteica detta mielina (v. neurobiologia: Organizzazione neuronale cerebrale e cerebellare). Nelle sezioni cerebrali risalta la presenza di numerose aree a margini ben definiti di sostanza grigia, denominate 'nuclei' (v. fig. 7). I principali gruppi di nuclei grigi profondi cerebrali comprendono il corpo striato, formato dal nucleo caudato e dal putamen, e il globo pallido (che nell'insieme vengono denominati 'gangli della base'), nonché il gruppo formato da talamo, epitalamo e subtalamo. Il talamo anteriore è collegato anatomicamente e funzionalmente all'importante gruppo di nuclei grigi che formano l'ipotalamo. Talamo e ipotalamo costituiscono il diencefalo.

Lobi cerebrali. - Il lobo frontale, mediante la corteccia motoria e quella premotoria, controlla i movimenti e le sequenze di movimenti volontari di singoli muscoli o di più muscoli coordinati, compresi quelli della laringe e della bocca necessari per l'articolazione della parola, di cui è responsabile l'area di Broca. Quest'ultima è funzionalmente presente solamente nell'emisfero definito dominante, che è quello sinistro in circa il 95% degli individui (tutti i destrimani e la metà dei mancini). All'area prefrontale e alla corteccia orbitofrontale sono legati le capacità di prestare attenzione, di formulare programmi per il futuro, di iniziativa, di approfondimento del pensiero e il controllo di alcuni aspetti della personalità (v. fig. 8).

Il lobo parietale è dedicato quasi totalmente alla percezione sensitiva somestesica (tatto, pressione, temperatura, dolore), che avviene in un'area corticale primaria che riceve e distingue i segnali, e in una secondaria che ne interpreta il significato (v. somatoestesia). La restante corteccia partecipa, con settori corticali adiacenti del lobo temporale, alla formazione dell'area di Wernicke, o area recettiva del linguaggio, la cui funzione è quella di integrare informazioni linguistiche - siano esse udite, lette o originate nel cervello stesso - e interpretarne il significato; l'area di Wernicke è funzionalmente sviluppata solo nell'emisfero dominante. Occorre ricordare, infine, che nella sostanza bianca del lobo parietale decorrono le fibre della radiazione ottica che trasportano segnali visivi.

Il lobo temporale, rispetto agli altri lobi cerebrali, ha funzioni relativamente più numerose, che comprendono: alcuni aspetti della memoria (neocorteccia laterale); la recezione del linguaggio, nell'emisfero dominante (area di Wernicke); l'interpretazione dei segnali sonori (corteccia uditiva); un ruolo nella percezione olfattiva e gustativa e nel controllo dei processi emozionali, affettivi, mnesici e comportamentali, che avviene a livello del sistema limbico, di cui fanno parte diverse strutture temporali. Nella sostanza bianca del lobo temporale si svolge parte del decorso delle fibre della radiazione ottica.

Il lobo occipitale è sede della corteccia visiva, nella quale si distingue l'area primaria, localizzata lungo la scissura calcarina, che distingue punti luminosi e neri e l'orientamento di linee e margini di un'immagine, e le aree secondarie che interpretano l'informazione visiva (v. visione).

Gangli della base. - Nell'uomo i gangli della base controllano l'attività motoria di base, cioè quella preposta all'assunzione e al mantenimento di un'adatta postura corporea di sostegno complementare all'esecuzione dei movimenti più fini, controllati dalla corteccia. L'alto grado di coordinazione tra i muscoli del corpo, necessario per l'esecuzione della maggior parte delle funzioni motorie, è possibile, comunque, solo attraverso l'attivazione di molteplici strutture nervose, interconnesse attraverso circuiti nervosi molto complessi, che oltre i gangli della base e la corteccia cerebrale comprendono il talamo e il subtalamo, il nucleo rosso e la substantia nigra, e il cervelletto.

Talamo. - Il talamo ha numerose connessioni bidirezionali con tutte le parti della corteccia cerebrale, riceve quasi tutti i segnali provenienti dai livelli più caudali del mesencefalo e dal midollo spinale ed è in stretto rapporto con i gangli della base. In sostanza, il talamo è una stazione di smistamento per indirizzare segnali sensoriali e di altra natura sia alla corteccia cerebrale che ad aree sottocorticali del cervello. I segnali più importanti che vengono ritrasmessi attraverso il talamo sono: tutti quelli della sensibilità somestesica (tatto, pressione, dolore, temperatura, ecc.), che dall'intero organismo sono diretti alla corteccia parietale; i segnali visivi, che dalle vie ottiche sono diretti alla corteccia calcarina del lobo occipitale; i segnali uditivi, diretti alla circonvoluzione temporale superiore (v. udito); i segnali per il controllo motorio provenienti dal cervelletto, dal mesencefalo e da altri livelli più caudali del tronco encefalico e diretti alla corteccia e ai gangli della base. Il talamo conserva inoltre funzioni di interpretazione sensoriale, soprattutto per le sensazioni dolorifiche, e svolge una funzione di attivazione della corteccia cerebrale.

Ipotalamo e sistema limbico. - L'ipotalamo rappresenta il centro di un sistema assai complesso nel quale interagiscono in stretta associazione, oltre all'ipotalamo stesso, il talamo anteriore, il sistema limbico, l'infundibolo con l'ipofisi e la formazione reticolare del troncoencefalo (v. fig. 9). Questo sistema esercita il controllo sia sulle condizioni interne dell'organismo, attraverso la regolazione della maggior parte delle

funzioni endocrine e vegetative, che su diversi aspetti del comportamento, in particolare quelli connessi con le emozioni. Il controllo delle funzioni endocrine si effettua mediante la regolazione della secrezione degli ormoni dell'ipofisi anteriore, che a loro volta regolano attività dell'organismo quali le funzioni delle ghiandole sessuali, della tiroide, del surrene, ecc. (v. neuroendocrinologia). Il controllo delle funzioni vegetative si esplica attraverso la regolazione di diverse funzioni: la pressione arteriosa e la frequenza cardiaca, mediata dai centri della formazione reticolare bulbari e pontini (v. circolazione: Regolazione nervosa della circolazione); la temperatura corporea; il patrimonio idrico dell'organismo, attraverso la sensazione di sete e la diuresi controllata dall'ormone antidiuretico; l'assunzione di alimenti attraverso le sensazioni di fame e di sazietà; il controllo del parto e della lattazione mediante l'ormone ossitocina.

Sul piano comportamentale, le strutture ipotalamiche controllano lo stato di veglia e di allerta, in cooperazione con la porzione mesencefalica del sistema reticolare attivatore; lo stato di sonno (v. sonno); il livello di attività, dalla quiete sino alla rabbia e alla lotta; le sensazioni e le reazioni di paura e di punizione; l'impulso sessuale.

Oltre l'ipotalamo anche diverse strutture limbiche sono coinvolte nel determinare il tono affettivo delle esperienze sensoriali. Queste tonalità affettive vanno anche sotto il nome di sentimenti di gratificazione, o ricompensa, e di punizione. La stimolazione dei centri della gratificazione evoca comportamenti di calma e docilità, mentre quella dei centri della punizione evoca terrore, dolore, paura, reazioni di difesa e di fuga. È interessante notare che la stimolazione dei centri della punizione spesso inibisce i centri della gratificazione. La gratificazione e la punizione hanno un ruolo fondamentale nel determinare l'importanza di un'informazione sensoriale e nel promuoverne la memorizzazione mediata attraverso l'ippocampo. Stimoli affettivamente indifferenti inducono rapidamente abitudine e vengono ignorati.

Tronco encefalico. - Il troncoencefalo è il fusto che sostiene il cervello e lo mette in comunicazione con il midollo spinale. Attraverso di esso si stabiliscono, inoltre, le connessioni tra cervello e cervelletto e tra questo e midollo spinale (v. fig. 10). Il tronco può, quindi, essere considerato una stazione di passaggio di segnali sensoriali dal midollo principalmente verso il talamo e il cervelletto, e di segnali motori provenienti dalla corteccia cerebrale e dal cervelletto verso il midollo, ma esso è soprattutto sede di nuclei di grande importanza per la regolazione di diverse funzioni dell'organismo (v. sistema piramidale; sistema reticolare ascendente).

Tra queste ricordiamo il controllo di: a) attività muscolari subcoscienti e coordinazione dei movimenti (substantia nigra e nucleo rosso, in concorso con i gangli della base e con il cervelletto); b) livello globale di attività cerebrale, stato di veglia e tono muscolare (formazione reticolare); c) pressione arteriosa e attività cardiaca, così come attività ritmica dei muscoli respiratori (centri vasomotore e respiratorio della sostanza reticolare); d) motilità oculare (nuclei del III, IV e VI paio di nervi cranici e collicoli superiori); e) reazioni motorie a segnali uditivi (collicoli inferiori); f) sensibilità e movimenti della faccia (nuclei del V e VII paio di

nervi cranici); g) udito ed equilibrio (nuclei dell'VIII paio di nervi cranici); h) motilità di laringe, faringe, lingua e alcuni muscoli del collo (nuclei del IX, X, XI e XII paio di nervi cranici) così come attività parasimpatica di organi interni (riduzione della frequenza cardiaca, stimolazione della secrezione gastrica e della peristalsi intestinale, ecc.; nuclei del X paio di nervi cranici); i) segnali sensoriali provenienti dalla faringe, dalla lingua e dai visceri (nuclei del IX e X paio di nervi cranici, rispettivamente).

Cervelletto. - Il cervelletto è formato da due masse laterali, gli emisferi, congiunti sulla linea mediana dal verme cerebellare. La corteccia cerebellare, formata come quella cerebrale da sostanza grigia, è ripiegata in sottili pliche trasversali dette folia (v. neurobiologia: Organizzazione neuronale cerebrale e cerebellare). Il cervelletto è interconnesso con la corteccia motoria, con i gangli della base e con aree motorie del troncoencefalo e del midollo spinale (v. fig. 11). La sua funzione principale è quella di regolare la sequenza temporale di contrazione di differenti muscoli, durante movimenti complessi.

Midollo spinale. - Il midollo spinale, che anatomicamente costituisce la prosecuzione del bulbo, è una struttura allungata, che si estende dal forame magno dell'osso occipitale sino, all'incirca, al margine inferiore della seconda vertebra lombare (v. figg. 12 e 13). Esso assolve, essenzialmente, una funzione di trasporto di impulsi nervosi dal sistema nervoso periferico a strutture sovrastanti di quello centrale e, viceversa, da queste di nuovo al sistema nervoso periferico (v. figg. 14 e 15). I cordoni dorsali trasportano gli impulsi delle sensibilità tattile fine o discriminativa (quella tipica, ad esempio, della mano) e vibratoria (sensibilità somatiche), e di quelle riguardanti il senso di posizione o di movimento del corpo (sensibilità propriocettive coscienti). Le fibre dalle radici spinali posteriori vanno direttamente ai nuclei bulbari gracile e cuneato e formano i fasci gracile (mediale) e cuneato (laterale). Nei cordoni laterali e anteriori decorrono, invece, fasci affiancati di fibre sensitive e motorie. I principali fasci sensitivi somatici (spinali ventrale e laterale) trasportano segnali delle sensibilità tattile grossolana, dolorifica e termica al troncoencefalo e al talamo. Essi originano dalle corna grigie posteriori e raggiungono i cordoni antero-laterali del lato opposto del midollo, incrociando la linea mediana al davanti del canale centrale. Tale decorso li espone a danno nel corso di lesioni che interessano primariamente la porzione centrale del midollo. I fasci propriocettivi (spinocerebellari ventrale e dorsale) trasportano segnali sensitivi, che non vengono percepiti a livello cosciente, dai muscoli scheletrici e dai tendini al cervelletto. I fasci motori possono essere distinti in quelli che trasmettono segnali motori dalla corteccia cerebrale (corticospinali laterale e ventrale) e da strutture troncoencefaliche (fasci rubro-, reticolo-, olivo-, vestibolo- e tettospinale) al midollo. Vanno infine ricordati i fasci propriospinali, che servono a mettere in comunicazione reciproca segmenti diversi del midollo.

La sostanza grigia del midollo spinale funge da stazione di collegamento tra l'encefalo e il sistema nervoso periferico, e da centro d'integrazione per alcune attività motorie riflesse (riflessi spinali). È, infatti, alle corna

dorsali che giunge la maggior parte dei segnali sensitivi per essere smistata verso altre strutture del midollo e poi alle aree sensitive encefaliche. A livello delle corna ventrali e laterali vengono, invece, smistati i segnali efferenti che dall'encefalo sono diretti alle radici spinali anteriori. La funzione d'integrazione consiste nel controllo di risposte motorie a vari stimoli, che si compie del tutto indipendentemente dai centri encefalici superiori. Esempi di tale funzione sono i riflessi di allontanamento, quasi istantaneo, di un arto dalla sorgente di uno stimolo dolorifico; di grattamento, evocato dal solletico; di stiramento, che si estrinseca con la contrazione di un muscolo in risposta alla sua brusca estensione (ad esempio, l'estensione della gamba sulla coscia da tensione del tendine rotuleo).

Nervo periferico. - Anatomicamente vengono definiti 'nervi periferici' le prosecuzioni oltre i forami intervertebrali dei nervi spinali (v. fig. 16). L'unità elementare strutturale del nervo periferico è la fibra nervosa, costituita da un prolungamento neuronale (assone o dendrite), rivestito per la quasi totalità della sua lunghezza da protrusioni citoplasmatiche di cellule specializzate, le cellule di Schwann: questo rivestimento, presente nella maggioranza ma non in tutte le fibre, è costituito da mielina e ha la struttura di un avvolgimento a spirale (v. fig. 17). Schematicamente, ciascun tronco nervoso originato dai nervi spinali emergenti nel tratto midollare compreso tra il primo segmento toracico e il secondo o terzo lombare possiede una componente afferente e una efferente (dette anche, in senso lato, 'sensitiva' e 'motoria', rispettivamente), a loro volta distinte in una componente detta 'somatica' (v. somatoestesia) e una 'viscerale' o 'autonomica' (v. sistema nervoso autonomo). La componente afferente somatica conduce al midollo spinale impulsi sensitivi (tattili, termici, dolorifici, pressori, ecc.) generati dalla stimolazione fisica di recettori cutanei (esterocettori), muscolari, tendinei, osteoarticolari (propriocettori); quella afferente autonoma conduce impulsi sensitivi generati dalla stimolazione fisica o chimica di recettori localizzati a livello degli organi interni (enterocettori). La componente efferente somatica conduce impulsi motori ai muscoli scheletrici; quella autonoma conduce impulsi preposti al controllo della muscolatura liscia dell'occhio, dei vasi sanguigni, di alcuni apparati interni; dell'attività secretoria ed escretoria delle ghiandole dell'organismo; dell'attività cardiaca; della motilità dell'apparato gastrointestinale (v. recettori).

5. Anatomia microscopica del SNC

Si riconoscono due classi di cellule proprie del SNC: le cellule nervose, o neuroni, capaci di generare e condurre a distanza impulsi elettrici e responsabili, pertanto, della specificità funzionale del tessuto nervoso (v. fig. 18); le cellule neurogliali (termine utilizzato originariamente per designare cellule con funzione di 'legame' tra i neuroni), o cellule interstiziali, che svolgono diverse funzioni metaboliche fondamentali per mantenere l'efficienza e l'integrità strutturale e funzionale del tessuto nervoso (v. fig. 19). Vi sono tre tipi di cellule neurogliali: astrociti, oligodendrociti e cellule ependimali.

Altre cellule presenti nel SNC sono la microglia, le cellule costituenti delle meningi e quelle dei vasi sanguigni, che hanno origine embrionale diversa da quella dei neuroni e della neuroglia. Essendo stati i neuroni ampiamente trattati in precedenza, qui prenderemo in esame soprattutto gli altri tipi di cellule.

Neuroglia. - Gli astrociti sono cellule la cui forma ricorda un astro, con raggi numerosi e brevi (protoplasmatici) o rari e lunghi (fibrillari): i primi prevalgono nella sostanza grigia, i secondi in quella bianca cerebrale e spinale. Il nucleo si distingue da quello dei neuroni soprattutto perché, generalmente, non è riconoscibile il nucleolo. Gli organuli citoplasmatici sono identici a quelli neuronali, a eccezione della neuromelanina che è assente. Il citoplasma del corpo cellulare e dei prolungamenti maggiori negli astrociti fibrillari è ricco di granuli di glicogeno e di tipici filamenti astrocitari, il cui principale costituente è la proteina gliofibrillare acida (GFAP), il ruolo della quale non è noto; la sintesi della GFAP, estremamente attiva e rapida, è un indicatore sensibile delle variazioni funzionali degli astrociti. Queste cellule costituiscono complessivamente circa il 35% del volume encefalico e sono più numerose dei neuroni, in misura regionalmente variabile (da 4:1 nel putamen a 100:1 nel pallido). Con gli elementi cellulari circostanti stabiliscono rapporti anatomico-funzionali mediante le terminazioni dei loro prolungamenti, dette 'podociti', o direttamente tramite il corpo cellulare. Le loro principali funzioni, oltre quella di sostegno dei neuroni, comprendono: riparazione e cicatrizzazione delle lesioni tissutali; partecipazione alla funzione di barriera ematoencefalica (BEE); protezione della superficie neuronale da afferenze aspecifiche; partecipazione allo sviluppo e al differenziamento neuronale e alla regolazione dei fenomeni di plasticità neuronale; mantenimento degli equilibri ionici cerebrali (accumulo e trasporto attivo di K⁺, Na⁺ e Cl⁻); partecipazione al controllo dell'eccitabilità e del metabolismo energetico e neurotrasmettitoriale del tessuto nervoso; detossicazione dell'ammoniaca; rimozione di sostanze, particelle e resti cellulari; partecipazione alla risposta immune intracerebrale.

Gli oligodendrociti si localizzano prevalentemente in prossimità delle fibre nervose (oligodendrociti interfascicolari) nella sostanza bianca e in quella grigia, ma anche intorno al corpo cellulare dei neuroni (oligodendrociti satelliti) o nelle adiacenze dei vasi sanguigni. Sono meno numerosi e più piccoli degli astrociti e si riconoscono per la sottile rima citoplasmatica, poligonale o circolare, che circonda il nucleo, tondo od ovale. I prolungamenti cellulari, rari e delicati, sono visibili solo con i metodi di colorazione speciali (impregnazione argentea). Funzione principale degli oligodendrociti è la formazione e il mantenimento della mielina; possiedono, inoltre, vari enzimi (2',3'-ciclico-nucleotide-3'-fosfodiesterasi, anidraasi carbonica, glicerofosfato- e glucosio-6-fosfatodeidrogenasi) coinvolti in processi finalizzati al mantenimento dell'integrità strutturale dei neuroni.

Gli ependimociti sono cellule simil-epiteliali che formano l'ependima, il rivestimento delle cavità interne del SNC (ventricoli, acquedotto cerebrale, canale centrale spinale). Hanno forma cuboidale o cilindrica e aderiscono l'un l'altro mediante strutture di membrana specializzate (giunzioni serrate o tight junctions). La faccia apicale o libera, a contatto con il liquido cefalorachidiano, è fornita di ciglia, microvilli e semplici protrusioni citoplasmatiche che ne aumentano la superficie; le ciglia sono strutture capaci di movimento. Dagli ependimociti ordinari si distinguono i taniciti, la cui porzione basale è in contatto con i capillari subependimali e quella apicale presenta scarse ciglia. L'ependima, grazie alla presenza delle giunzioni serrate intercellulari e al possesso di specifici meccanismi di trasporto cellulare per diversi metaboliti, costituisce una barriera (barriera liquido cefalorachidiano-encefalo) alla libera diffusione di sostanze dai tessuti nervosi al liquido cefalorachidiano e viceversa. Si ritiene che i taniciti siano capaci di trasporto bidirezionale tra vasi sanguigni e liquido cefalorachidiano.

Microglia. - Le cellule microgliali sono ubiquitarie nel SNC, ma relativamente più numerose nella corteccia cerebrale, con tendenza a concentrarsi intorno ai neuroni e ai vasi sanguigni. Hanno forma allungata, scarso citoplasma e lunghi prolungamenti, meno numerosi di quelli degli astrociti, evidenziabili con i metodi di impregnazione argentea. Il nucleo, generalmente dislocato a un'estremità del citoplasma, è triangolare o allungato. Tra gli organuli citoplasmatici sono preminenti i lisosomi, che appaiono in forma di corpi inclusi densi. La microglia è responsabile del mantenimento del normale bilancio idrosalino nello spazio extracellulare e della rimozione (fagocitosi) di sostanze e particelle estranee o residue alla distruzione cellulare nei disordini del sistema nervoso, e ha, verosimilmente, anche un ruolo nelle difese immunologiche. La sua origine è oggetto di controversia: secondo l'ipotesi attualmente più accreditata, una quota deriverebbe da primitive cellule mesodermiche in rapporto con la pia madre, e una quota da elementi ematici, i monociti, che penetrati nel cervello assumerebbero, sotto l'influsso del nuovo microambiente, caratteristiche microgliali.

Microcircolo cerebrale e barriera ematoencefalica. - I rami vascolari, definiti arteriole, si distaccano dalle arterie visibili a occhio nudo sulla superficie del SN e penetrano nei tessuti, dove si ramificano in una rete di vasi via via più numerosi e di calibro progressivamente decrescente, in cui si distinguono, in base a criteri strutturali e funzionali, le metarteriole, i precapillari e, infine, i capillari (diametro 4-6 μm). Da questi ultimi, quindi, il sangue passa nel distretto venoso, i cui componenti, di calibro progressivamente crescente, vengono distinti in venule postcapillari, venule e vene. La rete artero-venosa intratissutale prende il nome di 'microcircolo'. Arteriole e metarteriole possiedono una parete con componente muscolare e sono in grado di modificare il loro calibro in risposta a variazioni della pressione arteriosa sistemica, in modo tale che il flusso ematico all'encefalo rimanga costante nell'ambito di uno spettro di valori della pressione arteriosa sistolica esteso da 65 a 180 mmHg (autoregolazione). Possiedono, inoltre, una spiccata reattività alle variazioni di

concentrazione ematica di anidride carbonica (CO₂), che si riflette in una pronta dilatazione in caso di aumento di quest'ultima, come avviene, ad esempio, in condizioni di insufficienza respiratoria: la vasodilatazione consente l'aumento del flusso ematico cerebrale in misura tale da mantenere una ossigenazione adeguata del SN anche in condizioni di relativa ipossia. I capillari sono la sede unica degli scambi metabolici tra sangue ed encefalo, in particolare la loro parete viene attraversata per diffusione dall'ossigeno e, grazie a meccanismi di trasporto specifici, dal glucosio. I capillari encefalici, in virtù della peculiare strutturazione della loro parete (giunzioni serrate interendoteliali; membrana basale continua; intimo legame con i podociti astrocitari) e della presenza, in quest'ultima, di numerosi enzimi in grado di degradare, di frazionare o di legare le sostanze più varie, costituiscono una barriera selettiva nei confronti della maggioranza delle sostanze e dei composti trasportati dal sangue. Tale caratteristica, unica dei capillari cerebrali, viene definita barriera ematoencefalica (BEE) ed è presente in tutto il sistema nervoso centrale a eccezione di alcune strutture periventricolari (area postrema, eminenzia mediana, organo subcommissurale e subfornicale, cresta sopraottica, pineale e neuroipofisi). La BEE possiede la capacità di regolare il volume encefalico mediante limitazione della diffusione dell'acqua attraverso la parete vasale; d'impedire il passaggio di gran parte delle sostanze idrosolubili dal sangue all'encefalo; di selezionare le sostanze all'interfaccia sangue-encefalo in base alle loro caratteristiche di liposolubilità, carica elettrica, diametro molecolare, costante di dissociazione, affinità per i sistemi di trasporto specifici presenti a livello della BEE stessa; di trasportare dal sangue all'encefalo sostanze, tra le quali esosi e amminoacidi, mediante sistemi stereospecifici. Prive di BEE sono, invece, le arteriole e le venule. Queste ultime sono la sede di inizio dei principali fenomeni reattivi cellulo- e immunomediati in corso di processi infiammatori a livello del SN: in particolare, del passaggio degli elementi ematici della serie bianca dal letto vascolare al cervello.

Meningi. - La dura madre è un involucro formato da un denso intreccio di spessi fascicoli di collagene e fibroblasti, tra i quali decorrono vasi sanguigni, la cui superficie interna, in condizioni normali, è separata dall'aracnoide da uno spazio virtuale. L'aracnoide, invece, delimita lo spazio subaracnoideo nel quale circola il liquido cerebrospinale, ed è in rapporto con la pia sottostante tramite trabecole aracnoidee: è formata da una trama di cellule di sostegno rivestite da cellule laminari, denominate meningotelociti, che sono congiunte tra loro da contatti intercellulari specializzati. Diverticoli, denominati villi, e granulazioni aracnoidee penetrano entro le vene e i seni venosi della dura e costituiscono la maggior via di drenaggio del liquido cerebrospinale che percola, attraverso di essi, nel circolo venoso. La pia, formata da cellule simili ai meningotelociti, ma più sottili, riveste la superficie encefalo-midollare; essa aderisce a manicotto ai vasi superficiali del sistema nervoso, dividendo lo spazio subaracnoideo dagli spazi perivascolari intracerebrali di Virchow-Robin. Aracnoide e pia vengono dette leptomeningi.

Plessi corioidei. - Nell'encefalo vi sono 4 plessi corioidei, due adesi alla parete mediale di ciascuno dei due ventricoli laterali e due al tetto del III e del IV ventricolo, rispettivamente. Sono composti da pliche della pia madre, ciascuna delle quali dotata di un capillare, ricoperte da una lamina epiteliale di derivazione ependimale. L'epitelio, formato da un singolo strato di cellule cuboidali ciliate adese a una membrana basale continua e congiunte tra loro mediante tight junctions, non solo costituisce la barriera plessoliquorale ma è anche sede dei fenomeni di trasporto dei substrati necessari per la produzione del liquido cerebrospinale: i plessi formano, infatti, l'80-90% dei 500-700 ml di liquido cerebrospinale prodotti quotidianamente nell'uomo sotto l'influenza di diversi fattori, tra i quali la pressione intracranica, l'osmolarità serica, la temperatura corporea, l'innervazione dei plessi, l'età dell'individuo e i livelli di prostaglandine. Il volume degli spazi liquorali è di circa 140 ml, di cui 25-30 ml dei ventricoli e il resto degli spazi subaracnoidei. I plessi hanno anche limitate capacità di riassorbimento del liquido cerebrospinale.

Lamina subependimale. - È uno strato cellulare sottostante l'ependima dei ventricoli laterali, residuo della matrice embrionale da cui nel feto originano i neuroni e la glia, formato da elementi che presentano caratteristiche ultrastrutturali tipiche delle forme primitive: elevato rapporto nucleo-citoplasmatico, predominanza di ribosomi liberi rispetto a quelli legati a membrane e scarsi organuli citoplasmatici. Vi sono prove convincenti che in diverse specie, compresi i Primati, le cellule della lamina subependimale - astrociti e oligodendrociti maturi - mantengono la capacità mitotica, a differenza degli altri elementi cellulari del sistema nervoso. Oltre alla lamina subependimale, zone generative secondarie, temporaneamente attive nel periodo postnatale, sono rappresentate dal giro dentato dell'ippocampo, dal bulbo olfattorio e dallo strato granulare esterno del cervelletto. Nell'uomo, tuttavia, le conoscenze a tale proposito sono limitate.

6. Neuropatologia generale: processi elementari

Si distinguono due gruppi generali di processi cellulari che si manifestano in risposta all'azione di noxae patogene sul SN: regressivi/degenerativi e progressivi/ipertrofico-iperplastici. I primi sono espressione del deterioramento e dell'eventuale morte cellulare, i secondi dei tentativi di difesa e di riparazione da parte delle cellule sfuggite all'evento nocivo. Alcuni processi, ad esempio quelli che accompagnano l'invecchiamento, eludono un chiaro inquadramento nell'una o nell'altra categoria. Si devono ricordare ancora i processi neoplastici, espressione dell'alterazione dei meccanismi di controllo della crescita e proliferazione cellulare (polimorfismo cellulare e nucleare, alterazione del rapporto nucleo-citoplasmatico e di quello nucleolo-nucleare, mitosi anomale, atipia cellulare e/o nucleare, ecc.) che, tuttavia, non discostandosi da quelli descritti in oncologia generale, non verranno descritti (v. chirurgia: Neurochirurgia; neoplasie: Oncologia clinica).

La trattazione separata dei processi elementari a livello neuronale, gliale, vascolare e meningeo è didatticamente conveniente, anche se quasi mai gli eventi patologici a carico del sistema nervoso interessano un singolo tipo cellulare, e raramente le reazioni individuali sono patognomoniche del processo che le ha generate. Le lesioni tissutali devono piuttosto essere studiate in termini di costellazioni cellulari, la cui valutazione d'insieme consente, spesso, la diagnosi eziologica.

a) Processi neuronali regressivi

I neuroni sono gli elementi del sistema nervoso più sensibili alle noxae patogene e quelli che mostrano la maggiore varietà di reazioni regressive/degenerative; la loro capacità di riparazione e rigenerazione è, invece, scarsa. I processi progressivi si limitano, in pratica, alla presenza di neuroni binucleati o multinucleati, con corpo cellulare talora gigante e profilo irregolare, privi di arborizzazioni dendritiche, che si trovano nelle malformazioni congenite, negli amartomi e, occasionalmente, al margine di lesioni focali inveterate, con possibile significato reattivo.

L'interruzione o la lesione dell'assone comporta, a livello del corpo cellulare, un quadro definito 'cromatolisi centrale', caratterizzato essenzialmente da un processo di disgregazione del reticolo endoplasmatico rugoso (sostanza di Nissl) il cui corrispettivo morfologico, nella fase conclamata, è rappresentato dalla perdita della normale colorabilità della porzione centrale del citoplasma neuronale (v. fig. 20): tale perdita si osserva tipicamente nei neuroni motori spinali il cui assone abbia subito una lesione distale, mentre è rara nei neuroni motori centrali. Essa rappresenta l'espressione del tentativo della cellula di ripristinare l'integrità dell'assone: se ciò avviene, la cellula riprende il suo aspetto normale, passando attraverso uno stadio definito 'cromatolisi periferica', perché la porzione citoplasmatica ipocolorabile è localizzata alla periferia cellulare. Se la lesione dell'assone avviene in prossimità del corpo cellulare, questo usualmente degenera. Quadri indistinguibili dalla cromatolisi centrale si osservano nella carenza della vitamina PP (pellagra) e in una condizione 'dementigena' progressiva su base degenerativa del SNC, detta malattia di Pick, di cui patogenesi e significato non sono stati ancora chiariti.

In conseguenza di una carenza acuta dell'apporto ematico di ossigeno (ipossia/ischemia) e/o di glucosio (ipoglicemia), che sono i principali substrati metabolici dei neuroni, si manifesta una sequenza di alterazioni cellulari, che dall'iniziale, reversibile, rigonfiamento dei mitocondri, che appaiono come vacuoli intracitoplasmatici (microvacuolizzazione), attraverso una fase caratterizzata dalla riduzione del volume e dalla modificazione delle proprietà tintoriali e della morfologia del nucleo, del citoplasma e dei prolungamenti cellulari (coagulazione o ischemia cellulare) può progredire verso la distorsione della superficie neuronale, ove compaiono piccole masse basofile (incrostazione) sino alla completa destrutturazione citoplasmatica con

disfacimento degli organuli (omogenizzazione). In seguito alla lisi delle membrane neuronali resta riconoscibile solo il profilo del corpo cellulare (neurone fantasma). In questo stadio sono frequenti fenomeni di fagocitosi dei neuroni (neuronofagia). Neuroni fantasma si trovano anche al margine di lesioni traumatiche e in processi degenerativi e infettivi selettivi della sostanza grigia (poliomielite). La successione di questi processi può essere interrotta (reversibilità) se la carenza di ossigeno è di breve durata. La vulnerabilità a tale carenza varia, comunque, da specie a specie: nell'uomo, la microvacuolizzazione e la coagulazione non si manifestano, verosimilmente, prima di 30 minuti di ipossia e di 90 di ischemia. La sensibilità al danno ipossico varia inoltre a seconda del tipo neuronale: i neuroni piramidali delle lamine III, V e VI della corteccia cerebrale, quelli del settore CA1 dell'ippocampo e le cellule di Purkinje nel cervelletto sono gli elementi più vulnerabili in assoluto. A livello dello striato vengono preferenzialmente danneggiati i neuroni di piccola e media dimensione rispetto a quelli grandi (v. neurobiologia: Organizzazione neuronale cerebrale e cerebellare).

Nell'invecchiamento fisiologico e in quello prematuro e nelle condizioni degenerative sistemiche (malattia di Alzheimer, malattia dei motoneuroni, degenerazione multisistemica, corea di Huntington, ecc.), per cause non ben conosciute alcuni complessi enzimatici neuronali vanno incontro a selettiva e progressiva alterazione con conseguenti modificazioni cellulari a evoluzione cronica. Questi processi, nella forma più semplice (atrofia semplice o sclerosi cellulare cronica), sono caratterizzati essenzialmente dalla progressiva atrofizzazione del corpo cellulare con riduzione, prima, e disgregazione, poi, dei prolungamenti cellulari e della mielina, sino alla scomparsa del neurone, cui si associa una reazione astrocitaria e microgliale. Questo tipo di processo degenerativo si osserva in neuroni nei quali sono venuti a mancare o si sono fortemente ridotti gli impulsi afferenti (degenerazione transneuroneale o transinaptica) e può estendersi a cascata a neuroni collegati in successione. La sclerosi cellulare può manifestarsi anche in elementi il cui assone è in contatto con neuroni degenerati (degenerazione transneuroneale retrograda).

Diverse condizioni patologiche (malattie degenerative, anomalie dello sviluppo, ecc.) si accompagnano alla comparsa di inclusioni intraneuronali, di genesi e morfologia variabili. Sebbene quasi nessuno di tali processi sia specifico di una malattia, essi hanno importanza ai fini della diagnostica e della ricerca neuropatologica: nella malattia di Alzheimer, ad esempio, si osservano formazioni filamentose con una configurazione triangolare o a fiamma (degenerazione neurofibrillare di Alzheimer; v. fig. 21) che presentano caratteristiche istologiche, ultrastrutturali e di distribuzione distinte nei diversi tipi neuronali, ma tipiche della malattia. Infatti, processi morfologicamente identici, ma differenti per numero e localizzazione, si riscontrano in diverse altre condizioni degenerative e negli individui affetti dalla sindrome di Down che raggiungono l'età adulta; in altre rare malattie degenerative (paralisi sopranucleare progressiva; forme sporadiche delle malattie del

motoneurone) ricorrono invece degenerazioni neurofibrillari ultrastrutturalmente differenti. Ancora nella malattia di Alzheimer, in altre condizioni degenerative e nella sclerosi tuberosa, i neuroni piramidali dell'ippocampo possono presentare nel citoplasma uno o più vacuoli, ciascuno contenente un piccolo granulo basofilo incluso in una matrice translucida (degenerazione granulo-vacuolare di Simchowicz).

Specifiche, invece, della malattia di Pick sono le omonime cellule di Pick, neuroni tipicamente rotondeggianti, pallidi e omogenei, con inclusioni citoplasmatiche filamentose (corpi di Pick), che si trovano solo negli strati II, III e V della corteccia cerebrale, nell'ippocampo e, talora, nei gangli basali e nella substantia nigra.

Nella malattia di Parkinson, nei neuroni del tronco, pigmentati e non, si possono trovare inclusioni perinucleari e intradendritiche, rotondeggianti, singole o multiple, costituite da materiale filamentoso e granuloso (corpi di Lewy), uno dei cui componenti principali è l'ubiquitina, che ha un ruolo chiave in un sistema enzimatico responsabile della degradazione di proteine anomale o a breve emivita (v. biochimica).

Pazienti affetti da epilessia mioclonica presentano - soprattutto nei neuroni del nucleo dentato, ma anche in quelli della substantia nigra, del talamo e talora della corteccia - tipici aggregati tondeggianti di natura mucopolisaccaridica (corpi di Lafora).

Diverse altre inclusioni con struttura e distribuzione variabili (corpi di Hirano; corpi colloidali; corpi di Marinesco; corpi di Bunina), ma di incerto significato diagnostico, si trovano nel cervello senile, nella malattia di Alzheimer, in quella di Pick e nelle malattie del motoneurone.

Nel citoplasma di neuroni prossimi ad aree emorragiche, contusive, infartuali, possono accumularsi, in forma di granuli, ematina (pigmento emoglobinico), ferro, calcio e altri elementi in tracce (fosforo, zolfo, rame, zinco): la natura dei depositi può essere riconosciuta mediante colorazioni specifiche; il meccanismo di accumulo non è noto. I depositi possono essere legati a membrane o liberi nel citoplasma. Indipendentemente dalle condizioni suddette, in alcune rare malattie si possono riscontrare incrostazioni ferrose (malattia di Hallervorden-Spatz) e di calcio (malattia di Fahr e soggetti con ipoparatiroidismo), con una distribuzione selettiva a livello di alcune aree encefaliche. Macrocalcificazioni della corteccia cerebrale e, in minor misura, della sostanza bianca sottostante possono riscontrarsi in una condizione malformativa (angiomatosi encefalotrigeminali di Sturge-Weber) associata ad anomalie del circolo vascolare meningeo.

Un processo che si manifesta con l'età, in misura individualmente variabile e di cui è difficile definire con certezza la natura patologica, è l'accumulo di prodotti del catabolismo cellulare in forma di lipidi, proteine, carboidrati ed enzimi idrolitici stipati nei corpi residui lisosomiali (lipofusina): i neuroni di alcuni nuclei encefalici (talamo, corpo genicolato laterale, nucleo dentato) ne sono fisiologicamente ricchi, le cellule di Purkinje del cervelletto, invece, ne sono generalmente prive; certamente patologico ne è l'accumulo, che si

manifesta in corso di alcuni deficit enzimatici lisosomiali e nelle malattie degenerative, spesso, ma non sempre, associato ad atrofia cellulare (atrofia pigmentaria).

Nei disordini da difetti degli enzimi lisosomiali (lipidosi, mucopolisaccaridosi, mucopolipidosi e disordini del metabolismo dei glicoconiugati) si verifica l'accumulo intraneuronale di materiale con composizione biochimica variabile e specifica in relazione ai processi metabolici alterati. Tale accumulo comporta la distensione e il rigonfiamento neuronale. Le caratteristiche istochimiche del materiale accumulato consentono di riconoscere a quale classe di composti esso appartenga, e quelle ultrastrutturali (avvolgimenti spiraliformi, corpi zebrati, ecc.) sono abbastanza tipiche per ciascun disordine.

L'identificazione microscopica di corpi inclusi virali, nucleari o citoplasmatici ha avuto molta importanza per dimostrare la natura di un'infezione del sistema nervoso sino all'avvento dei metodi di biologia molecolare. Le inclusioni nucleari vengono abitualmente classificate, in relazione alla loro struttura, in tipo A e tipo B secondo Cowdry. Inclusioni eosinofile, che ultrastrutturalmente appaiono contenere materiale virale, vengono riscontrate soprattutto nell'encefalite necrotizzante da Herpes simplex e nella panencefalite sclerosante subacuta. Nell'infezione da Citomegalovirus, grosse inclusioni circondate da un alone otticamente vuoto conferiscono ai nuclei un aspetto caratteristico, definito a 'occhio di civetta'. Il riscontro di inclusi citoplasmatici è meno frequente: alcuni, costituiti da materiale di origine virale e localizzati in prevalenza nelle cellule piramidali del corno di Ammone e in quelle di Purkinje del cervelletto, sono patognomonicamente della rabbia (corpi di Negri). Talora, il materiale incluso è formato da involucri con aspetto 'a proiettile', costituiti dalle membrane cellulari, all'interno dei quali non è più dimostrabile materiale virale (corpi di Lyssa).

b) Processi assionali regressivi e progressivi

In seguito a una lesione della fibra nervosa, a carico della porzione distale dell'assone si verifica quel processo di disfacimento tendente a progredire in senso centrifugo, che fu originariamente descritto nei nervi periferici (degenerazione walleriana), con meccanismo e quadro morfologico simili. L'assone inizialmente appare rigonfio e pieno di materiale filamentoso, quindi va incontro a coartazione con condensazione dell'assoplasma, degenerazione degli organuli assoplasmatici e, infine, frammentazione (v. fig. 22). Va sottolineato che la degenerazione assonale è seguita da quella mielinica. I resti tissutali vengono rimossi da cellule 'spazzino' (macrofagi). Il processo di degenerazione della porzione dell'assone a monte della lesione procede in senso centripeto, cioè dalla lesione verso il corpo cellulare (degenerazione retrograda), e si manifesta inizialmente con una riduzione del diametro e poi con la progressiva frammentazione dell'assone. Se la lesione è prossima al corpo cellulare, anche quest'ultimo degenera. La degenerazione walleriana a livello centrale avviene in seguito a lesioni focali di diversa eziologia o a sezione meccanica dei tessuti; a livello

periferico tale degenerazione consegue, tipicamente, all'interruzione traumatica del nervo, ma anche a processi di natura vascolare, infiammatoria o tossico-metabolica.

Quando il corpo cellulare del neurone, per cause varie, va incontro ad atrofia, anche l'assone presenta un processo di lenta, progressiva atrofizzazione, sino all'eventuale disintegrazione, che inizia nella sua porzione più distale e ascende verso il corpo cellulare (atrofia semplice retrograda, dying back).

Un processo caratterizzato morfologicamente da una serie di grossi rigonfiamenti tondeggianti lungo il decorso assonale (distrofia neuroassonale) è tipico di alcune rare condizioni osservate nell'infanzia, ma può realizzarsi anche nell'adulto in corso di carenza di vitamina E, nell'intossicazione da triortocresilfosfato e nell'invecchiamento. Rigonfiamenti fusiformi, singoli (formazioni a torpedine), della porzione prossimale dell'assone delle cellule di Purkinje compaiono spesso nelle malattie degenerative croniche.

Nella fase di recupero di una lesione del nervo periferico, a livello del moncone prossimale si verifica una vigorosa rigenerazione degli assoni interrotti, da cui gemmano ramificazioni capaci di attivo accrescimento. Se la porzione distale della fibra è sufficientemente vicina, le ramificazioni neoformate prendono contatto con essa e le cellule di Schwann proliferano per formare un aggregato cilindrico (bande di Bügner) entro il quale gli assoni neoformati possono crescere. La successiva rimielinizzazione di questi assoni completa la fase riparativa. La rigenerazione assonale a livello del sistema nervoso centrale è trascurabile.

c) Processi mielinici regressivi e progressivi

In alcuni disordini da difetti enzimatici, geneticamente determinati, si verifica un disturbo della formazione della mielina (dismielinizzazione), così che le guaine mieliniche a livello centrale e periferico appaiono estremamente sottili. Un processo di distruzione delle guaine mieliniche primitivamente normali (demielinizzazione primaria; v. fig. 23) si osserva, invece, in diverse condizioni patologiche sia del SNC (sclerosi multipla, leucoencefalopatia acuta disseminata, edema cronico) che di quello periferico (neuropatia diabetica, sindrome di Guillain-Barré, neuropatia uremica) che interessano primariamente la mielina o le cellule che la formano. Il processo ha espressione segmentaria, può colpire cioè in parte o per intero un internodo, o alcuni internodi, in modo variabile e irregolare. Possono così realizzarsi un quadro di demielinizzazione completa oppure uno di demielinizzazione parziale. Nel primo, le lamelle mieliniche vanno incontro, attraverso una serie complessa di alterazioni, a disintegrazione completa e nello stadio finale, a livello del SNC, i tessuti circostanti la lesione presentano la scomparsa degli oligodendrociti e la formazione di una cicatrice astrogliale, mentre nel nervo periferico, a livello della lesione, si riscontra proliferazione delle cellule di Schwann e del connettivo proprio del nervo (fibrosi). Nella demielinizzazione parziale, una parte o l'intero internodo presenta una guaina mielinica assottigliata, ma questa alterazione non è associata alla morte

degli elementi che formano la mielina. Un processo di distruzione della mielina può manifestarsi anche secondariamente alla sofferenza, per cause varie, dell'assone e/o del neurone (demyelinizzazione secondaria), così come può realizzarsi in lesioni, per esempio l'infarto, che interessano tutti gli elementi del tessuto nervoso.

A livello del nervo periferico, strutture che ricordano la superficie di taglio di una cipolla (formazioni a bulbo di cipolla), formate da strati multipli, concentrici, di cellule di Schwann disposte intorno a una fibra nervosa, rappresentano lo stadio avanzato di fasi ripetute di demielinizzazione e tentativi di rimielinizzazione tipici della neuropatia interstiziale ipertrofica familiare e di alcune neuropatie metaboliche ereditarie, ma frequenti anche in diverse neuropatie croniche demielinizzanti.

d) Processi astrocitari regressivi e progressivi

Nell'ipossia/ischemia acuta e nelle lesioni distruttive acute si manifesta il processo di necrosi acuta, durante il quale l'astrocita può passare dallo stadio iniziale, reversibile, di rigonfiamento del corpo cellulare e frammentazione dei prolungamenti cellulari (clasmotodendrosi) a una fase terminale di possibile disintegrazione.

L'invecchiamento e i processi degenerativi cronici si accompagnano all'accumulo di lipofuscina nel citoplasma astrocitario (degenerazione cronica). Negli anziani si osserva, inoltre, l'ammassarsi entro i prolungamenti astrocitari, prevalentemente in regione subpiale e subependimale, di formazioni tonde (corpi amilacei) i cui principali costituenti sono polimeri di glucosio (poliglucosani). Morfologia e origine del tutto sovrapponibili a quelle delle analoghe inclusioni neuronali hanno le inclusioni astrocitarie virali. Negli errori congeniti del metabolismo (malattia di Tay-Sachs, mucopolisaccaridosi, ecc.) l'accumulo di specifici metaboliti anomali nel citoplasma degli astrociti presenta analogia strutturale e biochimica con gli stessi processi che si osservano a livello neuronale.

Marcatamente negli infarti e nelle alterazioni traumatiche, ma praticamente in tutte le lesioni del SNC, i processi riparativi tissutali sono caratterizzati da incremento del numero (proliferazione) e del volume (ipertrofia) degli astrociti e delle loro fibrille intracellulari (astrocitosi; v. fig. 24). La proliferazione, stimolata da diversi fattori, avviene per divisione mitotica già nelle prime 24 ore dopo un evento lesivo. L'ipertrofia riguarda sia il corpo che i prolungamenti cellulari; si verifica un forte incremento del numero degli organuli citoplasmatici, dell'attività degli enzimi ossidativi e, in particolare, dei filamenti intermedi della proteina gliale fibrillare acida (GFAP). Gli astrociti reattivi partecipano attivamente alla fagocitosi, all'attivazione di enzimi proteolitici tissutali, al riassorbimento dell'edema cerebrale, alla ricostituzione delle membrane basali e, mediante i loro prolungamenti ripieni di GFAP, alla formazione della cicatrice gliale. La sola ipertrofia

astrocitaria, senza proliferazione e con abnorme produzione di fibrille astrocitarie (astrogliosi o gliosi fibrillare), rappresenta il correlato morfologico di processi riparativi di vecchia data. In aree di astrogliosi cronica e nei tumori astrocitari ed ependimali a lenta crescita, entro i prolungamenti astrocitari si riscontrano, frequentemente, formazioni filamentose di dimensioni variabili, parzialmente positive alla reazione immunocitochimica per la GFAP, dette fibre di Rosenthal.

Nella malattia di Wilson (degenerazione epatolenticolare) si osservano astrociti abnormemente grossi, con nucleo irregolare, detti astrociti di Alzheimer (senza relazione con la omonima malattia), che vengono distinti in quelli di tipo I, con abbondante citoplasma e prolungamenti brevi, e quelli di tipo II, con nucleo gigante, irregolare, uno o due nucleoli e citoplasma scarso. Le modificazioni degli astrociti di tipo II rappresentano un adattamento all'esigenza di metabolizzare l'ammoniaca in eccesso: solo dopo la saturazione degli astrociti o il decadimento di questa loro capacità metabolica si manifesta l'encefalopatia epatica. Nella malattia di Wilson si riscontrano, inoltre, altre cellule, verosimilmente astrociti, con corpo abnormemente ampio e nucleo relativamente piccolo e denso in posizione periferica (cellule di Opalski).

e) Processi oligodendrogliali, microgliali e monocitari

Lo spettro di reazioni dell'oligodendroglia a eventi lesivi è limitato. I processi di significato certamente patologico sono rappresentati dalla presenza di inclusioni nucleari virali (specialmente nella panencefalite sclerosante subacuta) e di materiale d'accumulo nei deficit enzimatici lisosomiali. La perdita di oligodendrociti descritta nella sclerosi multipla non è un reperto costante. Altri processi descritti (rigonfiamento acuto, satellitosi) sembrano artefatti o comunque privi di significato patologico. Devono essere ricordati, tuttavia, il danno tossico diretto subito dagli oligodendrociti a opera di vari composti chimici (isoniazide, 6-amminonicotinammide, esaclorofene), che si manifesta inizialmente con la vacuolizzazione della guaina mielinica e poi con la morte dell'oligodendrocita, e la vulnerabilità degli oligodendrociti alle radiazioni ionizzanti, che si manifesta con degenerazione e morte tardive.

Diversi processi lesivi del sistema nervoso centrale causano, entro 24-48 ore dal loro inizio, attivazione delle cellule microgliali: queste migrano verso il sito della lesione, si moltiplicano per mitosi, assumono una forma tondeggiante, fagocitano i corpi estranei e i resti dei tessuti in disfacimento e il loro citoplasma appare ripieno di materiale lipidico (cellule schiumose) e/o di pigmenti ematici. Il modo in cui le cellule ripiene di materiale fagocitato abbandonano il cervello non è chiaro. Una intensa proliferazione della microglia in forma di elementi a bastoncino (microglia a bastoncino) viene considerata tipica delle encefaliti e del danno cerebrale subacuto. Focolai di cellule microgliali (noduli microgliali), macrofagi e spesso cellule giganti multinucleate si riscontrano frequentemente nell'encefalite dovuta a infezione da virus HIV-1 e 2, responsabili della

sindrome da immunodeficienza acquisita (AIDS); gruppi di cellule microgliali attivate si trovano spesso in prossimità di neuroni lesi o morti.

7. Neuropatologia generale: processi patologici tissutali

I processi cellulari elementari sopra descritti possono non solo manifestarsi in misura tale da provocare modificazioni macroscopiche delle strutture nervose, ma associarsi, inoltre, a processi a carico delle meningi, dei vasi e degli elementi connettivali. Tali processi hanno importanza, oltre che per la diagnostica neuropatologica, anche per quella clinica, in quanto la maggioranza di essi è rilevabile con le moderne metodiche d'immagine, quali la tomografia assiale computerizzata e la risonanza magnetica nucleare.

Atrofia. - L'atrofia è caratterizzata da diminuzione di volume, regionale o generalizzata, delle strutture cerebrali, del tronco-encefalo e/o del midollo spinale. La forma di più frequente osservazione è quella che colpisce la corteccia cerebrale nei processi dementigeni, in cui le circonvoluzioni appaiono assottigliate e i solchi e le scissure dilatati (v. fig. 25). Il substrato istologico di questo processo è la diffusa scomparsa di neuroni, associata a gliosi di variabile intensità. L'atrofia a livello del tronco e del cervelletto ricorre soprattutto in condizioni degenerative plurisistemiche. A livello del midollo spinale un aspetto atrofico può essere secondario alla degenerazione dei tratti motori, o dei cordoni sensitivi posteriori, associata o meno a degenerazione dei neuroni delle corna anteriori.

Dilatazione ventricolare. - Questo processo è ben evidente nelle forme gravi, altrimenti richiede una certa esperienza per essere individuato. La dilatazione degli spazi ventricolari può essere secondaria all'atrofia della sostanza bianca e/o delle strutture grigie periventricolari, o a un accumulo di liquor, per ostacolo (tumorale, malformativo, infiammatorio, ecc.) alla sua circolazione e/o riassorbimento: questa seconda condizione viene definita idrocefalo (v. fig. 26).

Rigonfiamento ed edema. - Potenziali complicazioni a mediazione vascolare di numerose condizioni patologiche del sistema nervoso, di rilevante importanza clinica, sono rappresentate dal rigonfiamento e dall'edema tissutali. Questi fenomeni possono manifestarsi, isolatamente o in associazione, sia a livello encefalico che spinale, in forma localizzata o diffusa, ma hanno maggiore significato clinico-neuropatologico nella localizzazione encefalica, che si accompagna a incremento del volume encefalico. A quest'ultimo fenomeno consegue la dislocazione di un corrispondente volume di liquido cerebrospinale dagli spazi liquorali intracranici (ventricoli e spazi subaracnoidei) verso quelli spinali; quando questo meccanismo di compenso viene saturato, la pressione intracranica aumenta, e compaiono fenomeni di dislocazione e deformazione delle strutture encefaliche. In questa catena di eventi il danno secondario del tronco-encefalo, sede di importanti nuclei regolatori delle funzioni vitali dell'organismo, può avere conseguenze letali.

Un incremento volumetrico cerebrale acuto, legato a dilatazione generalizzata del microcircolo (rigonfiamento cerebrale congestizio), può manifestarsi soprattutto nei traumi cranici. Questo fenomeno è causato da una marcata vasodilatazione cerebrale in combinazione con l'incremento della pressione arteriosa regionale. Il rigonfiamento cerebrale, d'altra parte, può indurre un innalzamento della pressione intracranica con progressivo ostacolo alla circolazione cerebrale e ischemia. Persistendo quest'ultima si instaura una paralisi vasomotoria, cui conseguono rottura della BEE, edema tissutale e un ulteriore incremento della pressione intracranica sino all'arresto della perfusione e alla morte cerebrale.

Il contenuto normale d'acqua è pari a circa l'80% del peso fresco della sostanza grigia e al 68% del peso fresco di quella bianca; per valori superiori si realizza una condizione di edema cerebrale. Macroscopicamente questa si distingue dal rigonfiamento congestizio perché la superficie di taglio del cervello, a fresco, appare umida e lucente. Nelle preparazioni istologiche le regioni edematose appaiono pallide rispetto ai tessuti normali; l'edema è contenuto prevalentemente negli astrociti, a livello della sostanza grigia e, in maggior quantità, negli spazi extracellulari tra le fibre mieliniche a livello di quella bianca. In relazione a caratteristiche patogenetiche e morfologiche vengono distinti cinque tipi di edema: 1) vasogenico (tipico di tumori, ascessi, contusioni e infarti), in cui acqua, elettroliti e proteine si accumulano negli spazi extracellulari in seguito a danno fisico della BEE o ad abnorme incremento dell'attività di trasporto transcellulare (pinocitosi) delle cellule endoteliali capillari; 2) citotossico (tipico delle fasi iniziali dell'ischemia e dell'intossicazione da esaclorofene e composti del metilmercurio), così detto perché l'acqua si accumula, inizialmente, a livello intracellulare a causa dell'alterazione dei meccanismi di osmoregolazione cellulare, principalmente della pompa di membrana Na⁺-K⁺ ATP-dipendente; persistendo le condizioni patologiche responsabili dell'edema, a quella citotossica, entro poche ore, si aggiunge una componente vasogenica; 3) idrostatico, che è quello associato al rigonfiamento congestizio in cui, per l'elevata pressione intravascolare, l'acqua fuoriesce dai vasi e diffonde nello spazio extracellulare; 4) ipo-osmotico, osservato quasi esclusivamente in condizioni di riduzione della pressione colloidale del plasma, conseguente, in genere, a eccessiva somministrazione intravenosa di soluzioni ipotoniche, o a carente secrezione di ormone antidiuretico; 5) interstiziale liquorale, rappresentato dall'accumulo di liquido cefalorachidiano nei tessuti periventricolari, frequente nell'idrocefalo ostruttivo acuto.

Necrosi. - Questo processo, che consiste, essenzialmente, nella distruzione del tessuto nervoso, può conseguire alle cause più diverse, quali l'insufficiente apporto ematico (ischemia), un trauma, un'infezione, ecc. I processi necrotizzanti di vecchia data culminano nella formazione di cavità intracerebrali di dimensioni variabili. Nella fase iniziale la necrosi è in genere riconoscibile per la ridotta consistenza dei tessuti accompagnata da edema. La necrosi, che microscopicamente è caratterizzata dalla scomparsa degli elementi nervosi, nelle sue fasi

iniziali è sempre mediata, indipendentemente dalla causa scatenante, da cellule ematiche (granulociti neutrofili, monociti, linfociti, ecc.).

Emorragia. - Questo processo, che consiste nella fuoriuscita di sangue dai vasi arteriosi e/o venosi, può avere cause varie - traumatiche, malformative, neoplastiche, infettive, ecc. - che comportano, comunque, la rottura della parete vasale. L'emorragia può essere massiva e dare segni di sé in breve tempo, come si verifica, generalmente, nella lesione di un vaso arterioso, o essere circoscritta e manifestarsi lentamente, come è più facile osservare nelle emorragie venose. Le emorragie possono avvenire a vari livelli: schematicamente, tra involucro osseo e dura (epidurale); tra dura e aracnoide (subdurale); tra aracnoide e pia (subaracnoidea); entro i tessuti del SN (intraparenchimale). Anche gli spazi liquorali possono essere sede, primaria o secondaria, di emorragie. Le emorragie di più frequente riscontro sono quelle da rottura di dilatazioni malformative (aneurismi) della parete delle arterie cerebrali, per lo più subaracnoidee; secondarie a crisi ipertensive, localizzate tipicamente a livello dei gangli basali; post-traumatiche, che danno origine a ematomi (raccolte di sangue) epidurali e/o subdurali.

Demielinizzazione e dismielinizzazione. - La demielinizzazione - che consiste nella perdita delle guaine mieliniche a livello centrale e/o periferico - si verifica a causa di processi acquisiti, che agiscono, cioè, su una mielina primariamente normale e vengono detti mielinoclastici (mielinodistruttivi); la dismielinizzazione si osserva in particolari condizioni, per lo più familiari, dette leucodistrofie, caratterizzate da un'alterazione, geneticamente determinata, dei meccanismi necessari al normale rinnovo della mielina. La malattia demielinizzante più frequente è la sclerosi multipla o sclerosi a placche, che ha natura mielinoclastica. La demielinizzazione può manifestarsi a livello della sostanza bianca in qualsiasi parte del SN, con perdita, in aree limitate o diffusamente, del suo normale aspetto bianco-lucente e delle sue proprietà tintoriali nei preparati istologici, e con modificazione delle sue caratteristiche nelle immagini di risonanza magnetica nucleare.

Infiammazione. - Questo processo consiste essenzialmente nell'invasione, localizzata a livello perivascolare o disseminata con infiltrazione dei tessuti, da parte di cellule ematiche della serie leucocitaria, di tipo variabile a seconda della fase e della causa del processo infiammatorio: per esempio, prevalentemente granulociti neutrofili nella fase acuta, e linfociti e mononucleati in quella cronica delle infezioni batteriche; linfociti e plasmacellule a livello perivascolare nelle infezioni virali; ecc. La presenza di elementi infiammatori a livello del SN non è, comunque, legata solo a processi infettivi, in quanto quasi tutti gli eventi patogeni acquisiti, dall'ischemia ai tumori, alle malattie demielinizzanti, si accompagnano a una risposta infiammatoria dei tessuti nervosi.

Spongiosi. - Si tratta di un processo caratterizzato da una degenerazione microcistica della sostanza grigia e/o di quella bianca del SNC. Spongiosi della sostanza grigia si osserva in malattie dementigene e consiste nella presenza di bolle e aree, apparentemente vuote, negli astrociti e nei neuroni. Spongiosi della sostanza bianca può essere riscontrata, per esempio, in processi degenerativi subacuti o in corso di AIDS, a livello del midollo spinale. Le modalità di insorgenza di questo processo non sono chiare.

Tumori. - I tumori sono formazioni occupanti spazio prodotte da proliferazione incontrollata di elementi cellulari atipici (neoplasie) oppure da moltiplicazione di elementi cellulari normalmente differenziati, di origine embrionale o meno (cisti, teratomi, amartomi). I tumori vengono distinti in primari e secondari a seconda che siano originati, rispettivamente, da elementi cellulari propri del sistema nervoso o da elementi extranevrassiali. Le neoplasie primarie derivano da cellule che perdono o non acquisiscono la maturità morfofunzionale e crescono in quantità incontrollata e con qualità abnormi; le cellule che danno origine a cisti, teratomi, amartomi, presentano invece caratteristiche morfofunzionali di maturità, ma si moltiplicano in sedi anomale e in quantità eccessiva. I tumori causano danno alle strutture del SN principalmente attraverso un'azione meccanica, compressiva (effetto massa; v. fig. 27). I tumori primari del SN e le cellule da cui originano sono elencati nella tab. II; le forme più frequenti sono quelle di origine gliale.

TABELLA II. - CLASSIFICAZIONE ISTOLOGICA SEMPLIFICATA DEI TUMORI PRIMARI DEL SISTEMA NERVOSO.

Origine embrionale	Cellule d'origine nel SN maturo	Tumore derivato
Tubo neurale	Astrociti Oligodendrociti Ependimociti Neuroni	Astrocitoma, glioblastoma Oligodendroglioma Ependimoma, papilloma dei plessi, cisti colloide Medulloepitelioma, medulloblastoma, neuroblastoma, gangliocitoma, ganglioglioma
Cresta neurale	Pinealociti Cellule di Schwann Meningotelociti Melanociti	Pinealocitoma, pinealoblastoma Neurinoma Meningioma Melanoma Craniofaringioma, colesteatoma
Ectoderma Notocorda Cellule germinali Derivati dei tre foglietti Varia	Connettivali Linfatiche Cellule della parete vasale Cellule del glomo giugulare Cellule del glomo carotideo	Cordoma Germinoma Teratoma Sarcoma Linfoma Emangioblastoma Tumore glomico

Processi vascolari. - Le alterazioni regressive dei vasi sanguigni costituiscono un vasto e importante capitolo della neuropatologia speciale, il cui esame esula dagli scopi della presente trattazione. Modificazioni di tipo

progressivo si realizzano nei processi riparativi delle lesioni del tessuto nervoso e sono rappresentate dalla neoformazione e proliferazione dei capillari a cui può associarsi una imponente proliferazione connettivale. Condizioni di anossia e alcuni disordini metabolici si accompagnano a proliferazione e rigonfiamento delle cellule dell'endotelio capillare, che sembrano rappresentare l'alterazione più rilevante rispetto a quelle a carico delle cellule neurogliali. In alcuni processi infiammatori encefalici i fenomeni a livello vascolare, prevalentemente venulare, hanno un ruolo primario, in quanto la comparsa di infiltrati perivascolari di linfociti precede quella di alterazioni neuronali e microgliali.

Processi meningei. - Le leptomeningi (aracnoide e pia) partecipano spesso ai processi infettivi (meningite) e a quelli emorragici (emorragia subaracnoidea): in entrambi i casi può formarsi un tessuto cicatriziale fibroconnettivale a livello degli spazi subaracnoidei, con conseguente ostacolo alla circolazione e al riassorbimento liquorale.

Gli spazi subaracnoidei possono essere anche sede preferenziale di insediamento e diffusione di processi tumorali (carcinomatosi meningea; leucemia).

Gli spazi perivascolari rivestiti dalla pia (spazi di Virchow-Robin), intorno ai vasi cerebrali superficiali, svolgono un ruolo determinante nella diffusione delle infezioni leptomeningee verso il tessuto cerebrale.

Raccolte ematiche (ematomi) ed essudazioni infiammatorie subdurali vanno incontro a processi di incapsulamento e organizzazione fibrotica per attivazione dei fibroblasti della superficie durale interna. Nella cronicizzazione di lesioni severe, ma anche in soggetti di età avanzata, aree meningei fibrotiche, soprattutto a livello lombo-sacrale, possono andare incontro a calcificazione e persino a ossificazione.

Processi ependimali e dei plessi corioidei. - Le cellule ependimali possiedono una reattività relativamente limitata. Esse vanno incontro a disintegrazione in quasi tutti i processi patologici che interessano i tessuti periventricolari e/o le cavità ventricolari o in condizioni di sovradilatazione di queste ultime (idrocefalo). Nell'idrocefalo, a livello delle discontinuità dello strato ependimale si formano ammassi di cellule gliali subependimali proliferanti (gemme gliali), che protrudono nello spazio liquorale. In condizioni infiammatorie, tipicamente nella sifilide, oppure nelle emorragie intraventricolari pregresse, l'imponente proliferazione di gemme gliali può conferire un aspetto granuleggiante alla superficie ventricolare (ependimite granulare).

Le modificazioni istopatologiche dei plessi corioidei, che si osservano soprattutto in relazione all'invecchiamento, comprendono l'atrofia degli elementi epiteliali, la sclerosi ialina della parete dei vasi sanguigni e la calcificazione dello stroma connettivale. Sempre nel cervello senile possono talora verificarsi degenerazione cistica dello stroma e microemorragie, che rappresentano la base per il deposito di materiale lipidico degenerato e cristalli di colesterolo calcificato, da cui possono avere origine quelle masse tumorali

benigne note come colesteatomi o xantomi: il significato clinico di queste alterazioni è scarso. Tumori papillari dei plessi si associano, invece, a iperproduzione di liquido cefalo-rachidiano con conseguente idrocefalo.

8. Principali sindromi neurologiche lesionali

a) Lobi frontale, parietale, temporale e occipitale

Le sindromi neurologiche da lesione del lobo frontale comprendono, schematicamente, la paralisi a livello dell'emilato corporeo controlaterale alla corteccia motoria lesa; l'incapacità o il disturbo dell'espressione verbale (afasia espressiva) per lesione dell'area di Broca nell'emisfero dominante; le alterazioni del comportamento, della personalità, dell'attenzione e dell'ideazione. Lesioni ampie del lobo frontale possono, ovviamente, accompagnarsi al contemporaneo manifestarsi di più di una sindrome o di diversi aspetti di ciascuna di esse. Deve essere ancora ricordato che nelle lesioni della porzione frontale del corpo calloso si manifesta una disconnessione tra l'impulso a iniziare i movimenti necessari per la marcia e l'esecuzione degli stessi: i pazienti, pur avendo una forza normale, sono incapaci di deambulare (aprassia della marcia). Le cause più frequenti di lesione monolaterale del lobo frontale sono le malattie cerebrovascolari, i tumori, gli ascessi; l'interessamento bilaterale, meno frequente, si può avere, invece, nei traumi cranici, nell'idrocefalo, in alcune malattie degenerative dementigene, nel vasospasmo di entrambe le arterie cerebrali anteriori, possibile in corso di emorragia subaracnoidea, e, raramente, nei tumori del corpo calloso e in quelli del piano fronto-orbitario.

Le sindromi da lesione del lobo parietale consistono nella perdita della sensibilità tattile discriminativa nell'emilato corporeo controlaterale alla lesione; nell'incapacità di comprendere il linguaggio parlato (afasia sensoriale) associata a incapacità nel calcolo aritmetico (acalculia), nella scrittura (agrafia) e nella lettura (allessia), in caso di lesione nell'emisfero dominante; nell'indifferenza agli stimoli provenienti dall'emilato corporeo controlaterale alla lesione e nella perdita della percezione della propria immagine corporea, in caso di interessamento dell'emisfero non dominante; sempre nel caso di lesione nell'emisfero non dominante, nell'incapacità di eseguire a richiesta semplici sequenze organizzate di movimenti (aprassia costruttiva), e nell'incapacità di vestirsi (aprassia dell'abbigliamento); in deficit del campo visivo. L'interessamento del lobo parietale è generalmente monolaterale e le lesioni più frequenti sono le ischemie nel territorio dell'arteria cerebrale media, gli ematomi traumatici, gli ascessi e i tumori. La lesione contemporanea di entrambi i lobi è estremamente rara e si osserva, quasi esclusivamente, in forma di lesione ischemica conseguente a episodi ipotensivi generalizzati.

Le lesioni del lobo temporale possono manifestarsi con afasia sensoriale (eloquio fluente) e deficit della memoria verbale, nel caso di lesione del lobo dominante; con deficit della memoria visiva per coinvolgimento del lobo non dominante; in caso di lesione bilaterale della corteccia uditiva con sordità corticale (la lesione monolaterale è infatti asintomatica, perché l'udito ha una rappresentazione corticale bilaterale); con comportamento aggressivo o antisociale, che può associarsi a incapacità di memorizzare informazioni nuove per danno del sistema limbico; con deficit del campo visivo. Le manifestazioni più frequenti di sofferenza del lobo temporale sono, comunque, crisi epilettiche parziali complesse (crisi temporali) che si manifestano come disturbi della memoria, episodi di déjà vu o jamais vu, allucinazioni transitorie olfattive, gustative e visive, associate o meno a movimenti elementari degli arti e del tronco. Una lesione monolaterale del lobo temporale, nella maggioranza dei casi ha origine cerebrovascolare o neoplastica; gli ascessi, relativamente frequenti, si realizzano per lo più per estensione di processi infettivi dell'orecchio medio e/o della mastoide. Una sofferenza bilaterale del lobo temporale si può osservare tipicamente nell'encefalite virale da Herpes simplex, in corso di vasculopatie con episodi di ipotensione profonda e prolungata e nell'encefalopatia di Wernicke da carenza nutrizionale di vitamina B1 (tiamina); raramente come conseguenza di eventi traumatici.

I principali sintomi e segni di lesione del lobo occipitale comprendono la perdita della vista in un emicampo visivo o la cecità, a seconda che l'interessamento della corteccia visiva sia monolaterale o bilaterale, rispettivamente; allucinazioni visive; incapacità di riconoscere gli stimoli visivi (agnosia visiva). Lesioni del lobo occipitale si verificano nella maggioranza dei casi in corso di malattia cerebrovascolare per compromissione del distretto circolatorio vertebro-basilare.

b) Gangli basali

Le malattie dei gangli basali si accompagnano prevalentemente a segni e sintomi motori distinti in 'negativi' e 'positivi'. I primi consistono essenzialmente in perdita o rallentamento dei movimenti e in anomalie posturali; i secondi in movimenti involontari. Alcune forme di questi disordini del movimento hanno un definito correlato neuropatologico. Si riconoscono: 1) movimenti coreici (da lesione dei nuclei caudato e putamen), che consistono in contrazioni muscolari involontarie, irregolari e imprevedibili che interessano l'intera muscolatura del corpo o una sua parte; 2) movimenti distonici (prevalentemente da lesione monolaterale dei gangli basali), che consistono in contrazioni prolungate a carico dei gruppi muscolari di singoli distretti corporei e producono frequentemente torsioni, movimenti ripetitivi e posture anomale; 3) ballismo (da lesione bilaterale del nucleo subtalamico), in cui si manifestano movimenti involontari violenti, che interessano la muscolatura prossimale della radice degli arti, soprattutto superiori; l'interessamento monolaterale del nucleo subtalamico comporta movimenti anomali controlaterali (emiballismo) che ricordano quelli compiuti per un lancio; 4) atetosi (da lesione del globo pallido, substantia nigra e corteccia cerebrale), in cui i movimenti

involontari sono lenti, aritmici, irregolari, di modesta ampiezza e coinvolgono prevalentemente gli arti, soprattutto quelli superiori; 5) tremore, che consiste in movimenti involontari oscillatori, regolari, ritmici, conseguenti alla contrazione alterna di muscoli agonisti e antagonisti. Il tremore non è un segno di esclusiva pertinenza delle lesioni dei gangli basali, ma nella varietà che compare a riposo costituisce, insieme alla rigidità e al rallentamento ideo-motorio, una delle principali manifestazioni della malattia di Parkinson. La sindrome parkinsoniana è conseguenza del deficit di innervazione dopamminergica striatale secondario alla degenerazione dei neuroni pigmentati di una porzione (pars compacta) della substantia nigra, che forniscono tale innervazione.

Si conoscono diverse condizioni degenerative che interessano primariamente i gangli basali: tra queste la malattia di Parkinson e quella di Huntington sono le forme più frequenti; tuttavia, numerose altre condizioni di natura tossica, vascolare, metabolica implicano l'interessamento dei gangli basali.

c) Talamo

Ai fini anatomico-funzionali, ciascun talamo può essere diviso in 4 regioni - anteriore, posteriore, mediale e laterale - aventi ognuna specifiche caratteristiche. Si distinguono, pertanto, segni e sintomi da interessamento del talamo anteriore (dell'emisfero dominante), rappresentati da afasia, inattenzione e disturbi mnesici e, se è coinvolta la regione subtalamica, emiballismo controlaterale; del talamo posteriore, rappresentati da anestesia associata a una sensazione di dolore parossistico (anestesia dolorosa) nell'emisoma controlaterale e deficit del campo visivo; del talamo mediale, rappresentati da deficit della memoria recente, apatia, agitazione, deficit dell'attenzione, turbe del sonno, talora coma; del talamo laterale, rappresentati solo da anestesia e spesso da una sensazione di dolore parossistico nell'emisoma controlaterale. Il dolore talamico è relativamente raro, ma rappresenta tuttavia un sintomo altamente specifico: descritto come molto sgradevole e talora urente, viene riferito alla superficie corporea ed è esacerbato dalla minima stimolazione tattile della cute; compare, in genere, nella fase di recupero dei deficit sensitivi. Le lesioni talamiche più frequenti sono quelle ischemiche e quelle emorragiche in corso di malattie cerebrovascolari, seguite da quelle neoplastiche.

d) Asse ipotalamo-ipofisario

Schematicamente, una lesione ipotalamica può manifestarsi con una delle 4 sindromi seguenti: ipotalamica anteriore, che si rivela con una rapida, accentuata perdita di peso corporeo (cachessia), diabete insipido caratterizzato da abnorme assunzione di acqua (polidipsia) e abnorme emissione di urine (poliuria), e ipotermia; ipotalamica posteriore, che può manifestarsi con ipotermia, apatia, o coma; ipotalamica mediale, caratterizzata da poliuria e polidipsia per inappropriata secrezione dell'ormone antidiuretico, obesità, deficit della memoria, aggressività; ipotalamica laterale, caratterizzata da insufficiente assunzione d'acqua,

emaciazione, apatia. Le cause più frequenti di lesioni ipotalamiche sono i traumi cranici, le malattie vascolari e i tumori.

I segni e sintomi di lesione dell'ipofisi anteriore sono riconducibili, in generale, a iper- o iposecrezione degli ormoni ipofisari. Le sindromi ipersecretive sono per lo più legate alla presenza di tumori (adenomi) ipofisari che rappresentano le lesioni ipofisarie più comuni. Frequentemente le manifestazioni ormonali sono precedute dai segni riferibili all'effetto massa degli adenomi, tra i quali tipico è il deficit bilaterale dell'emicampo visivo temporale (emianopsia bitemporale) da compressione del chiasma ottico.

e) Troncoencefalo e cervelletto

Esistono sindromi cliniche da lesione del tronco (sindromi alterne) molto diverse in rapporto al livello (mesencefalico, pontino, bulbare) interessato, la cui descrizione dettagliata esula dagli scopi della presente esposizione. In pratica, elementi comuni delle diverse forme sono: deficit di uno o più nervi cranici, paralisi e deficit delle sensibilità all'emilato controlaterale alla lesione e talora segni cerebellari omolaterali alla lesione. I disordini che più frequentemente interessano il troncoencefalo sono quelli vascolari, i tumori e i traumi.

I principali segni e sintomi di lesione cerebellare comprendono la perdita del tono muscolare; i disturbi della coordinazione che possono manifestarsi in condizioni statiche (atassia statica), come incapacità di mantenere una determinata posizione, associata a continue oscillazioni intorno al punto di equilibrio, oppure nell'imprecisa esecuzione di movimenti volontari (atassia dinamica); la perdita della forza di grado lieve e l'incapacità di compiere movimenti associati; i disturbi dell'equilibrio e della deambulazione. Disturbi del movimento si osservano anche a carico della motilità oculare (nistagmo) e dei movimenti necessari all'articolazione della parola (disartria). Tra le diverse possibili sindromi cerebellari le principali sono quella emisferica, caratterizzata da disturbi della coordinazione dei movimenti omolaterali all'emisfero leso, instabilità nella marcia, disartria e nistagmo; e quella vermiana, contraddistinta prevalentemente da disturbi della stazione eretta (astasia) e della marcia (abasia). I disordini che più frequentemente interessano il cervelletto sono quelli vascolari, i tumori, la sclerosi multipla e diverse malattie degenerative.

f) Midollo spinale

Le lesioni del midollo spinale si manifestano con una combinazione di segni e sintomi motori, sensitivi e autonomici. In rapporto alla sede, extra- o intramidollare, e al livello cranio-sacrale della lesione, individuabili grazie all'anamnesi e all'esame neurologico, si realizzano le seguenti sindromi cliniche: 1) transezione midollare completa, che si manifesta con paralisi, perdita delle sensibilità, disturbi delle funzioni autonome nei distretti corporei la cui innervazione origina nei segmenti midollari sottostanti il livello di lesione, e perdita del controllo sfinterico; 2) emisezione midollare o sindrome di Brown-Séquard, caratterizzata da

paralisi e perdita delle sensibilità dei cordoni dorsali (tattile fine, vibratoria, del senso di posizione) omolateralmente alla lesione e perdita delle sensibilità termica e dolorifica controlateralmente; 3) sindrome centromidollare, il cui elemento tipico è l'iniziale perdita selettiva delle sensibilità termica e dolorifica per lesione delle fibre decussanti dei fasci spinotalamici, ma con conservazione delle sensibilità dei cordoni dorsali; deficit di queste ultime possono manifestarsi per estensione della lesione ai cordoni dorsali; atrofie muscolari e paralisi flaccida possono comparire nei distretti sottostanti la lesione in seguito a interessamento dei neuroni motori delle corna anteriori; 4) sindrome dei cordoni e delle radici dorsali (tipica della tabe dorsale), che si manifesta con deficit sia delle sensibilità cordonali posteriori che di quella termo-dolorifica, in assenza di paralisi; 5) degenerazione posterolaterale (tipica della carenza alimentare di vitamina B12), che comporta deficit delle sensibilità dei cordoni posteriori e paralisi spastica da lesione dei tratti cortico-spinali, frequentemente perdita dei riflessi osteotendinei per interessamento dei nervi periferici; 6) sindrome delle corna anteriori, che può manifestarsi con atrofia muscolare e ipostenia associate a perdita dei riflessi, come accade nella poliomielite o in alcune malattie del motoneurone (atrofia muscolare progressiva; atrofia muscolare spinale), o a iperreflessia, come si osserva nella sclerosi laterale amiotrofica, malattia nella quale all'interessamento delle corna anteriori si associa quello dei tratti cortico-spinali; 7) sindrome dell'arteria spinale anteriore, nella quale i due terzi anteriori del midollo vanno incontro a infarto ischemico, con conseguente paralisi e perdita delle sensibilità spinotalamiche ma conservazione di quelle dei cordoni dorsali.

Le cause più frequenti di lesione midollare sono i traumi vertebro-midollari, le patologie del disco intervertebrale (ernia), alcuni processi infiammatori (sclerosi multipla, mielite trasversa), le neoplasie (meningiomi, neurinomi, carcinomi metastatici, ecc.). Relativamente frequente è, inoltre, l'interessamento del midollo in corso di condizioni degenerative (sclerosi laterale amiotrofica, paralisi spinale progressiva, ecc.), infettive (tubercolosi, AIDS, sifilide), carenziali (deficit di vitamina B12, ecc.).

g) Nervo periferico

Numerose malattie del nervo periferico interessano con una certa selettività una delle sue componenti (motoria, sensitiva o autonoma), altre ne colpiscono più di una contemporaneamente, altre ancora, invece, riguardano preferenzialmente le fibre mieliniche o quelle amieliniche. Le sindromi cliniche sono caratterizzate, in genere, da deficit motori e/o delle sensibilità a prevalente distribuzione distale, associati a perdita dei riflessi osteotendinei. I disturbi sensitivi comprendono anche sensazioni anomale (parestesie) come formicolio, punture, senso di addormentamento. Alcune neuropatie ereditarie si associano a palpabilità dei nervi attraverso la cute e a deformazione del piede (piede cavo). Le cause di neuropatia periferica più frequenti nei paesi industrializzati occidentali sono il diabete mellito, l'abuso di alcool, le malattie del connettivo.

h) Sindrome di ipertensione endocranica

Una grande varietà dei processi patologici a carico del SNC (tumori, ematomi, ascessi, infarti, emorragie, aree di contusione, ecc.) è rappresentata da lesioni occupanti spazio, che tendono a espandersi sia per aumento intrinseco del proprio volume, sia per edema dei tessuti circostanti. Poiché il SNC è racchiuso in un involucro osseo inespansibile, i processi occupanti spazio finiscono, inevitabilmente, per esercitare un'azione meccanica dannosa sui tessuti che si estrinseca dapprima in compressione e distorsione locale, quindi in dislocazione delle strutture nervose dalla loro sede anatomica naturale (ernie; v. fig. 28). Questi fenomeni avvengono sia a livello endocranico che intravertebrale, ma nella prima localizzazione la loro importanza clinica è maggiore. Quando una lesione endocranica occupante spazio si espande, entra in funzione un meccanismo di compensazione rappresentato dalla dislocazione dagli spazi endocranici di una quantità di sangue e/o di liquor pari al volume della lesione, che impedisce l'incremento del volume totale del contenuto endocranico e quindi della pressione intracranica. La quantità di liquidi dislocabili dallo spazio endocranico è comunque limitata e l'espansione di una lesione oltre tali limiti di compensazione comporta una condizione di ipertensione endocranica, che rappresenta una situazione di grave rischio per la sopravvivenza dell'individuo. I sintomi e segni d'ipertensione endocranica sono rappresentati da cefalea, vomito, papilla da stasi (stasi artero-venosa e rigonfiamento della papilla oculare) e quindi depressione del livello di coscienza.

9. Neuropatologia speciale

A partire dagli anni ottanta, in seguito alla messa a punto di nuove metodiche biochimiche, immunoistochimiche e di biologia molecolare, sono stati fatti notevoli progressi nelle conoscenze delle malattie del sistema nervoso, in particolare nel campo della eziopatogenesi delle malattie degenerative, tra le quali la malattia di Alzheimer, che rappresenta uno dei più rilevanti problemi socio-sanitari dell'immediato futuro nei paesi industrializzati. Perlomeno sorprendente, e con conseguenze imprevedibili per l'attuale concezione dei meccanismi di determinazione e trasmissione delle malattie, è stata l'identificazione della natura proteica degli agenti responsabili (prioni) di alcune rare condizioni, inquadrate classicamente tra le malattie degenerative, in un recente passato incluse tra quelle di possibile natura virale, e ora considerate autonomamente come 'malattie prioniche'. Nello stesso periodo, infine, si è verificato un drastico mutamento dello spettro epidemiologico delle malattie infettivo-infiammatorie del sistema nervoso, sia per la comparsa dell'infezione da HIV (Human Immunodeficiency Virus), sia per il notevole incremento di altre condizioni di immunodeficienza (terapia immunosoppressiva nei trapianti d'organo, prolungata sopravvivenza dei pazienti con neoplasie della serie ematica, terapia steroidea, tossicomane, ecc.) cui è legata l'aumentata incidenza di quadri infettivo-infiammatori di riscontro solo occasionale in passato.

a) Malattie degenerative

Classicamente vengono definite malattie degenerative del sistema nervoso condizioni a eziologia ignota, decorso cronico progressivo, esordio insidioso, talora con ricorrenza di tipo ereditario, contrassegnate neuropatologicamente dall'interessamento preferenziale, più o meno simmetrico, di neuroni e tratti nervosi funzionalmente correlati (sistemi) che vanno incontro a lenta, progressiva degenerazione ed eventualmente a morte, associata ad alterazioni istopatologiche relativamente aspecifiche, modesta astrogliosi e scarsa o assente reazione infiammatoria. All'origine di alcune malattie incluse in passato tra quelle degenerative sono stati individuati difetti enzimatici specifici geneticamente determinati, e queste condizioni vengono attualmente classificate di conseguenza. Comunque, nonostante i recenti progressi, si conoscono più di un centinaio di condizioni degenerative a eziopatogenesi non ancora definita. Queste possono essere classificate tanto in base alla distribuzione anatomica prevalente delle lesioni (per esempio, processi degenerativi della corteccia cerebrale e della sostanza bianca, dei gangli della base, del talamo e del mesencefalo, ecc.) che alle principali manifestazioni cliniche associate (per esempio, processi dementigeni, disordini del movimento, ecc.). Molte di queste condizioni si manifestano in forme che presentano una relativa uniformità fenotipica a fronte di una notevole variabilità genotipica; in altre parole, forme clinicamente e neuropatologicamente equivalenti possono essere associate a differenti alterazioni geniche o a un genotipo normale. Recentemente, inoltre, nuove tecniche immunoistochimiche e di analisi morfologica quantitativa hanno consentito di individuare forme con manifestazioni cliniche sovrapponibili ma quadri neuropatologici sostanzialmente differenti, che verosimilmente corrispondono a entità distinte. Oggi si ritiene che fattori diversi possano esercitare la loro azione patogena mediante lo stesso o gli stessi meccanismi e/o che i sistemi neuronali siano selettivamente vulnerabili a fattori patogeni di natura differente nei confronti dei quali lo spettro delle possibili reazioni è relativamente limitato. Nella tab. III viene riportato un elenco delle principali malattie degenerative che si rifà ai criteri di classificazione neuropatologica tradizionale, in cui la denominazione di alcune condizioni risulta desueta dal punto di vista clinico. Tuttavia, sebbene i recenti progressi suggeriscano che la classificazione tradizionale sia più che mai da ritenere provvisoria, essa appare ancora vantaggiosa nella pratica, perché la sintomatologia clinica è largamente dipendente dalla sede anatomica piuttosto che dall'origine delle lesioni.

TABELLA III. – ELENCO DELLE PRINCIPALI MALATTIE DEGENERATIVE SECONDO LE STRUTTURE ANATOMICHE O I SISTEMI PREVALENTEMENTE INTERESSATI.

CORTECCIA CEREBRALE E SOSTANZA BIANCA
<p>Malattia di Alzheimer Atrofia cerebrale semplice senile/presenile Malattia di Pick Degenerazione cortico-dentato-nigrica Afasia progressiva primaria Malattia con corpi di Lewy Malattia di Alpers Distrofie neuroassonali Malattia di Alexander Neuropatia giganto-assonale Gliosi subcorticale progressiva Distrofia spongiforme infantile</p>
GANGLI BASALI, TALAMO, MESENCEFALO
<p>Corea di Huntington Distonia muscolare deformante Malattia di Hallervorden-Spatz Degenerazione talamica Degenerazione striato-nigrica Malattia di Parkinson (idiopatica) Parkinsonismo post-encefalitico Complesso Parkinson-demenza di Guam Paralisi sopranucleare progressiva</p>
SISTEMA MOTORIO E SENSITIVO
<p>Sclerosi laterale amiotrofica Paralisi spinale spastica Degenerazione dei nuclei dei nervi cranici Atrofie muscolari spinali Neuropatie ereditarie sensitivomotorie Neuropatie ereditarie sensitive</p>
CERVELLETTO, TRONCO E MIDOLLO SPINALE
<p>Prevalentemente cerebellari: ipoplasia congenita cerebellare; degenerazione eredo-familiare cerebellare; atrofia congenita cerebellare; atrofie sporadiche tardive.</p> <p>Prevalentemente tronco-cerebellari: atrofia olivo-ponto-cerebellare nelle forme: ereditaria, sporadica, con degenerazione tapeto-retinica; atrofia olivo-cerebellare.</p> <p>Atrofie spinali: malattia di Friedreich; malattia di Biemond; sindrome di Roussy-Levy; altre condizioni.</p> <p>Atrofie multisistemiche: congenite; forme associate a mioclono-epilessia; altre condizioni.</p>
SISTEMA NERVOSO AUTONOMO
<p>Ipotensione ortostatica Disautonomia familiare Disordini dell'innervazione intestinale Malattia di Hirschsprung Colondisplasia neuronale Disganglionosi Acalasia Edema angioneurotico ereditario</p>

Patogenesi delle malattie degenerative. - Nelle malattie neurodegenerative, la morte neuronale si manifesta secondo un modello le cui caratteristiche (coartazione del corpo cellulare e disintegrazione del DNA nucleare) ricalcano quelle della morte cellulare programmata (apoptosi) che avviene fisiologicamente nel corso dello sviluppo embrionale per eliminare cellule prodotte in eccesso. È stato dimostrato che tanto nelle cellule embrionali che in quelle mature il genoma codifica per un programma di morte cellulare, che nei Mammiferi è soppresso da un gene denominato bcl-2. Non è chiaro il significato della capacità di autoeliminazione della cellula matura, che si ritiene finalizzata alla rimozione di elementi divenuti funzionalmente inaffidabili, senza effetti indesiderati sui tessuti circostanti: infatti l'apoptosi, a differenza della necrosi, non è accompagnata da reazioni infiammatorie. La sopravvivenza e il mantenimento della forma matura dei neuroni dipendono dalla presenza di fattori neurotrofici (NGF, Nerve Growth Factor; BDNF, Brain Derived Neurotrophic Factor; neurotrofine NT3 e NT4/5) liberati dai tessuti circostanti, e da fattori concomitanti, quali l'innervazione da parte di elementi funzionalmente correlati, la presenza di ormoni specifici e, probabilmente, segnali di provenienza gliale. È verosimile che anche le cellule gliali richiedano simili meccanismi trofici, come suggerisce il fatto che la sopravvivenza degli oligodendrociti è promossa dall'assone. Si ritiene che nelle malattie erodegenerative il programma di morte cellulare possa attivarsi nei neuroni per difetti intrinseci o in risposta a eventi citolesivi che interferiscono con uno o più dei suddetti fattori neurotrofici.

In diverse condizioni neurodegenerative dell'adulto (malattia di Parkinson, malattia di Huntington, atrofie multisistemiche) un ruolo primario o di concausa nella genesi delle lesioni tissutali è svolto, verosimilmente, da un danno ossidativo, progressivo e cumulativo del DNA del sistema nervoso (soprattutto del DNA mitocondriale), correlato all'età dell'individuo. I fattori ossidativi sarebbero rappresentati soprattutto dai radicali liberi dell'ossigeno (O_2): anione superossido (O_2^-), radicale idrossilico ($\bullet OH$) e perossido d'idrogeno (H_2O_2). Questi sono prodotti di processi metabolici normali o patologici in cui viene utilizzato ossigeno molecolare (O_2) che possono attaccare proteine, acidi nucleici e membrane lipidiche provocando lo sconvolgimento delle funzioni e dell'integrità cellulari. A livello del SN vi sono enzimi coinvolti nel metabolismo neurotrasmettitoriale che generano H_2O_2 durante la loro normale attività. Per difendersi dagli ossidanti le cellule dispongono di molecole, quali l'acido ascorbico (vitamina C), l' α -tocoferolo (vitamina E) e il glutathione, che hanno spiccate capacità riducenti, e gli enzimi superossidodismutasi, catalasi e glutathioneperossidasi (v. radicali liberi: Biologia e patologia).

Sebbene vari fattori possano scatenare processi ossidativi citolesivi, il principale effettore di questi eventi nel SN sembra essere il neurotrasmettitore eccitatorio glutammato, primariamente attraverso l'attivazione di alcuni suoi recettori ionotropi, principalmente NMDA (N-metil-D-aspartato) e KA (acido cainico). Entrambi i

recettori, se adeguatamente stimolati, agiscono come canali che attraversano la membrana cellulare e consentono la penetrazione di ioni sodio (Na^+), potassio (K^+) e calcio (Ca^{2+}) all'interno della cellula. È stato dimostrato che il glutammato, somministrato sperimentalmente, provoca la morte dei neuroni con quadri di tipo degenerativo e che quest'effetto consegue all'attivazione dei recettori NMDA e in molti casi KA ed è mediato dall'innalzamento della concentrazione di Ca^{2+} intraneuronale. Il processo di degenerazione è dilazionato rispetto al momento in cui si verifica l'incremento della concentrazione del Ca^{2+} e può essere innescato sia da un'esposizione breve a concentrazioni elevate, sia da un'esposizione lunga a concentrazioni basse. L'attivazione dei recettori del glutammato annovera tra gli effetti Ca^{2+} -dipendenti il possibile coinvolgimento di diverse vie metaboliche capaci di generare fattori ossidanti e l'attivazione di enzimi (proteasi, chinasi, nucleasi) che possono contribuire alla determinazione del danno cellulare. È, ovviamente, possibile che nelle malattie neurodegenerative processi patologici primari compromettano la funzionalità dei neuroni con incremento della loro vulnerabilità ai fattori ossidanti e/o all'azione eccitocitotossica del glutammato.

Malattia di Alzheimer. - È la causa più comune di demenza: si manifesta nel 5-10% degli individui di età superiore ai 65 anni, e l'incidenza aumenta progressivamente con l'età sino ai 90 anni. In età presenile è più frequente nella quinta decade di vita, ma può comparire anche in giovani adulti. Prevale nelle donne (2:1) ed è uniformemente diffusa nei paesi industrializzati. In maggioranza i casi sono sporadici, ma ben documentati sono anche casi familiari dai quali si deduce una trasmissione ereditaria di tipo autosomico dominante. In alcune famiglie sono state individuate specifiche mutazioni puntiformi del gene APP (Amyloid Precursor Protein) sul cromosoma 21, in altre le analisi di linkage suggeriscono l'esistenza di correlazioni tra la malattia e anomalie dei cromosomi 14 e 19. È una malattia prevalentemente, anche se non esclusivamente, della corteccia cerebrale ed è, quindi, clinicamente caratterizzata dalla perdita delle funzioni corticali superiori: l'esordio, generalmente insidioso, è contrassegnato da disturbi prevalentemente mnesici nelle forme presenili, e depressivo/apatici e/o confusionali in quelle senili; il quadro si deteriora progressivamente per la comparsa di episodi demenziali, turbe del sonno e, nella fase conclamata, di deficit della memoria (per le relazioni spaziali, per i volti, per gli eventi correnti, ecc.), della capacità di giudizio, del linguaggio scritto e orale, del riconoscimento e dell'associazione visiva, e della capacità d'esecuzione di sequenze di movimenti finalizzati alla soluzione di problemi quotidiani. Sono frequenti regressione e disinibizione del comportamento, apparente labilità emotiva, fenomeni di tipo ossessivo e idee deliranti, manifestazioni neurologiche di tipo paretico-spastico e acinetico. Nella fase terminale il paziente è incapace di accudire se stesso, incontinente, non profferisce alcun suono articolato, è amimico, immobile, non manifesta necessità alimentari o d'altro tipo (sindrome acinetico/abulico/apatica), va incontro a cachessia e infine muore, spesso in seguito a

broncopolmonite. La durata media della malattia è di circa 5-7 anni. L'elettroencefalogramma mostra un diffuso rallentamento dell'attività elettrica cerebrale. La tomografia computerizzata (TC) e la tomografia a risonanza magnetica nucleare (TRMN) dell'encefalo possono evidenziare - talvolta nelle fasi precoci, costantemente in quelle tardive - l'atrofia cerebrale, prevalentemente corticale, con ampliamento dei solchi e dilatazione ventricolare.

All'esame neuropatologico il cervello appare più piccolo e il suo peso può essere inferiore di un terzo al valore normale per l'età. L'atrofia è generalizzata e simmetrica, ma tendenzialmente accentuata a livello frontale e temporale. Le leptomeningi sono ispessite, i vasi superficiali possono mostrare segni di moderata aterosclerosi. Sulle sezioni coronali del cervello si apprezza l'ampliamento dei solchi e delle scissure della corteccia, il cui spessore è, invece, relativamente conservato. L'atrofia corticale sembra riconducibile, quindi, alla perdita di colonne verticali, piuttosto che di lamine orizzontali di neuroni. I ventricoli cerebrali appaiono arrotondati per la riduzione della quantità di sostanza bianca commisurata alla perdita di prolungamenti assionali. Il grado di atrofia non è, comunque, in relazione con la severità del quadro clinico. I reperti microscopici tipici della malattia di Alzheimer sono le cosiddette placche senili, le degenerazioni neuronali fibrillari e granulovacuolari e i corpi di Hirano. Le placche senili (v. fig. 29) sono formate da aggregati di resti assionali rigonfi di mitocondri, associati o meno, a seconda dell'età della placca, con un core centrale denso di fibrille amiloide e con processi astrocitari e cellule microgliali. Le placche più antiche sono formate quasi esclusivamente da amiloide. I diversi processi hanno una distribuzione tipica: interessano prevalentemente la corteccia di tutto l'encefalo, ma hanno la concentrazione massima nella parte mediale del lobo temporale (in particolare nell'ippocampo, nel giro paraippocampale, nell'amigdala) e quella minima a livello cerebellare e del bulbo. La morte per degenerazione colpisce soprattutto i neuroni di maggiori dimensioni: la perdita ammonta al 40-45% del totale nei lobi frontali e temporali; relativamente risparmiate sono invece le regioni parietali e occipitali. Nei neuroni superstiti si verifica una riduzione del numero dei dendriti, che risultano inoltre più brevi che nel cervello adulto normale; anche il numero delle sinapsi è marcatamente ridotto. Notevole interesse ha sollevato il riscontro di una cospicua perdita di neuroni e la presenza di degenerazione fibrillare in quelli superstiti nel nucleo basale di Meynert, che fornisce l'innervazione colinergica alla corteccia cerebrale.

Il numero di astrociti fibrillari è significativamente aumentato rispetto a quello riscontrato in controlli di età corrispondente, ma non vi è correlazione tra l'astrocitosi e l'entità delle altre alterazioni. Si ritiene che l'astrocitosi, almeno quella perivascolare, possa essere in rapporto con alterazioni della barriera ematoencefalica. Un'alterazione della parete vasale per deposito di una sostanza proteica (β -amiloide) si riscontra in più dell'80% dei cervelli con malattia di Alzheimer.

I reperti neuropatologici dell'Alzheimer sono presenti anche nel cervello senile: la quantità e la distribuzione delle alterazioni distingue, tuttavia, la condizione patologica dall'invecchiamento fisiologico. Gli studi volti a ricercare una relazione tra severità della demenza e reperti neuropatologici hanno fornito risultati incerti: alcuni dati indicano una significativa correlazione tra grado di demenza (apprezzato con scale di valutazione), deficit colinergico (misurato biochimicamente) e numero di placche neuritiche; altri dati evidenziano una correlazione tra demenza e degenerazione fibrillare. Studi recenti morfometrici e neurochimici suggeriscono che i casi a esordio precoce e quelli a esordio tardivo rappresentino forme distinte della malattia. Esistono casi di malattia di Alzheimer e demenza vascolare combinate e ancora casi atipici in cui non si riscontra degenerazione neurofibrillare: in questi ultimi le manifestazioni cliniche sembrerebbero meno severe.

b) Malattie prioniche

Vengono così definite alcune condizioni, rare nell'uomo ma relativamente frequenti in altri mammiferi, nelle quali vi è un accumulo nel sistema nervoso dell'isoforma abnorme, conosciuta come PrP^{Sc}, della proteina prionica o prione, PrP^C (SC, scrapie; C, cellulare); si tratta di una sialoglicoproteina della membrana cellulare, espressa in diversi tessuti, soprattutto in quello nervoso, la cui funzione normale è però sconosciuta. Le malattie da prioni erano tradizionalmente classificate come encefalopatie spongiformi trasmissibili o malattie da virus lenti, perché sono contrassegnate da una diffusa spongiosi neuronale, possono essere trasmesse sperimentalmente per inoculazione da un ospite all'altro di specie identica o differente, si sviluppano dopo un lungo periodo d'incubazione, e tali caratteristiche avevano giustificato l'ipotesi di un'eziologia virale.

Patogenesi delle malattie prioniche. - A dispetto della loro rarità, le malattie prioniche hanno suscitato considerevole interesse per le proprietà uniche del loro agente trasmissibile, di natura proteica, per il quale Stanley Prusiner, che lo ha isolato e caratterizzato biochimicamente, ha proposto la denominazione 'prione' (proteinaceous infectious particle), per distinguerlo dai Virus (v. Prusiner, 1991). Sino alla scoperta dei prioni era universalmente accettato che gli agenti che trasmettono le malattie infettive, anche i più semplici come i Virus, dovessero disporre di acidi nucleici (DNA e RNA) per dirigere la sintesi delle proteine indispensabili alla loro sopravvivenza e duplicazione. Nel caso delle malattie prioniche è stato invece ampiamente dimostrato che frazioni di proteina prionica purificata, estratta da cervelli affetti, trasmettono la malattia ad animali da esperimento; i tentativi di copurificare in queste frazioni acidi nucleici non hanno avuto successo e, d'altra parte, l'infettività di queste frazioni non viene modificata dal trattamento con nucleasi o dall'irradiazione con ultravioletti, che inattivano gli acidi nucleici. L'agente infettivo consiste, quindi, essenzialmente nell'isoforma abnorme della PrP^C. Entrambe le forme sono codificate dal medesimo gene (PRNP), che nell'uomo è localizzato sul cromosoma 20, e tra di esse non vi sono differenze amminoacidiche.

La modificazione patogena consiste quindi, verosimilmente, nel cambiamento della normale conformazione tridimensionale della proteina da una forma a spirale in una struttura a foglietto ripiegato. Questa trasformazione rende la PrPSC resistente agli enzimi digestivi cellulari e non (proteasi) e ne favorisce il deposito e l'accumulo nei lisosomi intraneuronali, sino a livelli patogeni. L'effetto citolesivo della PrPSC è, infatti, concentrazione-dipendente, sebbene sia ignoto attraverso quali meccanismi si realizzi: verosimilmente, i lisosomi repleti esplodono danneggiando le cellule. La propagazione della PrPSC sembra essere legata alla capacità delle molecole abnormi di indurre per contatto trasformazioni conformazionali di quelle normali. È noto che tale evento avviene a contatto con membrane intracellulari, ma non si sa quali fattori ne favoriscano l'inizio. Si ritiene che le trasformazioni conformazionali patologiche siano molteplici e conferiscano alla molecola potenzialità citolesive e tropismo per bersagli cellulari preferenziali differenziati: ciò spiegherebbe la notevole variabilità delle manifestazioni cliniche in relazione con l'accumulo di PrPSC. Esistono ben dimostrati casi familiari ereditari, e anche casi sporadici, nei quali sono state dimostrate diverse mutazioni del gene PRNP: tutte le mutazioni sinora descritte provocano sostituzioni di amminoacidi della PrPC che favoriscono la destabilizzazione della sua normale struttura ad α -elica e innalzano la probabilità di un cambio conformazionale. Fattori genetici (omozigosi per la metionina o la valina al codone 129) predisponenti o favorenti sembrano intervenire, inoltre, anche nelle forme sporadiche e iatrogene. È importante ricordare che non tutte le alterazioni del gene PRNP consentono, di per sé, la diagnosi di malattia prionica: infatti non tutte le mutazioni sono associate alla malattia. Deve essere ancora sottolineato che l'encefalopatia spongiforme, un tempo considerata quale contrassegno morfologico delle malattie da 'agenti non convenzionali', è presente costantemente solo nei casi tipo Creutzfeldt-Jakob sporadici e in quelli familiari associati a mutazioni del codone 200.

Malattie prioniche umane. - La forma più frequente è la malattia di Creutzfeldt-Jakob, presente in tutto il mondo con un'incidenza di 1 caso per milione di abitanti per anno, per lo più in forma sporadica, ma familiare nel 10-15 % dei casi. L'età media d'insorgenza è di 60 anni e prevale lievemente nelle femmine (1,5:1). La durata media della malattia, che ha sempre epilogo fatale, è 7,6 mesi, ma nel 5-10% dei casi, molti dei quali familiari e a esordio precoce, può superare i 2 anni. Sono noti casi di origine iatrogena, ossia trasmessi accidentalmente nel tentativo di curare altre patologie, attraverso operazioni stereotassiche sul cervello con strumenti inadeguatamente sterilizzati, trapianti di dura o di cornea, trattamento con ormoni di derivazione umana. Anche la malattia di Creutzfeldt-Jakob, come quella di Alzheimer, può essere considerata una malattia prevalentemente, ma non esclusivamente, corticale. Clinicamente, una fase prodromica della durata di alcune settimane, durante le quali compaiono solo manifestazioni aspecifiche (disturbi del sonno, modificazioni del comportamento, depressione, allucinazioni visive o, raramente, acustiche, vertigini, deficit della vista e,

talvolta, turbe dell'equilibrio e dell'andatura), precede la comparsa del quadro tipico caratterizzato da demenza a ingravescenza eccezionalmente rapida, con perdita delle funzioni nervose superiori, contrazioni muscolari ripetitive (mioclonie), che possono essere scatenate da rumori o dal semplice contatto, e tipiche alterazioni elettroencefalografiche (complessi trifasici pseudoperiodici) in rapporto o meno con le mioclonie. Nella fase terminale, di durata variabile da settimane a mesi, il paziente, generalmente in coma, presenta manifestazioni cliniche che mutano in rapporto alla progressione del danno strutturale del sistema nervoso, sino alla comparsa di uno stato di decerebrazione o decorticazione. La morte sopravviene, più spesso, in seguito a polmonite ipostatica o a insufficienza cardiovascolare da scompenso autonomico. La TC dimostra, nello stadio tardivo della malattia, segni aspecifici di atrofia cerebrale. La TRMN evidenzia, in parte dei pazienti, modificazioni a livello dei gangli della base che sembrano essere in correlazione con le alterazioni spongiformi dimostrabili istologicamente. I reperti neuropatologici macroscopici, rappresentati essenzialmente da un'atrofia corticale generalizzata e dilatazione ventricolare, di grado variabile in relazione alla durata della malattia, sono aspecifici; caratteristici sono, invece, quelli microscopici, consistenti in una severa, diffusa vacuolizzazione del soma cellulare e dei prolungamenti neuronali (encefalopatia spongiforme), un massivo spopolamento neuronale, astrocitosi e rare placche neuritiche che legano anticorpi anti-PrPC (placche prioniche). La distribuzione di queste lesioni è tipicamente accentuata a livello della corteccia cerebrale, dello striato, del talamo e della sostanza grigia del tronco e del cervelletto, mentre l'ippocampo è generalmente risparmiato. Sono state descritte comunque diverse varianti comprendenti una forma con precoce interessamento della corteccia occipitale (variante di Heidenhain) accompagnata clinicamente da cecità, una forma con prevalente interessamento talamico, una con spopolamento dei neuroni delle corna anteriori spinali che si accompagna a ipostenia e atrofia muscolare (variante amiotrofica), e infine una con esteso coinvolgimento della sostanza bianca.

Un'altra forma, il kuru, è stata osservata solo nella tribù Fore di Papua, nella Nuova Guinea. La malattia, letale, di durata media inferiore a 3 anni, caratterizzata da incoordinazione dei movimenti e spesso demenza, veniva contratta in seguito a cannibalismo rituale: la tribù Fore usava, infatti, onorare i defunti mangiandone il cervello. Tale pratica è stata sospesa da quando, negli anni sessanta, ne è stato scoperto il legame con la malattia, che attualmente è pressoché scomparsa. Neuropatologicamente si riscontrano spopolamento neuronale e astrocitosi, e incostantemente spongiosi e placche prioniche.

Una condizione prevalentemente ereditaria è la sindrome di Gerstmann-Sträussler-Scheinker: la malattia, a esito fatale, esordisce intorno ai 40 anni e ha un decorso clinico di durata superiore ai 2 anni che si manifesta, in genere, con atassia cerebellare, disartria, disfagia e solo tardivamente demenza e mioclono:

neuropatologicamente è contraddistinta dalla presenza multifocale di numerose, grosse placche prioniche, da perdita neuronale e da astrocitosi, mentre rara è la spongiosi.

L'insonnia familiare fatale è una malattia prionica, descritta in una famiglia italiana e in una italo-americana; tale malattia, che compare nella mezza età, è caratterizzata da perdita neuronale con gliosi a livello di alcuni nuclei del talamo e dell'ipotalamo e della corteccia cerebrale e cerebellare. Il quadro clinico è dominato inizialmente da insonnia, disautonomia, turbe endocrinologiche, turbe mnesiche con evoluzione verso la demenza e, tardivamente, da atassia e mioclono.

Esistono, infine, forme atipiche, essenzialmente se non esclusivamente dementigene, individuate recentemente grazie a metodi biochimici e genetici. Clinicamente sono difficilmente differenziabili da altre demenze neurodegenerative, in quanto hanno lunga durata, lenta progressione, e mancano il mioclono e le alterazioni elettroencefalografiche tipiche. Anche neuropatologicamente, mancando l'encefalopatia spongiforme, può essere difficile distinguere queste condizioni da un quadro di tipo Alzheimer, a meno di non avere a disposizione tecniche immunoistochimiche per la dimostrazione della PrPC. Appare molto interessante - ma al momento non spiegabile - il fatto che le forme atipiche, a differenza di quanto avviene per le altre, siano trasmissibili solo con estrema difficoltà ai Primati non umani.

Malattie prioniche animali. - Le malattie da prioni degli animali comprendono lo scrapie o virus neurodegenerativa della pecora, che è la forma più comune, nella quale gli ovini perdono la coordinazione dei movimenti sino a diventare incapaci di reggersi sulle zampe, e inoltre soffrono di un prurito così intenso da indurli a sfregarsi sino a raschiare via (to scrape) parti del mantello. Altre malattie prioniche sono l'encefalopatia trasmissibile del visone, l'atrofia cronica del cervo mulo e dell'alce, l'encefalopatia spongiforme felina e quella bovina. Quest'ultima, nota popolarmente come 'malattia delle vacche matte', si è manifestata in forma epidemica in Inghilterra negli anni ottanta: l'origine dell'epidemia è stata individuata in un integratore alimentare, attualmente ritirato dal commercio, che conteneva carne e farina di ossa di ovini sottoposte a un metodo di lavorazione che non eliminava l'agente dello scrapie. Sebbene l'epidemia sia ora in fase calante, esiste la preoccupazione che l'infezione possa trasmettersi all'uomo attraverso il consumo di carne contaminata.

c) Malattie da Retrovirus (HIV-1)

La storia della virologia, negli anni ottanta, è stata segnata dalla scoperta di virus a RNA, della famiglia dei Retrovirus, neurotropi, agenti eziologici nell'uomo di sindromi/malattie a evoluzione lenta (Lentivirus): HIV (Human Immunodeficiency Virus) tipo 1, agente eziologico dell'AIDS; HIV tipo 2, agente di una sindrome sovrapponibile all'AIDS; HTLV (Human T-cell Leukemia Virus) tipo I, responsabile di una leucemia a cellule

T dell'adulto. Esistono Lentivirus di diverse altre specie animali (scimmia, gatto, bovini, pecora, capra, cavallo) che condividono con quelli umani varie caratteristiche biologiche: spiccato tropismo per gli elementi monocitico-macrofagici, che sembrano costituire il serbatoio naturale e la sede di replicazione del virus; induzione di malattie con un lungo periodo di incubazione ed evoluzione subacuta o cronica; capacità di elusione della sorveglianza immunitaria; diffusione e contagio diretti da ospite a ospite, mediante lo scambio di liquidi biologici, in assenza di vettori/ospiti intermedi; neurotropismo, in quanto attaccano il SNC negli stadi precoci dell'infezione e producono malattie/sindromi neurologiche specifiche.

Poiché le infezioni da HIV-1 e 2 nell'uomo (e quelle da Lentivirus nella scimmia e nel gatto) causano una marcata immunodepressione, le condizioni clinico-neuropatologiche a esse legate sono distinguibili in: infezioni primarie, espressione dell'azione diretta del virus e/o dei meccanismi immunopatologici da esso attivati sui tessuti; infezioni opportunistiche e neoplastiche, espressione, entrambe, della vulnerabilità dell'organismo immunodepresso all'attacco delle noxae patogene più varie (v. tab. IV). Nei pazienti con infezione da HTLV-I, di cui è definitivamente accertato il ruolo eziologico nella malattia neurologica definita 'mielopatia cronica progressiva', si riscontra, invece, una risposta immunitaria relativamente efficace.

TABELLA IV. – PRINCIPALI MANIFESTAZIONI NEUROPATHOLOGICHE
NELL'INFEZIONE DA HIV DEL SISTEMA NERVOSO.

PROCESSI PRIMARI O PUTATIVI
Meningoencefalite Leucoencefalite Mielopatia vacuolare Neuropatia Miopatia Lesioni vascolari
INFEZIONI OPPORTUNISTICHE
Parassitarie: toxoplasmosi Micotiche e batteriche: aspergillosi, candidosi, criptococcosi, tubercolosi, sifilide Virali: citomegaloviroosi, leucoencefalopatia multifocale progressiva, encefaliti erpetiche
NEOPLASIE
Linfomi

In questo paragrafo verranno trattate esclusivamente le manifestazioni neuropathologiche dell'infezione da HIV-1. Le differenze rispetto all'infezione da HIV-2 sembrano limitate a caratteristiche strutturali minori del virus e alla loro distribuzione geografica (l'HIV-1 prevale in Europa e in America; l'HIV-2, inizialmente isolato in pazienti della Guinea-Bissau e delle Isole di Capo Verde, è attualmente endemico in Africa occidentale, dov'è il principale agente dell'AIDS); i reperti neuropathologici sono sovrapponibili.

Patogenesi delle lesioni primarie del SNC nell'infezione da HIV-1. - L'HIV-1 raggiunge il SNC attraversando la parete dei vasi sanguigni sia a livello capillare, per infezione dell'endotelio, che a livello delle venule, trasportato da monociti. Infetta, quindi, le cellule che esprimono in superficie recettori CD4 (macrofagi e microglia), a cui si lega attraverso la glicoproteina gp120 dell'involucro virale. L'infezione si distribuisce prevalentemente a livello della sostanza bianca profonda e dei gangli basali piuttosto che nella corteccia. Recentemente, è stato dimostrato che gli astrociti esprimono livelli quantitativamente limitati di alcune

proteine e di RNA messaggeri dell'involucro virale. Non esistono prove d'infezione di neuroni e oligodendrociti. La patogenesi del danno tissutale non è ancora definita. I meccanismi ipotizzati comprendono la liberazione di neurotossine (glutammato, citochine, radicali liberi, frammenti della gp120) da parte di monociti e microglia infetti; l'attivazione di meccanismi immunomediati o la liberazione di proteasi da parte di macrofagi attivati; la penetrazione attraverso la BEE alterata di macromolecole tossiche (fattore di necrosi tumorale, gp120). La citotossicità della gp120 è stata dimostrata in vivo e in vitro: nei neuroni riduce l'utilizzazione del glucosio e incrementa il calcio libero intracellulare; negli astrociti altera i meccanismi di regolazione β -adrenergici e deprime la sintesi di proteina gliale fibrillare acida.

Neuropatologia delle lesioni primarie nell'infezione da HIV-1. - In Europa e negli Stati Uniti d'America tra il 40 e il 65% dei pazienti affetti da HIV-1 presenta disordini neurologici e/o psichici, che nel 10% dei casi segnano l'esordio della malattia. Alterazioni neuropatologiche si osservano nell'80% delle autopsie eseguite nei casi di decesso per AIDS. I principali quadri clinico-neuropatologici compaiono ed evolvono in tempi e con frequenza differenti in relazione allo stadio dell'infezione (sierconversione; sieropositività; complesso AIDS correlato; AIDS conclamato con infezioni opportunistiche; v. immunologia clinica e immunopatologia). La frequenza di specifici disordini varia anche in relazione alle caratteristiche geografiche, razziali, di età e al gruppo a rischio di infezione della popolazione; per esempio, la meningite criptococcica prevale tra i tossicomani consumatori di stupefacenti iniettabili e tra gli Afroamericani; la toxoplasmosi è più comune in Europa che negli Stati Uniti.

Circa i 2/3 dei pazienti con AIDS conclamato presentano demenza e il 90% segni istologici di un'encefalite subacuta (AIDS dementia-complex). I disturbi psichici (apatia, inerzia, amnesia, depressione), suggestivi di un interessamento prevalentemente sottocorticale, evolvono sino a un grave deterioramento psichico con mutismo, mentre i segni neurologici sono relativamente modesti. Eventuali infezioni opportunistiche possono essere escluse con l'esame del liquido cefalorachidiano (neurosifilide, criptococcosi, tubercolosi) o con la biopsia cerebrale (leucoencefalopatia da Papovavirus, toxoplasmosi). La TC e la TRMN mostrano un'atrofia corticale, talora prevalentemente frontale, e alterazioni della sostanza bianca, piccole e maldefinite inizialmente, diffuse nella fase terminale. All'esame neuropatologico si osserva un'atrofia cerebrale generalizzata, marcata a livello fronto-temporale, e un diffuso pallore mielinico. Cellule giganti multinucleate, noduli microgliali (microglia, linfociti, macrofagi) e infiltrati perivenosi cortico-sottocorticali (linfo-monociti e macrofagi) costituiscono il correlato microscopico della encefalite da HIV, o leucoencefalite nel caso di interessamento prevalente della sostanza bianca. Le cellule endoteliali, gli infiltrati perivascolari e le cellule giganti contengono sequenze di acidi nucleici virali, ma solo il numero delle cellule giganti sembra in relazione con il grado di demenza. Nel bambino il quadro microscopico è caratterizzato, oltre che dalle cellule

giganti multinucleate e dagli infiltrati perivascolari, da una mineralizzazione dei vasi dei gangli basali e della sostanza bianca.

Nel 50% delle autopsie eseguite su adulti con AIDS conclamato (nel 10% di quelle pediatriche) è riscontrabile una mielopatia vacuolare, che si sviluppa, quasi sempre, in concomitanza con l'encefalopatia e nel 20% circa degli affetti si manifesta con paraparesi spastica progressiva e atassia pseudotabetica. Il quadro neuropatologico è caratterizzato da chiazze di vacuolizzazione della sostanza bianca prevalenti a livello dei cordoni laterali e posteriori nel tratto toracico. Le lesioni, rappresentate in uno stadio iniziale da vacuoli formati per slaminamento da edema della mielina e infiltrati macrofagici, possono evolvere, attraverso un quadro di demielinizzazione con astrocitosi e accenni alla rimielinizzazione, sino alla necrosi, associate alla presenza di cellule schiumose e gliofibrosi. La patogenesi è, probabilmente, multifattoriale, verosimilmente tossico-dismetabolica; comunque sono stati esclusi un deficit di vitamina B12 e l'azione di patogeni opportunisti.

L'infezione da HIV-1 può manifestarsi, già durante la prima settimana di sierconversione, con una sindrome meningoencefalitica, in genere (60% dei portatori) in forma cronica, asintomatica, con pleiocitosi liquorale, e più raramente (2%) in forma acuta accompagnata, occasionalmente, da encefalopatia e/o mielopatia transitorie, con positività liquorale per l'HIV-1 e per anticorpi antivirali. La TC e la TRMN non offrono reperti significativi; i reperti neuropatologici si limitano a infiltrati leptomeningei linfo-monocitari e polimorfonucleari e, talora, a modeste alterazioni della sostanza bianca (pallore e astrocitosi).

Nei pazienti affetti da AIDS sono stati descritti disordini cerebro-vascolari quali infarti embolici ed emorragie cerebrali intraparenchimali, subaracnoidee, epidurali e subdurali. All'origine di queste lesioni vi possono essere una vasculite granulomatosa o una vasculite necrotizzante. Sono stati osservati anche quadri di alterazioni microcircolatorie proliferative a livello leptomeningeo e/o parenchimale.

Sindromi cliniche da compromissione dei nervi cranici e/o del sistema nervoso periferico (polineuropatia infiammatoria demielinizzante acuta o cronica, polineuropatia distale simmetrica, poliradiculopatia, mononeurite multiplex) non sono rare già in fase di sieropositività. Rara una neuropatia sensitiva da ganglioneurite. L'esame neuropatologico rivela, nella maggioranza dei casi, quadri di demielinizzazione segmentaria, degenerazione assonale e infiltrazione endo- ed epinevrile di elementi mononucleati. La patogenesi delle neuropatie associate all'AIDS è, probabilmente, multifattoriale (autoimmune, tossica, nutrizionale, ecc.), ma per ora rimane oscura. La presenza dell'HIV a livello del nervo periferico è stata dimostrata, solo in alcuni casi di neuropatia associata ad AIDS, su estratti coltivati o mediante dimostrazione diretta dell'RNA virale (ibridazione in situ), mentre le indagini immunocitochimiche e ultrastrutturali sono

risultate costantemente negative. In diversi casi la neuropatia periferica è legata a infezioni opportunistiche (infezione da Citomegalovirus, sifilide, ecc.) o a processi neoplastici.

Un quadro di miopatia infiammatoria può comparire in corso di AIDS conclamato. Clinicamente si manifestano ipostenia prossimale a esordio subacuto e, talora, dolori, con innalzamento dei valori sierici della creatinichinasi (CK). L'esame istopatologico del muscolo evidenzia fenomeni di mionecrosi e miofagocitosi, infiltrati mononucleari e macrofagi HIV-positivi a livello endo- e perimisiale e, in taluni casi, corpi citoplasmatici e nemalinici entro le fibre. Un'invasione diretta delle miofibre da parte dell'HIV non è mai stata dimostrata. Si ipotizza che il muscolo diventi il bersaglio di una reazione autoimmune in seguito all'attacco di agenti infettivi opportunisti, oppure, in alternativa, che sia il bersaglio passivo di reazioni infiammatorie provocate dalla presenza del virus entro e attorno la parete dei vasi sanguigni. In pazienti con AIDS, un quadro di mioglobinuria acuta e ipostenia, caratterizzato a livello muscolare dalla presenza di mitocondri anomali contenenti inclusioni paracrystalline, è stato recentemente attribuito all'azione tossica della zidovudina (AZT): tali alterazioni sono state osservate, però, anche in malati di AIDS non sottoposti al trattamento con AZT. Una grave atrofia muscolare prevalentemente a carico delle fibre di tipo II, quasi costantemente presente nella fase terminale dell'AIDS, è secondaria allo scadimento delle condizioni generali e non ha significato specifico.

Neuropatologia delle infezioni opportunistiche del SNC in corso d'infezione da HIV-1. - L'AIDS rende i soggetti affetti vulnerabili alle infezioni da parte di vari microrganismi, alcuni dei quali scarsamente virulenti in soggetti immunocompetenti. Tali infezioni, dette opportunistiche, sono la principale causa di decesso in corso d'infezione da HIV-1. Alcune infezioni opportunistiche colpiscono con elevata frequenza il SNC: la loro diagnosi precoce è importante, perché generalmente esse sono sensibili al trattamento farmacologico.

L'infezione opportunistica clinicamente più frequente (10%) è dovuta a *Cryptococcus neoformans*, un lievito ubiquitario responsabile di una meningite cronica delle leptomeningi basali, con proliferazione connettivale reattiva che può incarcerare i nervi cranici e ostruire le vie liquorali. L'esame neuropatologico dimostra un materiale gelatinoso entro gli spazi subaracnoidei e piccole cisti intraparenchimali, talora confluenti, localizzate principalmente a livello dei gangli basali lungo il decorso delle arterie lenticolostriate. Le formazioni gelatinose, denominate 'criptococchi', alla TC e alla TRMN simulano un processo occupante spazio, tuttavia istologicamente non mostrano la struttura tipica dei granulomi. Le cisti sono formate da aggregati del microrganismo ammassati nello spazio perivascolare, con scarsa o assente reazione infiammatoria.

La toxoplasmosi è una delle più frequenti cause di disordini neurologici nei pazienti con AIDS: l'incidenza media nelle serie autoptiche è circa del 15%. Si manifesta con ascessi e, raramente, in forma diffusa

caratterizzata da sparsi noduli microgliali. Gli ascessi, generalmente multipli, si localizzano al confine tra corteccia e sostanza bianca, nei nuclei grigi della base, meno frequentemente a livello cerebellare e del tronco e raramente a livello spinale. Queste lesioni esercitano un effetto massa e la TC e la TRMN dimostrano immagini tipiche ma non specifiche, per cui per la diagnosi di lesioni isolate è indicata la biopsia. In malati di AIDS adulti, l'infezione può manifestarsi in forma di periependimite e ventricolite, altrimenti tipiche della toxoplasmosi congenita. Istologicamente si riconoscono lesioni acute caratterizzate da un focus necrotico centrale, con emorragie puntiformi, circondato da elementi linfo-monocitari, polimorfonucleati, macrofagi e da vasi in proliferazione. Alla periferia del focus necrotico si trovano tachizoiti liberi, patognomonici di infezione acuta, e bradizoiti incistati (v. fig. 30). I vasi possono essere invasi dai microrganismi e presentare proliferazione intinale o anche una franca vasculite con necrosi fibrinoide e trombosi. Nella fase di organizzazione le lesioni appaiono circoscritte da una ben demarcata area di necrosi coagulativa, circondata da lipofagi e scarsi microrganismi. Le lesioni croniche sono rappresentate da cisti contenenti lipofagi e siderofagi, circondate da gliosi.

Nei paesi industrializzati l'incidenza dell'infezione da *Mycobacterium tuberculosis* (tubercolosi) si è progressivamente ridotta negli ultimi trent'anni, e tuttavia a partire dagli anni ottanta, in coincidenza con l'incremento dell'AIDS, la velocità di riduzione è bruscamente rallentata (v. malattie emergenti). Altri fattori predisponenti a contrarre la tubercolosi sono l'abuso di alcool e di droghe iniettabili e condizioni di immunodepressione diverse dall'AIDS. È in progressivo aumento l'incidenza di forme della malattia a eziologia atipica (*Mycobacterium avium*) e a localizzazione primaria extra-polmonare, tra cui la neurotubercolosi. La descrizione classica distingue quattro quadri neuropatologici principali, che possono presentarsi in varia combinazione: 1) tubercoli miliari disseminati; 2) tubercoloma meningeo; 3) meningite acuta; 4) meningite proliferativa. Questi quadri sono divenuti insoliti in seguito alla messa a punto della chemioterapia specifica; in pratica, attualmente le manifestazioni della TBC nel SNC sono rappresentate dalla meningite e dai tubercolomi (v. fig. 31). Nella prima le meningi della convessità sono opache e un denso essudato grigio-verde riempie le cisterne basali, copre la parte anteriore del ponte estendendosi nella cisterna magna e nella scissura silviana. Anche gli spazi subaracnoidei spinali possono essere interessati. I giri sono appiattiti e i solchi ristretti per l'edema della sostanza bianca. Noduli tubercolari possono essere osservati lungo i margini della scissura silviana, in prossimità delle vene della convessità, nella dura della base, nei plessi corioidei e in prossimità dell'ependima. Possono essere presenti idrocefalo e infarti nel territorio dell'arteria cerebrale media e delle lenticolo-striate: gli infarti sono secondari a trombosi da vasculite artero-venosa. I tubercolomi si manifestano invece come lesioni occupanti spazio e sono particolarmente frequenti negli spazi intracranici sottotentoriali (fossa cranica posteriore), soprattutto nei bambini. A questo livello

danno origine, quasi sempre, a manifestazioni neurologiche, perché non tendono a organizzarsi e a calcificare come quelli sopratentoriali che spesso cessano di crescere e divengono quiescenti. I tuberculomi si presentano, generalmente, come masse multiple, tondeggianti, di 2-12 mm di diametro, o lobulate. Il centro, necrotico, è circondato da una capsula gelatinosa, piuttosto dura, costituita da collagene, da ammassi di cellule giganti che racchiudono materiale caseoso e da un'area di gliosi reattiva. Sono presenti bacilli tubercolari. La capsula può andare incontro a fibrosi. La parete dei vasi adiacenti è infiltrata di linfociti. I tuberculomi sono meno edemigeni degli ascessi. Talora, nelle forme da *M. avium* riscontrate soprattutto nei pazienti con AIDS o con infezioni disseminate, le alterazioni neuropatologiche si manifestano sotto forma di meningite cronica o di ascessi multipli, senza la formazione di tubercoli: la risposta infiammatoria tende, infatti, a essere meno pronunciata che nell'infezione da *M. tuberculosis*.

I pazienti con infezione da HIV-1 sono più a rischio della popolazione normale nei confronti della neurosifilide: in essi la velocità di progressione e la gravità della malattia appaiono più elevate e i test sierologici e liquorali standard (VDRL, Venereal Diseases Research Laboratory, e FTA, Fluorescent Treponemal Antibody) possono essere negativi pur in presenza di *Treponema pallidum* nel liquor. L'infezione da *T. pallidum* del SNC non trattata può regredire spontaneamente, rimanere asintomatica, evolvere in meningite acuta o cronica. Questa, a sua volta, può rimanere asintomatica o rappresentare la base per lo sviluppo della neurosifilide meningovascolare (cerebrale e spinale) e parenchimale (paralisi generale e tabe dorsale), o della sifilide gommosa. Un'encefalite necrotizzante gravissima, con massiva invasione treponemica del parenchima cerebrale, è stata osservata in ammalati di AIDS che erano stati considerati guariti da una pregressa infezione treponemica: per questa forma è stata proposta la definizione di sifilide 'quaternaria'. La meningite acuta, a prevalente distribuzione basale, è caratterizzata da leucocitosi, ipergammaglobulinemia, positività del test VDRL liquorale, e può accompagnarsi a idrocefalo. La neurosifilide meningovascolare coinvolge le meningi, i vasi e il parenchima; soprattutto le arterie di piccolo e medio calibro vanno incontro a fibrosi, stenosi e trombosi (endoarterite obliterante), con conseguenti infarti.

La neurosifilide parenchimale, caratterizzata da invasione del tessuto nervoso da parte delle spirochete con alterazioni infiammatorie perivascolari diffuse e degenerazione e perdita neuronale con astrogliosi e proliferazione microgliale, non si realizza mai indipendentemente da una componente meningovascolare. Raramente si associano gomme miliari o nodulari. Nella forma cerebrale (paralisi generale o demenza paralitica) il cervello è atrofico, le lesioni interessano principalmente la corteccia prefrontale e il corpo striato. È presente una ependimite granulare; frequenti sono anche i depositi di ferro intraparenchimali. La tabe dorsale è una forma tardiva di neurosifilide spinale parenchimale caratterizzata da infiammazione e degenerazione dei gangli e delle radici spinali dorsali (in queste ultime compaiono processi di

demielinizzazione) a cui consegue la degenerazione dei cordoni posteriori; si associa spesso ad atrofia ottica primaria. Le gomme sono rare lesioni tondeggianti, con effetto massa, simil-granulomatose con un centro di necrosi coagulativa circondata da cellule epitelioidei, cellule giganti multinucleate, linfociti e plasmacellule formanti una parete cellulare a sua volta incapsulata in tessuto fibrotico con marcata proliferazione vasale. Possono trovarsi sparse nel nevrasso, ma sono in genere localizzate sulla superficie spinale e cerebrale perché la loro capsula fibrosa origina dal connettivo meningeo e vascolare.

Il Citomegalovirus (CMV) è il più frequente patogeno virale opportunista nei malati di AIDS: segni di infezione da CMV si riscontrano nel 15-20% delle autopsie. Il quadro più comune è quello di una encefalite subacuta diffusa con formazione di noduli microgliali nella sostanza grigia, associati o meno a cellule con inclusioni virali. Il quadro istologico è sovrapponibile a quello dell'encefalite da HIV-1 ma, a differenza di quest'ultimo, il CMV può infettare tutte le cellule del SNC e tende a localizzarsi preferenzialmente nell'ependima e nella regione subependimale: ne risulta una ventricoloencefalite con necrosi tissutale massiva, emorragie, ventricolite e infiammazione dei plessi corioidei. Cellule citomegaliche con prominenti inclusioni intranucleari e intracitoplasmatiche vengono facilmente identificate tanto nelle lesioni che alla loro periferia.

Nei pazienti con AIDS il virus Herpes simplex (HSV) può causare un'encefalite acuta con un quadro clinico-patologico del tutto sovrapponibile a quello osservato negli individui non immunocompromessi.

Macroscopicamente il cervello mostra segni di infiammazione, congestione e rammollimento accentuati a livello dei lobi temporali; sono presenti anche emorragie puntiformi o estese. Nel giro di 2 settimane dall'esordio dell'infezione si hanno franca necrosi e colliquazione tissutali. Istologicamente le lesioni interessano un'area notevolmente più estesa di quella riconoscibile all'esame macroscopico. Allo stadio iniziale si osserva congestione del microcircolo a livello cortico-subcorticale con emorragie puntiformi. Le inclusioni intranucleari eosinofile (corpi di Cowdry tipo A) sono suggestive della diagnosi. Il quadro lesionale evolve verso la necrosi tissutale con infiltrati mononucleari perivascolari e subaracnoidei, gliosi, satellitosi e neuronofagia. Nel neonato l'infezione, generalmente, interessa diffusamente il cervello che va incontro a necrosi estesa con idroanencefalia, poroencefalia, lesioni multicistiche. Il mezzo diagnostico più sensibile e specifico dell'infezione da HSV è la dimostrazione immunoistochimica o con ibridazione in situ del microrganismo in una biopsia cerebrale.

L'infezione da virus varicella zoster (VZV) dà conto di circa il 12% delle infezioni erpetiche nei pazienti con AIDS: i quadri neuropatologici associati comprendono un'encefalomielite, una leucoencefalite, una vasculopatia cerebrale, l'Herpes zoster oftalmico e l'encefalite trigeminale.

La leucoencefalopatia multifocale progressiva (PML), o malattia di Richardson, è stata descritta inizialmente come disordine della sostanza bianca in pazienti immunocompromessi (malattie mieloproliferative, linfoproliferative o granulomatose). L'agente patogeno responsabile è il Papovavirus JC. All'esame macroscopico il cervello rivela chiazze irregolari, mal definite, di distruzione granulare della sostanza bianca, con dimensioni variabili da pochi millimetri a un intero lobo cerebrale o emisfero cerebellare.

Microscopicamente le lesioni multifocali appaiono, nelle colorazioni per la mielina, come ammassi stellari che ricordano l'aspetto di una galassia. Le lesioni consistono in aree di demielinizzazione, nel centro delle quali sono presenti lipofagi e pochi assoni risparmiati. Alla periferia delle lesioni vi sono oligodendrociti con i nuclei ipertrofici e cromatina rimpiazzata da materiale virale opalescente, la cui natura è riconoscibile con tecniche immunoistochimiche o con ibridazione in situ. Alla periferia delle lesioni si trovano, ancora, astrociti giganti e rari infiltrati linfoplasmacellulari perivascolari e subaracnoidei. Nei pazienti con AIDS l'incidenza di PML varia dall'1 al 6% e l'estensione e la gravità delle lesioni tendono a essere maggiori che nei pazienti non infetti da HIV, con tendenza alla necrosi tissutale. In fase iniziale le lesioni possono rimanere misconosciute alla TC, mentre la TRMN evidenzia lesioni sia nella sostanza bianca che in quella grigia.

Neoplasie del SNC in corso d'infezione da HIV-1. - Con il prolungarsi del tempo di sopravvivenza, in seguito alla terapia con zidovudina e al trattamento delle infezioni opportunistiche, nei pazienti affetti da AIDS vengono descritti con sempre maggiore frequenza linfomi B primari del SNC che, dopo la toxoplasmosi, rappresentano la seconda causa di lesioni cerebrali occupanti spazio. Nelle lesioni singole la diagnosi differenziale è spesso possibile solo mediante biopsia. A livello cerebrale sono frequenti anche metastasi di linfomi sistemici che nei pazienti con AIDS presentano un'alta prevalenza di elevata malignità e scarsa risposta alla terapia.

Neuroscienze

Enciclopedia Italiana - VI Appendice (2000)

di Pietro Calissano, Jacopo Meldolesi, Flavia Valtorta, Francesco Clementi

Neuroscienze Parte introduttiva

di Pietro Calissano

Per neuroscienze si intende quell'insieme di discipline che studiano come è organizzato e come funziona il sistema nervoso, con particolare riferimento al cervello.

Ci si è domandato come possa lo sperimentatore essere al tempo stesso soggetto e oggetto della propria osservazione. Negli ultimi decenni, con la crescita, sviluppatasi a ritmo esponenziale, delle conoscenze nel campo delle scienze della vita, anche gli studi sul cervello hanno realizzato enormi progressi. Attualmente non si pone più il problema se sia possibile comprendere come funziona il cervello; il quesito è quando, in termini concreti, ciò sarà portato a compimento. Da quando l'uomo ha preso coscienza delle rimarchevoli prestazioni del suo cervello, uno dei temi prediletti di discussione - di filosofi prima e di scienziati nel 20° secolo - è se attività 'mentali' come il pensiero, le emozioni, l'autocoscienza, la volontà, siano funzioni differenti dalle attività 'cerebrali' (il movimento di un arto, la percezione di un colore ecc.) o se anch'esse rappresentino espressioni funzionali delle cellule nervose o neuroni che costituiscono il nostro cervello. Secondo i sostenitori di questa dicotomia, un semplice atto motorio come la flessione della gamba e l'atto volontario che governa questo gesto scaturiscono da 'entità' e si esplicano con meccanismi completamente differenti tra loro. La posizione di coloro che negano tale dualismo sostiene che le attività mentali e quelle cerebrali sono semplicemente espressioni dell'organo cervello diverse nella qualità e nei modi con cui si manifestano, ma che sono tutte dovute a uno stesso meccanismo, con il quale i neuroni comunicano fra loro e con il resto dell'organismo. Da quando questi due punti di vista si sono affermati e consolidati, si sono andate delineando due discipline distinte e spesso non comunicanti. Da una parte, la neurologia si è preoccupata di studiare funzioni e patologie del cervello, dall'altra la psichiatria si è dedicata a tempo pieno ai problemi della mente (v. memoria, XXII, p. 829, ripresa nelle App. IV e V, e cervello, IX, p. 829, ripresa in questa Appendice). Le rispettive discipline hanno in seguito generato - come spesso avviene, per motivi comprensibili ma non sempre nobili - delle sottodiscipline: dalla neurologia sono gemmate la neurofisiologia, la neurochimica (v. oltre: Comunicazione interneuronale), la neurofarmacologia e in genere tutti gli studi che sono preceduti dal prefisso neuro-; dalla psichiatria sono nate la psicologia, la psicoanalisi e in genere tutte le discipline che iniziano con il prefisso psico- (v. App. V e in questa Appendice). La distinzione fra attività mentali e attività cerebrali, pur essendo ancora operativa nella terminologia corrente, alla luce delle attuali conoscenze appare artificiosa a chi pratica una delle numerose discipline che costituiscono le n., poiché le une e le altre sono l'espressione unica e indivisibile dell'attività degli elementi neuronali e gliali che costituiscono l'organo cervello.

Secondo questa concezione, le attività cosiddette mentali debbono essere considerate proprietà emergenti, frutto di una somma talmente complessa di attività neuronali più semplici da costituire un salto qualitativo sostanzialmente ancora indecifrabile. Nata con Cartesio e ancora oggi sostenuta da tutti coloro che

considerano il cervello dell'uomo come frutto di un salto evolutivo di natura scientificamente inaccessibile, questa dicotomia fra attività nervose e attività mentali non ha più, pertanto, ragion d'essere.

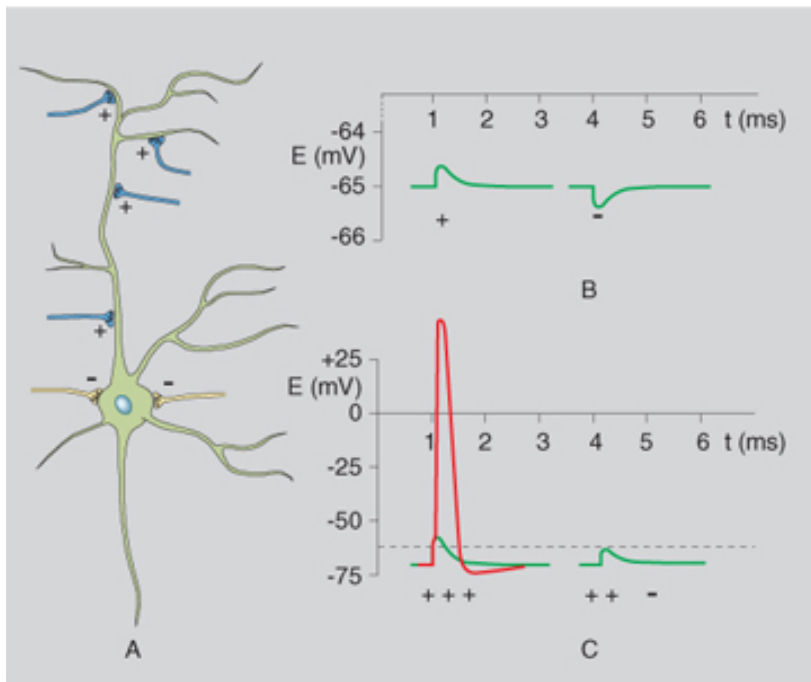
È bene ricordare, a questo proposito, che la vita stessa può essere considerata una proprietà emergente, espressione delle innumerevoli attività chimico-molecolari che si svolgono all'interno delle cellule; nessuna di queste attività, presa singolarmente, ha i connotati della vita, essendo una semplice attività enzimatica o di altra natura non vitale, ma nel loro insieme coordinato e organizzato entro i confini delle membrane cellulari queste attività permettono l'emergere e l'affermarsi di funzioni vitali.

L'ipotesi di lavoro che costituisce il fondamento delle n. è che, nello stesso modo in cui si vanno progressivamente e rapidamente delucidando tutte le proprietà che sono alla base della vita, così, in un futuro non lontano, si potranno conoscere tutte le proprietà del cervello che sono alla base dei processi 'mentali'. Analizzeremo brevemente gli approcci disciplinari delle n. che in questi decenni hanno fornito, e si presume forniranno in futuro, le conoscenze più utili a questo scopo.

Semplificando un problema altrimenti estremamente complesso, possiamo dividere le funzioni cerebrali in tre grandi livelli.

Il primo livello riguarda i meccanismi con i quali i neuroni, che nella misura di circa 100 miliardi formano l'encefalo, comunicano fra loro tramite un codice di natura particolare. Questo codice è basato sull'impiego di due 'simboli' di natura completamente differente: a) un insieme di sostanze chimiche denominate neurotrasmettitori o mediatori chimici; b) impulsi elettrici, variabili di frequenza ma non di intensità, che prendono il nome di potenziali d'azione.

Un potenziale d'azione si genera nel corpo del neurone in seguito a stimolazioni provenienti da altri neuroni e si propaga lungo le fibre nervose fino a giungere alle sue appendici più lontane dette sinapsi. All'interno delle sinapsi si trovano uno o più neurotrasmettitori che, quando giunge il potenziale d'azione, vengono liberati, diffondono nello spazio compreso fra porzione presinaptica e porzione postsinaptica, si legano a recettori situati nella membrana postsinaptica e, così facendo, provocano la generazione di un secondo potenziale d'azione. Questo eccita un altro neurone che genera a sua volta un altro potenziale d'azione e così via. Vi sono neurotrasmettitori i quali, invece di permettere il passaggio del potenziale da una sinapsi a un'altra, lo bloccano a livello della sinapsi ove sono liberati. Per questo motivo sono denominati neurotrasmettitori inibitori, mentre gli altri sono di natura eccitatoria (fig. 2).



Neuroscienze (parte generale) 1

Fig. 2 - Sinapsi eccitatorie e inibitorie. A, Le sinapsi eccitatorie (in blu) sono normalmente concentrate sull'albero dendritico di un neurone, quelle inibitorie (in giallo) sul soma; B, le variazioni del potenziale di membrana postsinaptico sono di ampiezza ridotta, generalmente inferiori a 1 mV e sono depolarizzanti nel caso di sinapsi eccitatorie (a sinistra) o iperpolarizzanti nel caso di sinapsi inibitorie (a destra); C, la sommatoria dei segnali depolarizzanti di diverse sinapsi eccitatorie (+++) puo superare un livello di potenziale detto 'soglia' (linea tratteggiata) e, quindi, scatenare un potenziale d'azione (linea rossa); la soglia, viceversa, puo non essere raggiunta in presenza anche di pochi segnali iperpolarizzanti provenienti da sinapsi inibitorie (++-)

Tramite questo sistema di comunicazione (che nella realtà è molto più complesso di quanto qui riassunto per brevità), impiegato dai neuroni di tutti gli organismi viventi, queste cellule altamente specializzate comunicano fra loro e con il resto dell'organismo.

Sulla base di studi di varia natura si è ipotizzato che numerose malattie 'mentali', come le depressioni e la schizofrenia, siano provocate da alterazioni quantitative (nel caso delle depressioni) o qualitative (nel caso

della schizofrenia) del funzionamento della parte chimica del codice di comunicazione neuronale. Grazie alle importanti conquiste di quelle parti delle n. denominate neurofisiologia, neurochimica e neurofarmacologia, si è ideato un crescente numero di farmaci che aiutano a tenere sotto controllo, e talvolta a rendere prive dei sintomi più dolorosi e socialmente invalidanti, queste malattie, che colpiscono nella misura del 4÷5% la collettività umana di ogni parte del globo (v. psichiatria, in questa Appendice).

Altre discipline, come la biologia dello sviluppo e la genetica, hanno consentito alle n. di ottenere brillanti risultati nell'analisi di questo primo livello di funzioni cerebrali. Queste discipline analizzano i meccanismi che presiedono alla formazione delle cellule nervose e delle cellule gliali a partire dai primi abbozzi del sistema nervoso. Il problema centrale di questi studi è quello di valutare quali sono le componenti genetiche e quali le influenze epigenetiche che presiedono alla progressiva specializzazione funzionale dei neuroni, e alla formazione di quel complesso intreccio di fibre nervose che costituisce un esempio finora insuperato di miniaturizzazione, tale da formare un insieme di circuiti dotati di circa 10^{15} contatti sinaptici in poco più di un chilogrammo di massa cellulare. Ciò che emerge dall'insieme di questi studi è che, in grandi linee, i circuiti e la loro realizzazione sono codificati nel genoma dell'animale, mentre gli stimoli ambientali svolgono un ruolo fondamentale per la definitiva realizzazione dei collegamenti sinaptici.

Nell'ultimo decennio, poi, si è affrontato il problema del perché, nel corso dello sviluppo del sistema nervoso, circa la metà dei neuroni generati vada incontro a morte prematura, obbedendo a un programma interno, contenuto nei geni di ogni cellula ma attivato da stimoli provenienti dal mondo esterno. L'esistenza di tale programma di morte, anche denominato apoptosi (dal greco ἀπόπτωσις, che sta a indicare la caduta delle foglie; v. cellula, in questa Appendice), che coinvolgendo la stessa cellula che lo attiva riveste i connotati del suicidio, ha suscitato numerose riflessioni e speculazioni. Nell'ultimo decennio si è potuta fornire una risposta precisa circa il motivo di tale massiccia morte di intere popolazioni di neuroni. E si è scoperto che questo evento costituisce una variante della più generale e feroce selezione darwiniana del più adatto alla sopravvivenza. Nel corso dello sviluppo ogni neurone tenta di stabilire dei collegamenti con altri neuroni secondo meccanismi in parte codificati geneticamente e in parte determinati su istruzioni esterne. Questi collegamenti servono a inibire, tramite mezzi differenti e di varia natura, il programma di morte, che rimane tuttavia sempre in agguato e pronto ad attivarsi per eliminare la cellula. Se questi collegamenti risultano inappropriati o tali da non essere in grado di inibire il programma di morte, questo viene attivato e il neurone viene fagocitato da apposite cellule. Con questo meccanismo la natura garantisce l'eliminazione di ogni cellula 'inutile' in quanto non collegata funzionalmente con le altre. Si pensa che molte malattie degenerative del sistema nervoso, come il morbo di Parkinson e il morbo di Alzheimer, siano dovute all'attivazione impropria

di questi programmi di morte, i quali causano la scomparsa di intere popolazioni di cellule che presiedono a funzioni cognitive come la memoria e lo stesso pensiero.

Il secondo livello di attività nervose riguarda i meccanismi mediante i quali i neuroni, organizzati in reti, gangli, centri e altre strutture altamente complesse, elaborano gli impulsi nervosi, li memorizzano, se necessario, ed emettono delle risposte comportamentali come il movimento in generale, la ricerca del cibo, l'accoppiamento, la fuga di fronte al pericolo ecc. Le unità di base di questi sistemi di elaborazione a livello della corteccia cerebrale sono le strutture colonnari, presenti nella corteccia dei mammiferi in quantità proporzionale al numero dei neuroni (fig. 3).

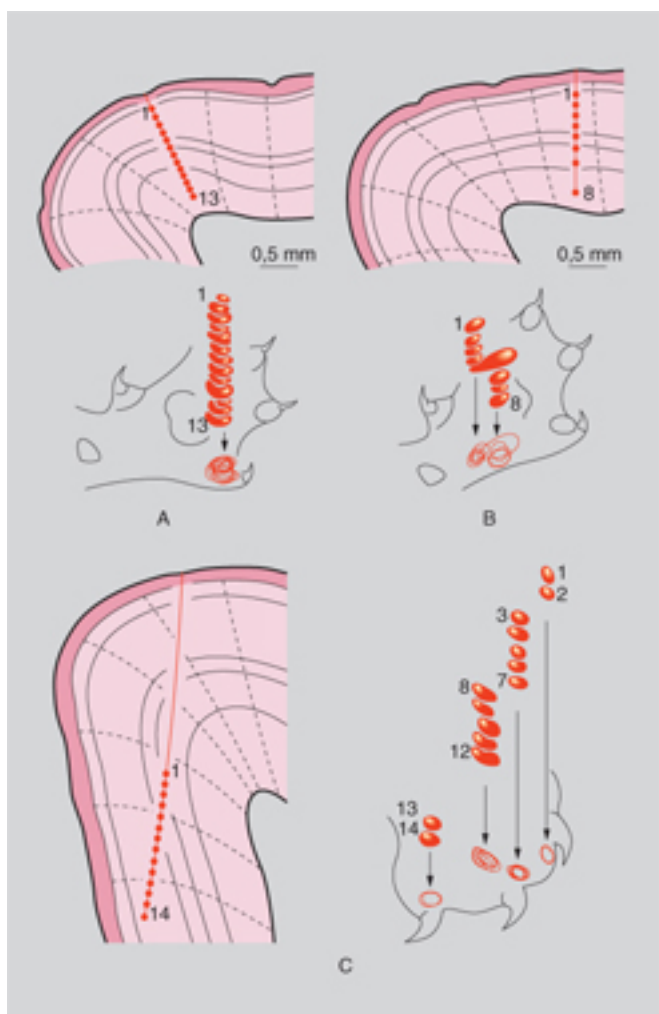


Fig. 3 – Esperimenti di localizzazione con microelettrodi che dimostrano l'organizzazione colonnare della corteccia somatosensoriale del gatto. A, B, Posizione nella zampa dei campi recettivi periferici (in basso) di neuroni osservati con microelettrodi introdotti quasi parallelamente agli assi verticali della corteccia (in alto). L'orientamento degli incolonnamenti radiali delle cellule è indicato con linee sottili. In A le cellule osservate con gli elettrodi sono tutte associate a campi recettivi identici; in B l'elettrodo è passato da una colonna a quella adiacente, con uno spostamento piccolo (40–50 μ m). C, Posizione dei campi recettivi periferici (a destra) di neuroni osservati con microelettrodi introdotti tangenzialmente attraverso la corteccia (a sinistra). Si osservano tre spostamenti bruschi nella posizione dei campi recettivi mentre l'elettrodo attraversa una serie di colonne adiacenti (figura ridisegnata da O.F. Favorov, Detection and characterization of the mosaic body representation in SI cortex, in Information processing in the somatosensory cortex, a cura di O. Franzen, J. Westman, Londra 1991)

Si calcola che ognuna di queste strutture sia composta da un minimo di 500 a un massimo di 10.000 neuroni. Una colonna costituisce una specie di modulo di computo; è collegata con altre colonne adiacenti o con quelle lontane, situate in altre aree corticali. Tramite questa organizzazione il cervello elabora l'informazione contemporaneamente in serie e in parallelo. Le colonne sono presenti in tutte le aree corticali devolute alla percezione degli stimoli, alla loro elaborazione e all'emissione di una risposta.

Di tutte queste aree, quella analizzata più a fondo è la corteccia visiva. Si conosce attualmente in modo molto preciso il percorso compiuto dalle fibre nervose emergenti dalla retina a formare il nervo ottico fino alla loro destinazione finale - dopo tappe intermedie di varia natura che dipendono dalla specie - nella corteccia visiva. Gli studi condotti negli ultimi decenni hanno chiarito molte fasi dell'elaborazione di questi stimoli. Si sa che ogni immagine che colpisce la retina viene scomposta, quando raggiunge l'area 17 della corteccia, in un numero impressionante di punti, linee, barre verticali, oblique e orizzontali. Si verificano successivamente operazioni complesse che 'ricostruiscono' questa immagine in aree differenti della corteccia. Questa seconda fase di ricostruzione viene effettuata da elementi neuronali disposti in modo ferreamente gerarchico. Mentre l'idea dell'esistenza di quelli che G. Stent definì i neuroni pontificali, cioè neuroni devoluti a 'vedere' l'intera immagine, è stata scartata, si sono recentemente scoperti neuroni che operano delle sintesi di parti più semplici dell'immagine precedentemente dissezionata, in modo tale che una particolare categoria di essi è in grado di rispondere alla visione di una forma nella sua interezza: un oggetto, il viso di una persona o il muso di un animale. Gli stessi neuroni non rispondono a stimoli più semplici come un impulso luminoso di intensità e durata varie. In sostanza, queste unità gnostiche - termine impiegato per definirle - esercitano delle sintesi dei segnali più semplici: esse rilevano il tutto e non una parte né tantomeno i singoli punti che la definiscono. Si ipotizza che vi sia una organizzazione gerarchica che procede a sintesi successive e sempre più globali, al termine delle quali l'intera immagine viene di nuovo percepita nella sua unitarietà e interezza. Vi sono pazienti neurologici i quali presentano la specifica inabilità a riconoscere, per es., i visi degli esseri umani, pur mostrando normali capacità per tutte le altre funzioni. Questi soggetti sarebbero affetti da una degenerazione

specifica in determinate aree cerebrali denominata prosopoagnosia, che nei primati è stata localizzata nel solco temporale superiore.

È presumibile che questa organizzazione gerarchica che procede per sintesi successive operi anche in altre aree corticali devolute all'elaborazione degli stimoli uditivi, tattili, gustativi. Sulla scia di queste scoperte recenti gli studiosi di intelligenza artificiale progettano una nuova categoria di elaboratori che, al contrario di quelli precedenti, operano in serie e in parallelo simulando il funzionamento delle reti neurali. Queste ricerche presentano il duplice vantaggio di generare nuovi tipi di elaboratori, molto sofisticati, e al contempo di comprendere in modo più dettagliato il funzionamento negli animali.

Collegato con il processo dell'elaborazione è quello della memorizzazione degli eventi che devono essere registrati per un periodo più o meno lungo. È ancora controverso se esistano particolari tipi di neuroni deputati a tale scopo nell'ambito di ciascuna rete neurale, o se la capacità di memorizzare sia presente in tutti i neuroni. La conclusione della maggior parte dei neurobiologi è per la seconda possibilità: ogni neurone è dotato degli elementi molecolari che gli permettono di fissare gli eventi sinaptici per un determinato periodo. Tale funzione cerebrale, essenziale per ogni attività nervosa di qualsiasi animale, è da lungo tempo oggetto di studi della più svariata natura.

Mentre sarebbe troppo lungo enumerare le analisi che su questa funzione sono state condotte dalla psicologia e, più di recente, dalle scienze cognitive, un rilievo particolare va dato agli studi tesi a delucidare le basi cellulari e molecolari della fissazione dei ricordi. Impiegando l'approccio riduzionista, diversi scienziati hanno iniziato a identificare i meccanismi e le molecole che sono coinvolti direttamente nella fissazione dello stimolo mnemonico in animali dal sistema nervoso di dimensioni molto ridotte. L'assunto fondamentale è che le basi neuronali della memoria sono eguali più o meno in tutte le specie, poiché eguali sono i neuroni che costituiscono il cervello. Nel corso dell'evoluzione sono semplicemente aumentati a dismisura gli interneuroni, cioè le cellule collocate fra i neuroni sensoriali (che percepiscono il mondo esterno) e i neuroni motori (che mettono in esecuzione le decisioni prese dagli interneuroni). Ne sta emergendo un insieme di nozioni molto precise, attraverso l'identificazione di un numero crescente di proteine coinvolte nella fissazione dei ricordi o dei meccanismi che, all'interno dei neuroni, attivano specifici programmi genici per il mantenimento dei ricordi per periodi di tempo che spesso coprono l'intero arco della vita. Vi sono, inoltre, particolari aree cerebrali che svolgono un ruolo determinante in talune fasi della memorizzazione. La più nota è l'ippocampo, che studi clinici e sperimentali hanno mostrato essere fondamentale nel processo di consolidamento della memoria breve in memoria di lunga durata. Individui cerebrolesi che hanno subito una lesione confinata a

questa struttura presentano un deficit gravissimo nella memoria anterograda, mentre sono normalmente capaci di memoria retrograda. Hanno memoria normale dei ricordi passati, anche infantili, ma dimenticano di avere incontrato il loro medico pochi minuti dopo che questo incontro è avvenuto.

Con approcci multidisciplinari e interdisciplinari si prospetta dunque nel prossimo futuro la possibilità di delucidare piuttosto a fondo i meccanismi tramite cui i neuroni, organizzati in strutture tridimensionali di varia natura e di varia entità, elaborano l'informazione in arrivo, la memorizzano - se necessario - ed emettono una risposta comportamentale. Questi studi cominciano a fornire informazioni di fondamentale importanza anche sul problema più complesso - secondo taluni irrisolvibile - che concerne i meccanismi che presiedono alla coscienza: sui meccanismi mediante i quali il nostro encefalo, nello stesso momento in cui opera l'elaborazione degli input sensoriali, ci rende coscienti dell'insieme di queste operazioni; sul tipo di circuiti o attività nervose con cui possiamo decidere un determinato atto motorio o rievocativo del passato; in altre parole, sulla natura di processi 'mentali' come coscienza, volontà, memoria.

Questo tipo di problemi costituisce il nocciolo del terzo, e ovviamente più complesso, livello di funzioni cerebrali. Il problema della comprensione dei processi mentali è metaforicamente paragonabile a quello della decrittazione dei geroglifici incisi sulla stele di Rosetta. Come è noto, si giunse alla soluzione dell'enigma rappresentato dalla lingua egizia espressa in geroglifici in seguito al ritrovamento di una stele - poi divenuta famosa in tutto il mondo con il nome del luogo ove fu rinvenuta - sulla quale era inciso un medesimo testo in tre scritture diverse: il greco, il demotico, che rappresentava una versione volgare della lingua egizia, e il geroglifico. Mediante la conoscenza delle prime due lingue si poté giungere alla decrittazione dei geroglifici.

È probabile che una volta compresi a fondo i primi due livelli delle funzioni cerebrali, quello delle funzioni dei singoli neuroni e quello dell'attività delle reti neurali, si potrà giungere un giorno alla delucidazione dei geroglifici del cervello che corrispondono ai meccanismi che generano i processi mentali.

Attualmente diverse teorie sono state avanzate da scienziati che sono passati dalle sponde sicure di discipline come l'immunologia, la biologia molecolare o la fisica quantistica alle neuroscienze. Fra questi ricordiamo G. Edelman, F.O. Crick e R. Penrose. Le loro teorie sono tutte basate sulle conoscenze acquisite nei primi due livelli di attività cerebrale ai quali si è accennato. Queste teorie riflettono gli aspetti peculiari delle conoscenze di un determinato settore delle n. e, pertanto, soffrono della mancanza di una sintesi globale. Edelman, per es., poggia la sua ipotesi principalmente su concetti di tipo darwiniano per quanto concerne la formazione dei circuiti che presiedono ai processi mentali, e sulle nozioni evolucionistiche per quanto riguarda il progressivo

generarsi della coscienza. Crick si ispira alle conoscenze acquisite nello studio della fisiologia della visione, che costituisce il settore più avanzato del secondo livello e, di recente, ha messo in evidenza meccanismi neurali che collegano le funzioni visive squisitamente sensoriali con quelle che presiedono ad atti volontari a esse collegati. Penrose, infine, studioso neofita, prestatore dalla fisica alle n., cerca di adattare le sue riconosciute competenze nel campo della fisica quantistica alla comprensione dei processi mentali, giungendo a una ipotesi stimolante, anche se al limite dell'azzardo. Secondo Penrose, le funzioni espletate dai neuroni e brevemente riassunte in precedenza sono sufficienti per i primi due livelli funzionali, ma non per il terzo. L'autocoscienza può generarsi solo per mezzo di attività quantistiche collettive (coerenti) che si possono generare entro strutture dinamiche come i microtubuli presenti e operanti all'interno degli stessi neuroni. Come è facile intuire, queste ipotesi rimangono ancora nel puro campo della speculazione, ma è confortante constatare come scienziati che hanno guadagnato la loro reputazione con una sperimentazione rigorosa, in solidi campi delle scienze biologiche e fisiche, e che li ha portati ai più alti riconoscimenti internazionali, prestino la loro attività creativa al più arduo dei problemi scientifici. Non è azzardato ipotizzare che i loro tentativi un giorno non lontano si concretizzeranno nel successo più ambito da quando l'uomo ha preso coscienza di sé e del mondo che lo circonda: portare a compimento l'esortazione socratica del "conosci te stesso".

Neurobiologia

di Jacopo Meldolesi, Flavia Valtorta

Per neurobiologia si intende il complesso di conoscenze e ipotesi di lavoro relative al tessuto nervoso, o meglio ai sistemi che da questo tessuto sono composti, il sistema nervoso centrale (SNC) e quello periferico (SNP). Gli sviluppi verificatisi negli ultimi trent'anni hanno progressivamente condotto a un'integrazione della neurobiologia, da un lato, con aspetti dell'attività nervosa per molto tempo ritenuti difficilmente riconducibili a una dimensione biologica, quali il pensiero e l'attività psichica; dall'altro lato, con la patologia e la clinica, sia neurologica che psichiatrica, che si sono nel frattempo aperte progressivamente all'interpretazione neurobiologica.

Il tessuto nervoso è probabilmente il più specializzato dell'intero organismo. Sino a poco tempo fa prevaleva l'idea che la sua specializzazione strutturale e funzionale poggiasse sull'unicità dei meccanismi molecolari e di funzionamento del neurone rispetto alle altre cellule. Perciò la ricerca in neurobiologia era spesso focalizzata sull'identificazione di fenomeni e proprietà esclusivi di quelle cellule. La ricerca più recente ha però

evidenziato, oltre alla specializzazione e alla ricchezza dell'espressione genetica (nel SNC sono espressi molti più geni che in ogni altro organo), l'esistenza di una marcata conservazione evolutiva tra molte funzioni del neurone e le funzioni comuni alle altre cellule, fino agli organismi semplici quali i lieviti.

Per approfondire il problema si prendano in considerazione i meccanismi di segnalazione. Fino a circa trent'anni or sono si riteneva che nel sistema nervoso la segnalazione avvenisse essenzialmente tramite correnti elettriche, che peraltro non sono specifiche dei neuroni, ma funzionano anche nei muscoli e in molte cellule endocrine. Senza nulla togliere all'importanza dei fenomeni elettrici, soprattutto per quanto riguarda la rapidità di trasmissione delle informazioni, appare però ormai evidente che il funzionamento coordinato della intricata rete di neuroni, nonché i fenomeni complessi, quali l'apprendimento, la memoria e l'attività psichica, richiedono che all'arrivo di un impulso elettrico seguano modificazioni biochimiche dell'attività cellulare, molte delle quali hanno un'ampia distribuzione nel mondo delle cellule eucariote. Per la loro natura queste modificazioni hanno una durata assai più lunga del potenziale d'azione. Alcune tra le più importanti modificazioni biochimiche, quali le fosforilazioni di proteine e l'attivazione della trascrizione genica, saranno riprese più avanti nei paragrafi sulla plasticità neuronale e sinaptica (v. anche rimodellamento, in questa Appendice).

Lo sviluppo delle nuove conoscenze sul neurone ha condotto anche a sostanziali modifiche della neurobiologia. La disciplina, infatti, non ha più soltanto aspetti specialistici, ma è diventata un territorio di frontiera in cui si misurano biologi cellulari interessati allo studio di una varietà di meccanismi base che nei neuroni presentano alti livelli di espressione: dai processi di fusione di membrana alla trasduzione dei segnali, dall'apoptosi al citoscheletro. Sotto parecchi punti di vista, quindi, il neurone può essere considerato come la cellula più evoluta dell'intero organismo, in relazione al quale è possibile sviluppare modelli sperimentali unici, importanti anche per lo studio generale di molteplici funzioni cellulari.

Sviluppo del SNC

Sia la semplice osservazione macroscopica del SNC sia la straordinaria eterogeneità delle aree cerebrali, facilmente verificabile a ogni livello (cellulare, intercellulare, di tessuto), suggeriscono la complessità dei processi necessari per lo sviluppo, a partire dalla semplicità del tubo neurale dell'embrione. I neuroni, per raggiungere la loro collocazione definitiva e per stabilire i contatti necessari al loro funzionamento, sono guidati dall'espressione prima di fattori di trascrizione per specifici geni, quindi dai prodotti di questi ultimi. Tra i prodotti di espressione genica coinvolti si annoverano sia i fattori di crescita necessari per il controllo a

distanza, sia le molecole specifiche della membrana plasmatica (o di sue specifiche regioni) attraverso le quali le cellule possono riconoscersi 'al tatto'. Si tratta di processi attivati non stabilmente ma 'per finestre temporali', tali quindi da poter evolvere nel tempo senza rischiare confusioni che potrebbero rendere difficili, se non impossibili, eventi previsti in tempi successivi. Alla complessità spazio-temporale si aggiunge la molteplicità dei meccanismi, che possono essere diversi per i vari processi (migrazione, emissione di prolungamenti, stabilirsi di sinapsi) nelle varie aree del SNC e, nella stessa area, per i vari tipi di neuroni. La regolazione, prima della moltiplicazione e della migrazione delle cellule immature, poi del differenziamento neuronale è dimostrata anche dall'esistenza di malattie genetiche nelle quali la presenza di eventi apparentemente indipendenti tra loro (per es. la mancanza del senso dell'olfatto, anosmia, e il deficit dello sviluppo sessuale nella malattia di Kallmann) è risultata derivare da un difetto nella migrazione di un singolo gruppo di neuroni, normalmente destinati a separarsi e migrare successivamente in due diverse direzioni fino a raggiungere siti di localizzazione differenti dove svolgeranno funzioni assai difformi.

Una caratteristica comune dei processi di sviluppo è la loro realizzazione per eccesso. In generale, infatti, sia il numero di neuroni prodotti per ogni area, sia l'arborizzazione delle fibre assonali e le connessioni sinaptiche stabilite con i bersagli sono molto più abbondanti in fase di sviluppo rispetto a quanto riscontrato nell'animale adulto. In termini finalistici si tratta, evidentemente, di un 'criterio di garanzia' stabilito per escludere la possibilità che il sistema nervoso finisca per trovarsi in difetto. Questo criterio è basato sulla capacità di eliminare quanto costruito di troppo, ancora una volta attraverso l'analisi di segnali di diversa natura e intensità che le cellule sono capaci di inviare, ricevere e interpretare. Una volta divenuti quasi tutti incapaci di riprodursi, e quindi di turbare le complesse strutture del sistema nervoso, i neuroni vanno incontro a una fase di ampia selezione negativa che riguarda sia le cellule stesse (eliminate per apoptosi; v. cellula, in questa Appendice) sia le loro fibre e sinapsi, e che si accompagna a un esteso rimodellamento, strutturale e molecolare, delle cellule sopravvivenenti. Quello che ne risulta costituisce il sistema nervoso, funzionante per tutta la vita. La sua plasticità, seppure limitata a livelli apparentemente modesti, sarà comunque atta a sostenere tutti i cambiamenti necessari, compresi quelli di apprendimento e di pensiero, dalla memoria all'attività psichica più complessa.

Morte neuronale

La morte neuronale non avviene soltanto, come già detto, nel corso dello sviluppo, ma anche nel corso dell'intera vita dell'uomo. Si tratta di un evento difficilmente compensabile a prima vista perché, come è ben noto, una volta completato lo sviluppo, la maggior parte dei neuroni è incapace di riprodursi. Il risultato

finale, quindi, è una loro diminuzione numerica. Essendo tra le cellule che più dipendono dall'apporto di ossigeno, in caso di trombosi o emorragia cerebrale i neuroni delle aree non più irrorate, e quindi anossiche, muoiono rapidamente per necrosi, cioè per rapida disintegrazione della struttura. Nelle ore successive, tutt'intorno a ogni area necrotica si va inoltre a formare un'area ben più ampia, definita come penombra, i cui neuroni continueranno a morire per giorni attraverso un altro processo, l'apoptosi o morte programmata. Lo stesso succede in neuroni esposti a sovrastimolazione, come può verificarsi anche in casi di epilessia. L'apoptosi è una specie di suicidio, nel corso del quale la cellula procede all'autodigestione delle sue macromolecole, proteine e acidi nucleici, alla condensazione del suo protoplasma e infine alla sua frammentazione, per essere fagocitata senza lasciar traccia dai macrofagi. Dallo studio di questo modello di morte si è sviluppato un concetto del tutto nuovo del neurone. Quest'ultimo infatti vive e funziona finché i segnali che riceve dall'ambiente, cioè da altri neuroni, dalle cellule gliali e, nel caso di neuroni del SNP, anche dagli altri bersagli funzionali, ne giustificano la sopravvivenza. Il programma apoptotico rimane comunque sempre 'pronto', attivabile da 'fattori di morte' come il TNF- α (Tumor Necrosis Factor α), che funzionano attraverso recettori specifici, o da aumenti incontrollati del Ca²⁺ citosolico. I fattori di crescita, quali il fattore di crescita nervoso (NGF, Nerve Growth Factor: v. in questa Appendice) o quello derivato dalle cellule gliali (GDNF, Glial Derived Nerve Factor), esercitano invece sui neuroni un effetto di protezione, antiapoptotico. L'attività coordinata dei neuroni è anch'essa un potente elemento di protezione che si realizza attraverso fattori oggi in via di identificazione. Tutti i nostri neuroni, seppure in grado diverso, sono esposti al rischio apoptotico, e la loro protezione appare legata a un'armonica integrazione funzionale in cui le varie attività cerebrali, da quella psichica a quella motoria, trovano spazi adeguati.

Glia

Oltre ai neuroni, tipiche del sistema nervoso sono le cellule gliali, che nel SNC sono presenti in numero più che 10 volte maggiore rispetto ai primi (nell'uomo circa mille miliardi di cellule!). A differenza dei neuroni, le cellule gliali sono proliferanti, cioè capaci di attiva riproduzione. Fino a tempi recenti l'interesse per queste cellule è rimasto modesto, limitato soprattutto al riconoscimento della loro eterogeneità. A ciascuna delle tre famiglie di cellule gliali si riconosce infatti un ruolo diverso, la cui comprensione è tuttora in rapida espansione. Le cellule microgliali sono in realtà macrofagi, in equilibrio con i macrofagi circolanti attraverso la barriera emato-encefalica. Al loro ruolo tradizionale di eliminazione per fagocitosi dei detriti cellulari rilasciati nel SNC viene oggi aggiunta la capacità di produrre sostanze, quali citochine e derivati delle prostaglandine, capaci di stimolare astrociti e anche neuroni. Fondamentale è infine il loro ruolo in tutte le

malattie neuroimmunologiche, nelle quali la presentazione di antigeni specifici scatena la risposta dei linfociti T extravasati nel sistema nervoso.

Degli oligodendrociti, che sono presenti solo nel SNC, era nota da molto tempo l'azione protettiva delle fibre assionali intorno alle quali formano le guaine mieliniche, costituite dal ripetuto arrotolarsi attorno agli assoni di espansioni, sottili e ampie, del loro citoplasma. Lo sviluppo delle conoscenze ha portato a identificare nell'intimo contatto assone-oligodendrocita l'instaurarsi di meccanismi regolativi, mediati sia dal rilascio di fattori di crescita sia da interazioni dirette cellula-cellula. In specifiche fasi dello sviluppo queste interazioni contribuiscono a indirizzare l'assone verso i suoi bersagli. In fase stazionaria, invece, esse non solo contribuiscono all'eutrofia assonale, ma hanno anche un ruolo nel blocco della rigenerazione dell'assone dopo lesione, un'attività che, data la complessità delle connessioni all'interno del SNC ormai sviluppato, finirebbe per ledere ulteriormente, piuttosto che restaurare, i rapporti interneuronali. Da questo punto di vista gli oligodendrociti differiscono sostanzialmente dai loro corrispettivi presenti nel SNP, le cellule di Schwann, che al contrario stimolano la ricrescita assonale e giocano quindi un ruolo fondamentale nella rigenerazione dell'innervazione periferica, soprattutto a livello motorio.

Le più numerose tra le cellule gliali del SNC sono però quelle della terza famiglia, gli astrociti, i cui prolungamenti si insinuano a rivestire i neuroni, mentre a livello vasale essi contribuiscono al funzionamento della barriera emato-encefalica. A questa attività 'di sostegno' gli astrociti aggiungono quella di 'cicatizzazione', cioè di sostituzione del parenchima neuronale in caso di morte di quest'ultimo. Gli studi recenti hanno mostrato però che il ruolo degli astrociti è più importante di quanto fin qui ritenuto. Infatti essi, pur essendo poveri di canali voltaggio-dipendenti, ed essendo quindi formalmente ineccitabili, attraverso l'espressione di numerosi recettori e di giunzioni comunicanti (gap junctions) sono capaci di costituire reti di segnali, quali onde di Ca^{2+} , importanti per l'omeostasi ambientale del SNC. Integrato con questa attività è il ruolo degli astrociti nella captazione e nel metabolismo di neurotrasmettitori, quali il glutammato. Si tratta di attività che, da un lato, proteggono i neuroni dal rischio della sovrastimolazione, dall'altro, partecipano al ricambio dei neurotrasmettitori stessi e quindi, seppure indirettamente, alla funzionalità sinaptica. Infine anche gli astrociti, come gli oligodendrociti, sono competenti per il rilascio regolato di fattori di crescita, citochine e altri segnali intracellulari. La funzione tradizionalmente attribuita agli astrociti, quella di supporto meccanico nei confronti dei neuroni, deve quindi essere reinterpretata in termini di assai più ampia assistenza e collaborazione, senza la quale né lo sviluppo né il funzionamento del SNC potrebbero avere luogo.

Neuroni e sinapsi

I neuroni non vivono e non funzionano individualmente, ma sono organizzati in complessi sistemi di integrazione, quali circuiti o reti, dove i dispositivi di collegamento (sinapsi) svolgono ruoli fondamentali. Fino a qualche anno fa si riteneva, almeno implicitamente, che le attività plastiche, a cominciare dall'apprendimento e dalla memoria, fossero da attribuire ai neuroni concepiti come strutture unitarie, presenti nel numero di oltre 100 miliardi nel cervello umano. È poi divenuto chiaro che anche le varie sinapsi di ogni singolo neurone, alcune migliaia in media, pur possedendo caratteri comuni (per es. esse funzionano tutte attraverso la liberazione degli stessi neurotrasmettitori), possono presentare specificità tanto molecolari che funzionali di grande importanza per le attività cerebrali. Da qui l'interesse che circonda oggi le sinapsi di numerose aree cerebrali, a cominciare da quelle dell'ippocampo, la struttura che contiene la corteccia cerebrale più elementare.

Strutturalmente ogni sinapsi è costituita da tre componenti: 1) la terminazione nervosa (o presinaptica), il contributo del neurone che fornisce l'informazione: si tratta di un rigonfiamento, specifico per morfologia e funzione, localizzato (per lo più) all'estremità dell'assone e delle sue arborizzazioni (fig. 4); 2) lo spazio sinaptico, cioè lo spazio extracellulare tra i due neuroni, che può essere molto stretto ($0,1 \mu\text{m}$); 3) la struttura postsinaptica, che può essere localizzata in tutte le porzioni del neurone che riceve l'informazione, eccettuato l'assone: sul corpo cellulare; sui dendriti (dove spesso non si distribuisce a caso ma su piccole estroflessioni, le cosiddette spine sinaptiche); sulle terminazioni sinaptiche, a loro volta in contatto con altri neuroni.

Il funzionamento delle sinapsi deve essere concepito non per sé, ma integrato nel complesso del neurone cui esse appartengono. I segnali, pur risultando da complesse elaborazioni, possono essere condotti molto rapidamente lungo gli assoni sotto forma di semplici eventi elettrici, i ben noti potenziali d'azione, dovuti alla successiva attivazione di canali ionici sensibili al voltaggio. Questi ultimi sono oggi conosciuti anche nella loro struttura molecolare. Giunti al termine della corsa, nei terminali sinaptici appunto, i segnali elettrici sono rapidamente ($<0,1 \text{ ms}$) convertiti in segnali chimici (tramite il processo di liberazione dei neurotrasmettitori), che rispetto ai segnali elettrici presentano il vantaggio di essere più modulabili e molto più diversificati (esistono diverse decine di neurotrasmettitori diversi). I segnali chimici, riversati nello spazio sinaptico, sono riconosciuti da recettori sia della membrana presinaptica, con funzione regolatoria, sia della struttura postsinaptica, dove possono essere ritrasformati, dopo integrazione ed elaborazione, in segnali elettrici. Eventi di questo genere corrispondono di fatto a conversioni analogico-digitali (e viceversa), essendo il segnale chimico graduato mentre il segnale elettrico è un fenomeno 'tutto o nulla', che può variare in frequenza ma non

in ampiezza. Questo concetto spiega come proprio la sinapsi sia la struttura neuronale più importante dal punto di vista dell'elaborazione delle informazioni.

Più in dettaglio, nei terminali sinaptici esiste, in considerevole numero, un tipo speciale di organulo, la vescicola sinaptica, riempita di neurotrasmettitori. Una sottopopolazione di queste vescicole si trova legata a siti specializzati della membrana plasmatica in cui sono destinate a incorporarsi tramite il processo di esocitosi (fusione). A riposo, però, la probabilità del processo di fusione è molto bassa. L'arrivo del potenziale d'azione provoca l'apertura di canali per lo ione Ca^{2+} con conseguente aumento (fino a 1000 volte) della concentrazione dello ione Ca^{2+} in prossimità delle vescicole legate. Il Ca^{2+} rimuove il blocco della fusione e i neurotrasmettitori contenuti nelle vescicole (i cosiddetti 'quanti', uno per vescicola) vengono così riversati nello spazio sinaptico, entrando in rapido contatto con la superficie della struttura postsinaptica. Il loro legame specifico con macromolecole proteiche, i recettori, ne causa l'attivazione inducendone cambiamenti conformazionali e quindi funzionali. Nel caso di recettori-canale l'attivazione può dare luogo all'insorgenza del potenziale elettrico postsinaptico, che sarà di tipo eccitatorio o inibitorio a seconda della natura positiva o negativa dello ione trasportato dal recettore stesso. Inoltre, se lo ione coinvolto è il Ca^{2+} , esso può anche attivare reazioni biochimiche locali nel neurone postsinaptico. Infatti il Ca^{2+} è l'unico tra gli ioni capace di svolgere un ruolo non solo elettrico, ma anche di (secondo) messaggero intracellulare.

Plasticità sinaptica

Come già accennato, l'attività sinaptica è altamente plastica: si adatta cioè alle necessità fisiologiche e protegge il SNC dagli effetti della stimolazione eccessiva. L'adattamento può avere luogo a livello sia presinaptico (fusione di vescicole) sia postsinaptico (attivazione recettoriale ed eventi a valle). Una prima regolazione dipende già dal livello del potenziale di riposo nelle rispettive membrane. I neuroni inibitori (abbondanti soprattutto tra i neuroni piccoli, cosiddetti interstiziali), attraverso specifici neurotrasmettitori e i relativi recettori, aumentano il potenziale elettronegativo delle membrane neuronali e le rendono così meno sensibili alle specifiche depolarizzazioni indotte, rispettivamente, dai potenziali d'azione e dall'attivazione di recettori stimolatori. A questo proposito è interessante notare che nella maggior parte dei circuiti cerebrali i neuroni eccitatori e quelli inibitori lavorano coordinatamente, talvolta anche in sequenza, e che solo l'equilibrio tra le due componenti permette di ottenere risultati equilibrati. Si pensi, in proposito, alla sintomatologia di ipereccitazione (convulsiva) dovuta al prevalere della componente motoria eccitatoria, che compare in seguito a blocco di sinapsi inibitorie in condizioni quali l'infezione tetanica o l'intossicazione da stricnina.

Per plasticità si intendono però soprattutto le modifiche di funzionalità che si realizzano in una sinapsi in relazione alla sua stessa attività. A seconda della durata esse si distinguono in plasticità a breve e a lungo termine, cioè in variazioni della risposta che vengono mantenute per pochi secondi oppure per lunghi periodi, fino a diversi giorni. I meccanismi molecolari responsabili di questi fenomeni, quantunque molto diversi tra loro, sembrano dipendere in larga misura dallo ione Ca^{2+} . Per la plasticità a breve termine è stata proposta la 'teoria del Ca^{2+} residuo', basata sulla constatazione che, dopo una stimolazione, l'espulsione del Ca^{2+} dal terminale è relativamente lenta, tale che alcuni siti importanti per la secrezione possono essere ancora occupati dallo ione all'arrivo di uno stimolo successivo, con conseguente aumento della risposta. Per forme più complesse di plasticità a breve termine, che sembrano dipendere direttamente da aumentata concentrazione di Ca^{2+} nell'intero terminale, il bersaglio sembra essere la sinapsina. Si tratta di una proteina che tiene legate le vescicole sinaptiche al citoscheletro, lontano dai siti di fusione, fino a quando, in conseguenza dell'aumento di Ca^{2+} , essa non viene fosforilata da un enzima specifico. Aumenta così il numero delle vescicole disponibili per legarsi alla membrana plasmatica della terminazione e, successivamente, per fondersi e liberare i propri quanti di neurotrasmettitore. Questi processi, che pure sono transienti, possono modificare significativamente il flusso delle informazioni in un circuito neuronale e avere quindi grande importanza fisiologica.

Oggi però l'interesse maggiore è focalizzato sulle forme prolungate di plasticità chiamate, rispettivamente, potenziamento e depressione a lungo termine, ltp e ltd, rivelate dal persistente aumento o diminuzione della risposta a uno stimolo standardizzato. Riconosciute in numerosi tipi di neuroni che impiegano come neurotrasmettitore il glutammato, esse sono considerate i meccanismi base per l'immagazzinamento delle informazioni, i primi processi che permettono di fornire una spiegazione neurobiologica a fenomeni quali l'apprendimento e la memoria. Per l'induzione di questi processi la sinapsi deve ricevere una serie di stimoli in rapida successione, un tetano, come si dice. Se la frequenza di questi stimoli sarà alta, per esempio 100 Hz, potrà svilupparsi una ltp, se sarà bassa (<10 Hz) una ltd. Qui la plasticità non riguarda solo il terminale presinaptico ma la sinapsi nel suo complesso. La stimolazione da parte del glutammato della struttura postsinaptica, con aumento della concentrazione del Ca^{2+} , induce infatti l'immediato invio di un segnale retrogrado, costituito probabilmente dal messaggero gassoso NO (ossido nitrico). L'integrazione temporale dei vari processi di segnalazione bidirezionale permette alla sinapsi di modificare il proprio programma funzionale attivandone uno più (o meno) efficace di quello base, in termini sia di fusione di vescicole (attività presinaptica) sia di ricezione del segnale del neurotrasmettitore (attività postsinaptica). In seguito il programma modificato viene stabilizzato (per giorni) anche grazie a specifiche variazioni dell'espressione

genica, e l'informazione stabilizzata può così indurre la comparsa di modifiche anche irreversibili in aree lontane del cervello.

La neurobiologia delle funzioni superiori

Come già accennato, sino a pochi anni or sono l'esplorazione delle basi cellulari e molecolari delle funzioni superiori del SNC era del tutto impensabile, nonostante esistesse un accordo pressoché generale riguardo al fatto che la coscienza, il pensiero e l'attività psichica più in generale derivassero dall'attività dei neuroni del cervello. L'indagine delle funzioni superiori era quindi condotta con altre tecnologie. Oltre che dalle discipline classiche (quali la neuroanatomia e la neurofisiologia, che hanno fornito una mappatura delle connessioni neuronali e studiato l'attività dei circuiti in modelli animali), informazioni importanti sono venute dalla psicologia cognitiva (v. App. V), che si occupa essenzialmente del funzionamento della mente indipendentemente dal substrato neurofisiologico, e dalla neuropsicologia, che individua la sede di una funzione studiando la sua alterazione in seguito a lesioni di specifiche aree cerebrali (v. mente: Neuroscienze e modelli della mente, App. V).

In tempi più recenti, però, l'avvento di nuove tecniche di indagine, quali la risonanza magnetica nucleare e la tomografia a emissione di positroni (NMR e PET: v. nervoso, sistema, App. V), ha consentito di affrontare lo studio delle funzioni superiori in un'ottica diversa. Anche se il problema della coscienza rimane troppo complesso per poterne studiare le basi neurobiologiche, tuttavia esso può essere scomposto in parti più semplici da affrontare separatamente.

Notevoli, per es., sono stati i progressi compiuti nello studio della consapevolezza e delle reazioni alle sensazioni, in particolare quelle indotte dagli stimoli visivi. Già negli anni Sessanta e Settanta gli studi neurofisiologici di D.H. Hubel e T.N. Wiesel avevano chiarito nel dettaglio quali sono le vie seguite dagli stimoli visivi, a partire dai fotoni che colpiscono la retina sino alla formazione dell'immagine nelle varie aree della corteccia visiva. Questi studi, però, erano stati compiuti su animali anestetizzati, e non potevano perciò chiarire il problema della percezione (sensazione cosciente) dello stimolo visivo. Gli sviluppi più recenti hanno invece portato a una sia pure iniziale comprensione dei meccanismi attraverso i quali si forma una rappresentazione mentale. I concetti fondamentali derivanti da questi studi sono due. In primo luogo, le varie componenti dello stimolo visivo (colore, movimento ecc.) possono essere analizzate dal cervello attraverso meccanismi almeno parzialmente distinti. In secondo luogo, l'immagine visiva che viene a formarsi nella nostra mente non costituisce una rappresentazione accurata dell'immagine reale, in quanto è andata incontro a

processi di aggiustamento. Nella gerarchia delle strutture che partecipano all'aggiustamento visivo questi processi possono avvenire 'dall'alto verso il basso' oppure 'dal basso verso l'alto', coinvolgendo, o meno, meccanismi volontari. I meccanismi neurali che sottendono alla consapevolezza della percezione sono perciò distribuiti lungo l'intera via visiva, in contraddizione con l'ipotesi prevalente in passato, secondo la quale la via visiva corrispondeva semplicemente al trasporto dell'informazione, mentre la consapevolezza della percezione era acquisita in qualche altro centro, a quell'epoca ancora non ben identificato. Concetti simili a quelli della sensazione visiva appaiono essere applicabili agli altri tipi di percezione.

In base alle conoscenze moderne, perciò, le funzioni cerebrali, anche quelle meno complesse, coinvolgono ampie aree del cervello, e un singolo stimolo risulta in grado di attivare neuroni localizzati anche in aree distanti tra loro. In altre parole, i neuroni funzionano in una rete di connessioni che sono decisamente più ampie e integrate di quanto si pensasse in precedenza. Anche nel campo dei processi di memoria e apprendimento i neuroni che acquisiscono le informazioni non sono gli stessi in cui l'informazione viene alla fine conservata. Per es., mentre l'ippocampo è considerato una struttura fondamentale per la rapida acquisizione di nuove informazioni, queste ultime, per poter essere conservate in maniera permanente o semi-permanente, devono essere trasferite e consolidate altrove, per es. nella neocorteccia cerebrale. Possiamo quindi concludere che il concetto di regione focale, specifica per una singola funzione, è stato sostituito da quello di circuito e di funzione distribuita, così come il concetto di cambiamenti statici della struttura del SNC è stato sostituito da quello di plasticità.

Comunicazione interneuronale

di Francesco Clementi

La neurochimica ha fatto in questi ultimi anni grandissimi passi avanti dovuti soprattutto al progresso della biologia cellulare e della biologia molecolare, che non solo hanno permesso di descrivere quanto avviene da un punto di vista neurobiologico sia nel cervello sano sia in quello patologico, ma hanno anche fornito spesso una spiegazione molecolare per molte delle funzioni cerebrali e per alcune patologie.

Le tecniche di biologia molecolare hanno permesso di clonare molte molecole chiave della trasmissione sinaptica delle quali si avevano solo conoscenze indirette o, spesso, non si conosceva affatto l'esistenza; si pensi, fra l'altro, alle molte forme di recettori, ai trasportatori dei mediatori, agli enzimi responsabili della sintesi dei mediatori, ai canali a voltaggio dipendenti. Inoltre, la localizzazione, attraverso la ibridizzazione in

situ, degli mRNA specifici per le diverse molecole sopra citate è stata determinante per conoscere la funzione di queste molecole nei diversi circuiti neuronali. L'individuazione del bersaglio molecolare di molte malattie, assieme al grande sviluppo della genetica molecolare, ha inoltre permesso di rintracciare le cause genetiche di numerose patologie e di svolgere quindi anche un'azione di prevenzione.

La perfezione raggiunta dalle tecniche non invasive di visualizzazione del cervello come la Nuclear Magnetic Resonance (NMR), ma soprattutto la Positron Emission Tomography (PET), la Single-Photon Emission Computerized Tomography (SPECT) e la Magneto Encephalography (MEG) (Lounasmaa, Hamalainen, Hari et al. 1996; Volkov, Rosen, Farde 1997), ha permesso di ottenere un'ottima risoluzione sia temporale sia spaziale e un'alta sensibilità ai traccianti neurochimici. Si è potuto in tal modo correlare i dati ottenuti sui pazienti con quanto si era trovato in precedenza negli animali da esperimento o in studi post mortem (tab. 1).

Neuroscienze. - Confronto tra le tecniche non invasive di visualizzazione del cervello **TABELLA 1**

Tecnica	Risoluzione temporale	Risoluzione spaziale	Sensibilità per traccianti neurochimici
MEG	1 ms	5 mm	
NMR	3 ÷ 5 s	10 ÷ 15 mm	10 mM
PET	45 s	4 mm	10 pM
SPECT	>60 s	6 ÷ 8 mm	10 pM

Sono tipici per es. gli studi sui neurotrasmettitori e sui loro recettori durante esercizi di apprendimento o in molte situazioni patologiche (Nordberg 1995).

Da ultimo, il perfezionamento delle tecniche di indagine nell'uomo da parte della psicologia cognitiva ha permesso di collegare molti dati neurochimici sperimentali con processi mentali ben caratterizzati.

L'identificazione molecolare delle cause di molte patologie del SN o almeno dei loro sintomi clinici ha dato il via a una ricerca mirata di nuovi e più specifici farmaci. L'introduzione in terapia di molecole con un meccanismo d'azione noto ha poi prodotto, con un effetto rebound, un ulteriore sviluppo della conoscenza della patogenesi di molte malattie. Si è così iniziata un'epoca nella quale le distanze tra la ricerca di base e quella applicata si sono ridotte, anzi in molti casi sono diventate punti di vista diversi su problemi comuni. Questa feconda interazione tra clinica e scienze sperimentali si riflette in un risveglio anche della clinica che passa da descrizione, spesso infeconda, di sintomi e classificazioni a interpretazioni fondate di ipotesi patogenetiche e di interventi terapeutici più mirati. Gli anni Novanta sono stati chiamati il 'decennio del cervello' e molti governi e agenzie private di finanziamento della ricerca si sono impegnati a contribuire a potenziare i fondi per questi studi. Non vi è dubbio quindi che agli inizi del 2000 si assisterà a una continua e stimolante corsa verso la comprensione di questo organo così complesso e affascinante che è il cervello.

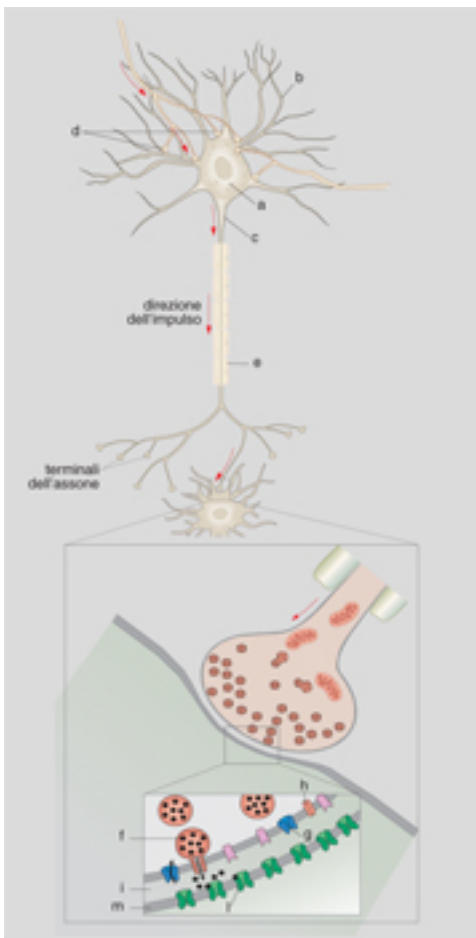
In questa trattazione si intende dare un'idea di alcune delle più importanti conquiste recenti nel campo della neurochimica, dando particolare risalto alla comunicazione tra neuroni e quindi ai neurotrasmettitori e ai loro recettori.

La sinapsi

Nel sistema nervoso i neuroni sono organizzati in circuiti multicellulari con caratteristiche spaziali, organizzative e funzionali tipiche delle varie aree cerebrali (v. nervoso, sistema, App. V). La costruzione di tali circuiti dipende da come le cellule nervose sono tra loro legate, da come si riconoscono e da come comunicano tra di loro.

La caratteristica dei circuiti nervosi consiste soprattutto nella specificità delle connessioni neuronali che si realizzano attraverso strutture particolari chiamate sinapsi; la specificità è ottenuta sia attraverso collegamenti precisi sul piano spaziale, sia attraverso il riconoscimento tra neurotrasmettitore secreto dalla parte presinaptica e recettori presenti nella parte postsinaptica.

La sinapsi è la struttura che permette il passaggio unidirezionale dell'informazione da una cellula a un'altra. Questa struttura si trova alla fine dell'assone ed è il punto di contatto, tra l'assone e la cellula innervata, nel quale avviene la trasmissione dell'informazione (fig. 8).



Neuroscienze 11

Fig. 8 – Struttura schematica di un neurone e ingrandimenti successivi di una terminazione sinaptica. Il neurone è composto da un corpo cellulare, osoma (a), da cui si diramano i dendriti (b) e l'assone (c), che termina con i bottoni sinaptici (d). L'assone, spesso rivestito da una guaina mielinica (e), ha origine da una proiezione conica del corpo cellulare e continua fino a formare le sinapsi tra i terminali dell'assone e le cellule che deve innervare. Negli ingrandimenti della sinapsi sono visibili le vescicole ripiene di trasmettitore (f) concentrate nella terminazione presinaptica. Quando, in concomitanza con il manifestarsi di un potenziale di azione, gli ioni Ca^{2+} entrano attraverso i canali per il calcio (g), le vescicole si fondono con proteine della membrana presinaptica (h) e rilasciano il trasmettitore nello spazio intersinaptico (i), che si lega a recettori postsinaptici (l) posti nella membrana postsinaptica (m).

La sinapsi ha alcune proprietà che sono essenziali per formare un corretto circuito neuronale: 1) la trasmissione del segnale è unidirezionale, dall'assone alla cellula non innervata e non viceversa; 2) la trasmissione è focalizzata, avviene cioè non solo con una cellula ben precisa, ma anche con una porzione precisa della cellula, in modo che il segnale sia localizzato e puntiforme; 3) la trasmissione è specifica, si basa

sull'interazione tra il neurotrasmettitore liberato dalla parte presinaptica e un recettore specifico presente sulla membrana postsinaptica; solo quando i due elementi, trasmettitore e recettore, sono compatibili avviene la trasmissione nervosa; 4) la risposta postsinaptica dipende dal tipo di recettore attivato; per es. l'acetilcolina può indurre una trasmissione assai rapida dell'impulso nervoso se ecciterà recettori di tipo nicotino, mentre potrà indurre una risposta lenta e di tipo metabolico se ecciterà recettori di tipo muscarinico; 5) la trasmissione del segnale può essere modulata nell'intensità attraverso sofisticati meccanismi che controllano sia la secrezione del neurotrasmettitore, sia la presenza e la reattività dei recettori, sia infine l'interazione tra neurotrasmettitore e recettore. Per ottemperare a queste funzioni la sinapsi ha una struttura particolare (Eccles 1982).

Le sinapsi hanno una loro struttura di base comune che consiste in: a) una parte presinaptica, che contiene gli enzimi per sintetizzare i neurotrasmettitori e le vescicole sinaptiche con il complesso macchinario per immagazzinarli e secernearli; b) uno stretto spazio intrasinaptico ricco di proteine della matrice extracellulare, nel quale viene rilasciato il neurotrasmettitore, talvolta di enzimi implicati nel metabolismo del neurotrasmettitore; la sua funzione è quella di fissare meccanicamente il contatto sinaptico tra le due cellule attraverso le numerose molecole di adesione, di provvedere a uno spazio limitato nel quale il mediatore può temporaneamente rimanere senza essere diluito dal liquido extracellulare, di cooperare al mantenimento della struttura della membrana pre e postsinaptica soprattutto favorendo la corretta localizzazione delle molecole necessarie alla comunicazione sinaptica; c) una membrana postsinaptica nella quale sono presenti i recettori specifici per il neurotrasmettitore liberato dalla presinapsi; la funzione più importante della membrana postsinaptica è quella di contenere recettori per i neurotrasmettitori e altre molecole necessarie alla trasduzione del segnale, come canali ionici, trasportatori per neurotrasmettitori e pompe; essa inoltre garantisce che queste molecole si trovino nella giusta posizione per svolgere il loro lavoro: per es. i recettori debbono essere localizzati proprio dove esce il neurotrasmettitore secreto dalla parte presinaptica. Questo è possibile in quanto nella parte citoplasmatica, sotto la membrana plasmatica, vi è un citoscheletro con un'organizzazione spaziale ben precisa cui i recettori e altre molecole di membrana sono ancorati attraverso proteine specifiche. Questo complesso citoscheletro-recettori conferisce alla membrana postsinaptica, vista al microscopio elettronico, un particolare aspetto denso e spesso.

La funzione della sinapsi è relativamente semplice. Nel momento in cui la membrana presinaptica è invasa dal potenziale d'azione, essa si depolarizza e questo cambiamento di voltaggio viene percepito dai canali per il calcio voltaggio-dipendenti. Essi si aprono, il Ca^{2+} entra e, attraverso un meccanismo complesso (Söllner, Rothman 1994; Goda 1997), permette che le vescicole sinaptiche ricche di neurotrasmettitore si fondano con

la membrana plasmatica e liberino il neurotrasmettitore nello spazio sinaptico (fig. 8). Il neurotrasmettitore liberato attiva i recettori postsinaptici e in questo modo il segnale viene trasmesso dalla fibra presinaptica alla cellula innervata. Successivamente le vescicole sinaptiche vuote di neurotrasmettitore ritornano all'interno della sinapsi per ricaricarsi ed essere pronte per iniziare un nuovo ciclo (McPherson, De Camilli 1994; Sudhof 1995). Il neurotrasmettitore liberato nello spazio sinaptico viene rimosso attraverso diversi meccanismi che possono anche funzionare contemporaneamente: può essere ripreso dalla presinapsi, attraverso trasportatori specifici recentemente clonati (Attwell, Barbour, Szatkowski 1993; Attwell, Mobbs 1994) e immagazzinato nelle vescicole (per es. le catecolamine e la serotonina), oppure essere distrutto da enzimi (per es. l'acetilcolina dall'acetilcolinesterasi), o catturato dalle cellule gliali che circondano la giunzione (per es. il glutammato), o diluito dal liquido extracellulare (per es. i neuropeptidi).

La risposta che la cellula innervata produce è quantitativa in funzione del numero di molecole di neurotrasmettitore uscite dalla parte presinaptica e del numero di recettori postsinaptici attivati, e qualitativa in relazione al tipo di recettore attivato. Si comprende quindi che la vera specificità della sinapsi risiede soprattutto nella specificità di incontro neurotrasmettitore-recettore.

I neurotrasmettitori

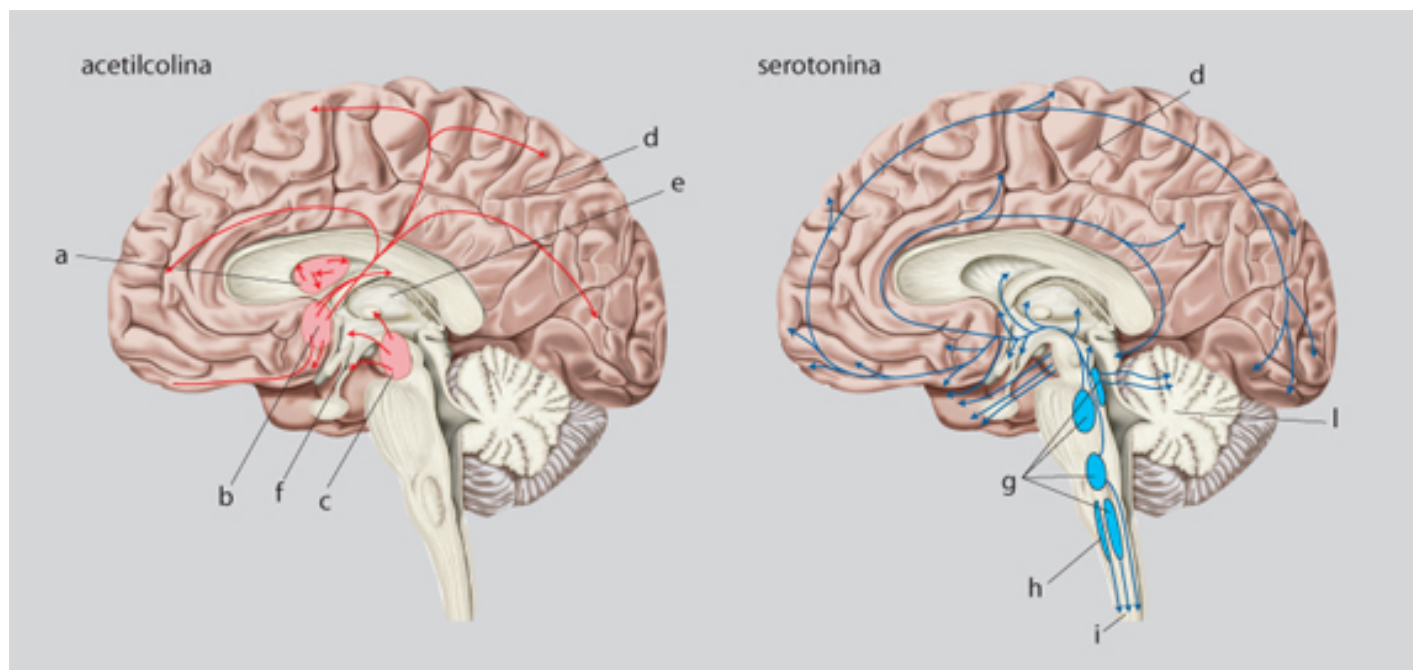
Le molecole che trasportano l'informazione neuronale attraverso la sinapsi sono i neurotrasmettitori. Essi vengono sintetizzati nel citoplasma della sinapsi, immagazzinati in vescicole e, quando l'impulso depolarizzante invade la sinapsi, vengono secreti in modo quantitativo nello spazio sinaptico. Qui essi raggiungono i recettori e li stimolano. Contemporaneamente alla secrezione si pongono in atto i meccanismi deputati alla rimozione del neurotrasmettitore dallo spazio sinaptico per terminare l'eccitazione della sinapsi.

Essi possono essere divisi in quattro gruppi fondamentali: i neurotrasmettitori classici e gli aminoacidi, i neuropeptidi e i gas (McQueen 1987; Dawson, Dawson 1996).

I neurotrasmettitori classici sono l'acetilcolina (5÷10% delle sinapsi del SN sono colinergiche), le monoamine (catecolamine, serotonina e istamina, secrete dall'1÷2% delle sinapsi cerebrali) e gli aminoacidi (GABA o acido γ -aminobutirrico, glicina, glutammato, aspartato, taurina, secrete da circa il 40% delle sinapsi centrali).

Questi neurotrasmettitori sono sintetizzati nel citoplasma, soprattutto a livello della sinapsi, da una serie di enzimi specifici, partendo da un precursore molto comune e che facilmente può essere disponibile nel neurone

(tab. 2). Ogni neurone può sintetizzare solamente un neurotrasmettitore di tipo convenzionale; si hanno così neuroni colinergici, dopaminergici, GABAergici ecc., che sono raggruppati in nuclei specifici del SNC e da cui proiettano assoni anche a zone distanti dove stabiliscono le connessioni sinaptiche. Si hanno così delle vie neuronali ben precise destinate a convogliare i neurotrasmettitori ai siti specifici dove devono agire. Una parte di queste vie è schematizzata nella fig. 9.



neuroscienze f2

Fig. 9 – Distribuzione di due dei neurotrasmettitori più importanti, l'acetilcolina e la serotonina, nel cervello umano. Per ogni via sono indicati i principali raggruppamenti neuronali e le rispettive aree di innervazione. Nuclei colinergici: nucleo magnocellulare di Maynert (a), nucleo septomediale (b) e nuclei pontini (c); questi nuclei proiettano assoni alla corteccia (d) in modo diffuso, al talamo (e) e all'ippocampo (f). Nuclei serotoninici: nuclei del rafe (g), nuclei nel midollo allungato (h); i neuroni di questi nuclei proiettano in modo diffuso alla corteccia (d), al midollo spinale (i) e al cervelletto (l)

L'acetilcolina è sintetizzata a partire dalla colina (che entra nei neuroni attraverso uno specifico trasportatore) da un enzima, la colinoacetiltransferasi; essa viene distrutta dalle acetilcolinesterasi, presenti nello spazio

sinaptico. I nuclei colinergici sono raggruppati soprattutto nel nucleo magnocellulare di Maynert, nel nucleo del septo mediale e in alcuni nuclei pontini. Da lì essi proiettano assoni alla corteccia in modo diffuso, al talamo e all'ippocampo (fig. 9). I recettori per l'acetilcolina si dividono in due tipi: nicotinici, canali per i cationi, e muscarinici, accoppiati alle proteine G. In genere l'acetilcolina è un mediatore eccitatorio.

Le monoamine costituiscono una grande famiglia della quale fanno parte la noradrenalina, l'adrenalina, la dopamina, la serotonina e l'istamina. La loro sintesi coinvolge più enzimi (tab. 2).

Neuroscienze. - Sintesi dei principali neurotrasmettitori

TABELLA 2

Precursore	Via sintetica
Colina	$CAT \rightarrow$ Acetilcolina
Tirosina	$TOH \rightarrow DOPA \xrightarrow{AADC} DA \xrightarrow{D\beta H} NA \xrightarrow{PNMT} A$
Triptofano	$TPOH \rightarrow 5HTP \xrightarrow{AADC} Serotonina$
Istidina	$HD \rightarrow$ Istamina
Glutamina	$Glutaminasi \rightarrow$ Glutammato
	$\begin{matrix} & \nearrow GAD & \rightarrow GABA \\ & \searrow ASPT & \rightarrow Aspartato \end{matrix}$

A, adrenalina; AADC, decarbossilasi degli aminoacidi aromatici; ASPT, aspartato transaminasi mitocondriale; CAT, colina acetiltransferasi; $D\beta H$, dopamina β idrossilasi; DA, dopamina; DOPA, diidrofenilamina; GAD, decarbossilasi dell'acido glutammico; HD, decarbossilasi dell'istidina; 5HTP, 5-idrossitriptofano; NA, noradrenalina; PNMT, feniletanolamina N-metiltransferasi; TOH, tirosinidrossilasi; TPOH, triptofano idrossilasi

Nonostante che le fibre monoaminergiche siano minoritarie, esse sono molto diffuse e possono avere un'influenza assai importante su molte funzioni cerebrali. Molti farmaci psicotropi, dagli antidepressivi agli antiparkinson, ai farmaci usati nella schizofrenia, agiscono modulando la secrezione o la sintesi o la liberazione di questi neurotrasmettitori.

La noradrenalina è sintetizzata da neuroni confinati nel midollo allungato, nel ponte e nel nucleo del tratto solitario. Essi proiettano in modo diffuso in quasi tutte le regioni del SNC, soprattutto nella corteccia,

nell'ipotalamo e nel midollo spinale. L'adrenalina è meno diffusa della noradrenalina, i neuroni adrenergici sono soprattutto localizzati nel midollo allungato e proiettano a vari nuclei ipotalamici e al midollo spinale. I recettori adrenergici sono diversi, raggruppati in due grandi famiglie α e β , sempre accoppiati a proteine G (v. oltre). L'effetto dell'adrenalina o della noradrenalina dipende dal tipo di recettore eccitato e in genere è di tipo inibitorio.

La dopamina è sintetizzata soprattutto in neuroni concentrati nella sostanza nera, ipotalamo e bulbo olfattivo. La via più studiata è quella tra la sostanza nera e lo striato dove controlla la regolazione della mobilità. La degenerazione delle cellule dopaminergiche porta a una patologia imponente come quella del morbo di Parkinson, che può essere parzialmente curato somministrando un precursore della dopamina, la L-DOPA. Si conoscono almeno quattro recettori per la dopamina e tutti agiscono attraverso le proteine G.

La serotonina è sintetizzata a partire dal triptofano attraverso diverse tappe metaboliche, ed è distrutta dalle monoaminossidasi (tab. 2). I neuroni che la producono sono localizzati soprattutto nel rafe e nel midollo allungato e proiettano in modo diffuso alla corteccia, al midollo spinale e al cervelletto (fig. 9). La serotonina è connessa con importanti processi affettivi e conoscitivi e con il controllo di alcune funzioni importanti come la temperatura e l'appetito.

Molti farmaci antidepressivi si pensa funzionino attraverso un'attivazione delle vie serotoninergiche. I recettori serotoninergici sono di almeno cinque tipi: i recettori 5HT₁, 2, 4 e 5 sono legati a proteine G; il 5HT₃ è invece un canale ionico.

Aminoacidi. - Questi neurotrasmettitori sono tra i più abbondanti nel SNC e comprendono aminoacidi inibitori, come il GABA (acido γ -aminobutirrico) e la glicina, ed eccitatori, come il glutammato e l'aspartato. Il GABA è il più importante neurotrasmettitore inibitorio del SNC.

Il GABA è sintetizzato soprattutto da piccoli interneuroni distribuiti in quasi tutto il SNC; esso è anche sintetizzato da alcuni neuroni che proiettano dallo striato alla sostanza nera. I recettori per il GABA sono dei canali ionici selettivi per il cloro. Farmaci assai attivi nel sistema nervoso come ansiolitici e ipnotici, per es. le benzodiazepine e i barbiturici, come antiepilettici, per es. l'acido valproico, agiscono potenziando il sistema GABAergico.

La glicina è il neurotrasmettitore inibitorio presente nel midollo spinale. L'acido glutammico è il mediatore eccitatorio più diffuso nel SNC ed è sintetizzato da neuroni sparsi in molti nuclei del cervello; la sua secrezione è responsabile del controllo di molte funzioni importanti, quali la percezione di sensazioni e del dolore, l'apprendimento e la memoria. Inoltre, una disregolazione della sua secrezione che innalzi il suo livello negli spazi sinaptici, come si ha in un periodo di anossia, può portare a degenerazione neuronale.

Da un punto di vista sperimentale particolarmente studiato è il circuito ippocampale nel quale il glutammato è responsabile di un fenomeno molto importante, la long term potentiation, che è uno dei modelli più preziosi per analizzare i meccanismi con i quali si instaura e si mantiene la memoria (Sejnowski 1996).

Neuropeptidi. - Dagli anni Settanta si è cominciato a isolare dal SNC alcuni piccoli peptidi che si è visto poi possedere attività neurotrasmettitoriali (Harmor 1987). Questi peptidi possono essere sintetizzati dagli stessi neuroni che sintetizzano i neurotrasmettitori classici. I primi studiati sono stati la ossitocina e la vasopressina, seguiti poi dagli ormoni ipotalamici, quali la somatostatina, il fattore per la liberazione della tirotropina (TRH), il fattore per la liberazione dell'ormone luteinizzante (LHRH), la colecistochinina, il peptide intestinale vasoattivo (VIP) ecc. Ma la scoperta più rilevante in questo settore ha riguardato i peptidi oppioidi, come le endorfine e le encefaline, peptidi che stimolano i recettori per la morfina. Finalmente si è capito in che modo funziona la morfina e con quale meccanismo essa produce gli effetti analgesici e quelli stimolanti o depressivi sul SNC. Si sperava anche di poter arrivare a farmaci analgesici che non avessero contemporaneamente gli effetti indesiderati della morfina, per es. la depressione dei centri respiratori o la farmacodipendenza; purtroppo, nonostante molte ricerche, non si è ancora ottenuto un farmaco analgesico ideale.

La scoperta di peptidi neurotrasmettitori così numerosi (v. un elenco dei più importanti in tab. 3) ha permesso di ampliare molto le conoscenze sulla trasmissione a livello del SNC e soprattutto di dare delle basi funzionali ad attività nervose non comprensibili sulla base delle attività dei neuromediatori classici. I neurotrasmettitori peptidici agiscono su recettori accoppiati a proteine G.

*Neuroscienze. – Principali peptidi presenti
nel sistema nervoso centrale*

TABELLA 3

Peptidi	Numero aminoacidi
<i>Ormoni ipotalamici</i>	
Ormone rilasciante le gonadotropine (GnRH)	10
Ormone rilasciante la tirotropina (TRH)	3
Ormone rilasciante la corticotropina (CRH)	41
Ormone rilasciante l'ormone della crescita (GHRH)	44
Somatostatina	14
<i>Peptidi oppioidi</i>	
Metionin encefalina	5
Leucin encefalina	5
Dinorfina A	17
β -endorfina	31
Ormone adrenocorticotropo (ACTH)	39
Ormone stimolante i melanociti (MSH)	13
<i>Takikinine</i>	
Sostanza P	11
Neurokinina A e B	10
<i>Altri neuropeptidi</i>	
Peptide intestinale vasoattivo (VIP)	28
Neuropeptide Y (NPY)	36
Neurotensina	13
Colecistochinina (CCKB)	8
Peptide derivante dal gene della calcitonina (CGRP)	38
Calcitonina	32

Dal punto di vista della biologia cellulare vi è una grande differenza tra i neurotrasmettitori classici e i neuropeptidi. Mentre i primi sono sintetizzati a livello del citoplasma sinaptico e trasportati poi nelle vescicole sinaptiche attraverso dei trasportatori, i neuropeptidi sono sintetizzati invece nel corpo cellulare, nel reticolo endoplasmatico, e di lì trasferiti nei granuli di secrezione che vengono poi trasportati fino alla sinapsi. Mentre le vescicole sinaptiche possono essere ricaricate di neurotrasmettitore dopo averlo liberato, questo non può avvenire per i granuli che contengono i peptidi; una volta svuotati del loro contenuto, essi non possono più essere ricaricati e la sinapsi deve essere rifornita di nuovi granuli dal corpo cellulare (McPherson, De Camilli 1994).

In genere si può ipotizzare che i veri neurotrasmettitori siano quelli di tipo classico, mentre i neuropeptidi agirebbero soprattutto da modulatori dell'attività neuronale. Solo le endorfine possono essere considerate dei veri neurotrasmettitori.

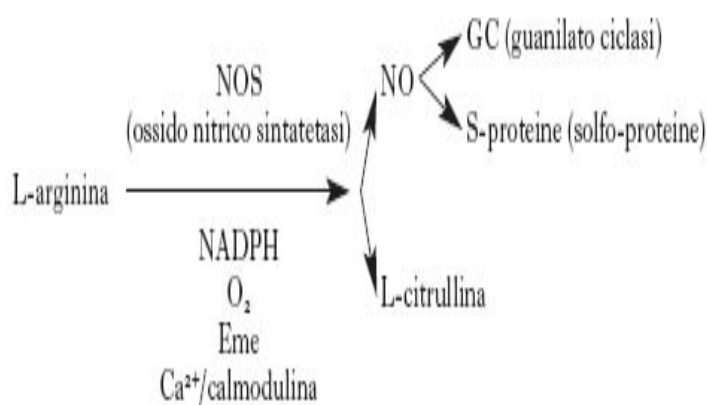
Citochine. Molto recentemente si è osservato che una serie di peptidi, estremamente importanti nella modulazione delle reazioni immunitarie, le citochine (IL-1; IL-12; TNF- α ; LIF), hanno una azione rilevante sul sistema nervoso centrale e periferico (Rothwell, Hopkins 1995). Esse e i loro recettori sono presenti nelle cellule del cervello, sia neuroni che glia; non sembra abbiano funzioni come neurotrasmettitori, ma hanno grande influenza sulla liberazione dei neurotrasmettitori sia classici che peptidici. Esse hanno anche un effetto importante sulla crescita e sul differenziamento dei neuroni. Queste ricerche sono assai promettenti, non solo perché permettono di conoscere una nuova famiglia di modulatori del SN, ma anche perché finalmente permettono di entrare in quella scatola nera che sono i rapporti tra sistema nervoso e sistema immunitario. È noto che durante un periodo di stress è più facile ammalarsi per carenza di difese immunitarie; così anche in alcune patologie del sistema immunitario si hanno ripercussioni sul funzionamento del sistema nervoso. La neuropsicoimmunologia, dunque, costituisce una nuova branca delle neuroscienze che porterà molte nuove conoscenze, a loro volta sicuramente foriere di applicazioni di interesse clinico.

Gas. - Anche in questo caso piuttosto di recente, è stata trovata una nuova classe di neurotrasmettitori che è composta di due molecole: l'ossido d'azoto o monossido d'azoto o ossido nitrico (NO) e il monossido di carbonio (CO) (Bredt, Snyder 1994; Garthwaite 1991; Gross, Wolin 1995; Dawson, Dawson 1996). Queste due molecole (v. anche molecola: Molecole messaggere gassose, in questa Appendice) erano conosciute da molto tempo come gas tossici derivati da processi di combustione, di lavorazione industriale o di metabolismo batterico, presenti nel fumo di sigarette e considerati indicatori tipici per valutare l'inquinamento atmosferico. Studi recenti hanno potuto dimostrare che essi sono anche prodotti da cellule di mammiferi e che svolgono un ruolo assai rilevante come messaggeri biologici nel controllo di processi immunologici, cardiovascolari e anche nel sistema nervoso. La difficoltà di scoprire il ruolo biologico di queste molecole ha una ragione essenzialmente tecnica, in quanto esse sono dei gas con vita media assai breve, di qualche secondo.

Mancavano quindi fino a oggi i mezzi per la loro precisa identificazione e per la loro determinazione. I recenti progressi della biologia molecolare hanno permesso di clonare gli enzimi che sintetizzano questi gas e quindi di studiare la loro localizzazione e funzione. La scoperta della funzione di neurotrasmettitori di queste sostanze ha sconvolto gli schemi classici elaborati in base ai neurotrasmettitori conosciuti e fin qui descritti, in quanto NO e CO: a) non sono contenuti in vescicole sinaptiche e rilasciati per esocitosi in seguito a depolarizzazione, come tutti gli altri mediatori; b) sono sintetizzati su richiesta da parte di enzimi la cui

attività è quindi specificamente regolata; c) non si legano a recettori di membrana, ma diffondono liberamente tra ed entro le cellule, attivando enzimi o effettori intracitoplasmatici senza confini cellulari precisi; inoltre la loro azione termina quando incontrano un substrato o in seguito a decomposizione. Tali caratteristiche rendono questi trasmettitori molto particolari, perché il controllo della loro azione è soprattutto sugli enzimi che li sintetizzano, sugli effettori e su quei fattori che possono controllarne la diffusione o la vita media.

L'ossido di azoto è un mediatore presente in circa l'1÷2% dei neuroni centrali, distribuiti in molte regioni del SNC, ma soprattutto nella corteccia, nello striato e nell'ippocampo. La sua funzione fondamentale sarebbe quella di favorire la liberazione dei neurotrasmettitori potenziando così la risposta sinaptica. In particolare si è visto che NO è uno dei fattori essenziali per il manifestarsi del già citato fenomeno della long term potentiation (Barinaga 1991). Nel sistema nervoso periferico NO è un trasmettitore in alcuni punti essenziali, come nel plesso mienterico nell'intestino, dove regola il rilasciamento di quest'organo, e nei neuroni del pene, dove regola l'erezione. Inoltre NO è presente in molti gangli e nervi che regolano il rilassamento delle arteriole cerebrali, controllando quindi, attraverso il circolo cerebrale, l'attività metabolica dei distretti cerebrali. Ci sono chiare evidenze che molti effetti neurotossici che si manifestano nel SNC in seguito a insulti anossici o tossici sono mediati da una produzione esagerata di NO. Quest'ultimo è sintetizzato dalla NO sintetasi a partire dalla L-arginina, che viene convertita in L-citrullina e NO in presenza di NADPH (nicotinammideadeninucleotide-2-fosfato ridotto) e ossigeno con il concorso di cinque elettroni.



Sono state clonate almeno tre forme di NO sintetasi: una endoteliale, una neuronale e una presente in cellule immunocompetenti e macrofagi. La NO sintetasi neuronale è sempre presente nei neuroni ma in qualche modo silente; la sua attività è scatenata da un aumento della concentrazione di calcio nel citosol. Un aumento di calcio produce quindi un immediato aumento di NO con l'attivazione degli effettori specifici. Tra le molecole che sono influenzate da NO il bersaglio più importante è certamente la guanilatociclastasi, che viene attivata con un conseguente aumento del cGMP (guanosinmonofosfatociclico). Questo secondo messaggero sarebbe responsabile di molti degli effetti fisiologici di NO. Ma NO è un radicale libero e interagisce con molte altre molecole cellulari; esso S-nitrosila molti recettori, per es. il recettore glutammatergico di tipo NMDA, regolando così la trasmissione glutammatergica; deprime la glicolisi ADP, ribosilando la gliceraldeide-3-fosfato deidrogenasi; può inibire la sintesi di DNA attraverso l'inibizione della ribonucleotide reduttasi, e così molte altre molecole chiave del metabolismo neuronale possono essere controllate da NO.

NO reagisce anche con l'anione superossido producendo un potente ossidante, molto tossico per il neurone. Si pensa che in condizioni di anossia, quando vi è un'aumentata produzione di glutammato e quindi un forte aumento di calcio intracitoplasmatico, si abbia una attivazione massiccia della NO sintetasi, una produzione eccessiva di NO e la formazione di radicali ossidanti che portano a morte cellulare. Questo sarebbe il meccanismo della citotossicità di NO (Garthwaite 1991; Gross, Wolin 1995; Dawson, Dawson 1996).

Il monossido di carbonio fa parte della stessa famiglia di molecole e anche per questa ci sono evidenze che possa essere un neurotrasmettitore centrale. CO è formato dalla emeossigenasi (HO) che converte l'eme a CO e biliverdina, che è poi rapidamente trasformata in bilirubina. CO è un potente attivatore della guanilato ciclastasi e quindi, come NO, potrebbe essere un regolatore fisiologico del cGMP. La HO è presente nel cervello in aree discrete come l'ippocampo, l'ipotalamo e il sistema olfattivo. In quest'area sembra che CO possa svolgere una funzione importante sia come mediatore del segnale sinaptico, sia come regolatore dello sviluppo durante l'ontogenesi (Broillet, Firenstein 1996).

Recettori

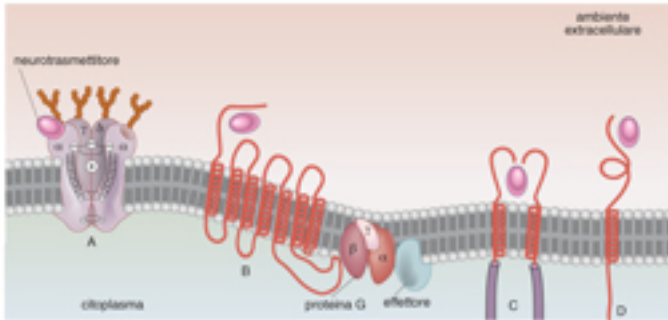
Le altre molecole chiave nella trasmissione neuronale sono i recettori. Essi trasducono il messaggio portato dal neurotrasmettitore all'interno della cellula postsinaptica (Clementi 1996).

Per recettore si intende una molecola che lega in modo specifico, definito e con affinità precisa, uno o più mediatori endogeni e che da questo legame subisce una trasformazione conformazionale capace di far

scaturire un effetto biologico. Non è quindi sufficiente che una proteina leghi un ormone o un neurotrasmettitore per definirla un recettore: per es. l'albumina, che lega gli acidi grassi, o la ceruloplasmina, che lega il rame, non sono recettori.

I recettori per i neurotrasmettitori trasducono il segnale dall'esterno all'interno della cellula in quanto i mediatori che attivano questi recettori sono sostanze idrofile che difficilmente passano la membrana cellulare. I meccanismi di trasduzione del segnale sono molto diversi per i vari recettori, ed è attraverso questa diversità che si attua la specificità della risposta cellulare ai vari neurotrasmettitori.

Le superfamiglie recettoriali. - I recettori per i neurotrasmettitori si possono raggruppare in quattro famiglie composte ciascuna da numerosi membri: recettori-canale, recettori accoppiati alle proteine G, recettori che attivano una tirosinchinasi intrinseca, e da ultimo la piccola famiglia dei recettori che attivano una guanilatociclastasi intrinseca (fig. 10).



Neuroscienze 13

Fig. 10 – Illustrazione schematica delle famiglie di neurotrasmettitori. A, Canali ionici che vengono aperti in seguito al legame con il neurotrasmettitore; B, recettori accoppiati a proteine G con la caratteristica struttura a sette zone transmembrana; C, recettori che possiedono attività proteinchinasi intrinseca che fosforila i residui aminoacidi citrosinici; D, recettori che possiedono un'attività guanilatociclasica intrinseca o un sito di legame del neurotrasmettitore

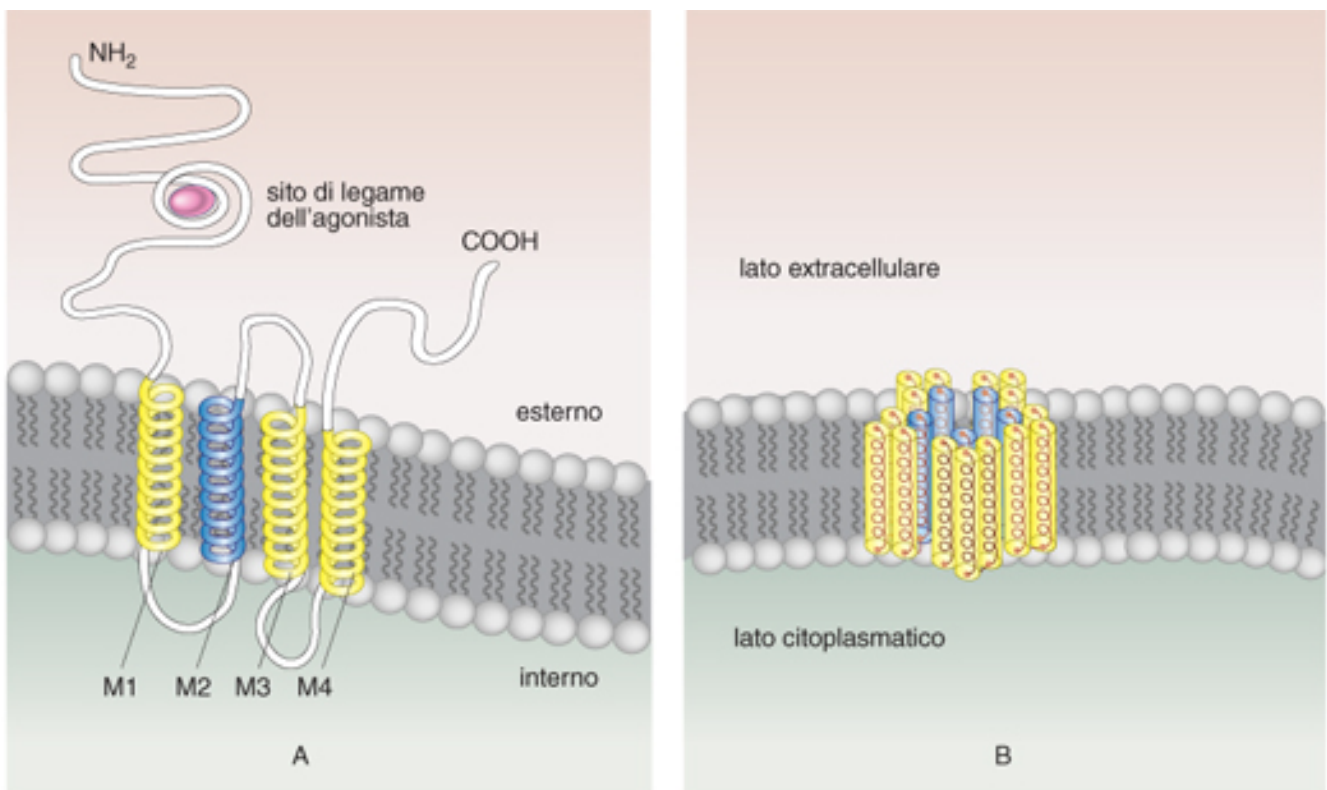
La maggioranza dei neurotrasmettitori agisce attivando recettori associati a canali o a proteine G, e i fattori di crescita attivando i recettori proteinchinasi (Heinemann, Stühmer 1993). La stimolazione da parte di un neurotrasmettitore di un tipo di recettore rispetto a un altro non è evento indifferente. L'apertura di un canale comporta una trasduzione del segnale molto rapida, mentre l'attivazione di una proteina G o di una proteinchinasi porta a una risposta più lunga e più lenta. Quasi tutti i neurotrasmettitori possono attivare sia canali sia G proteine (tab. 4) e indurre quindi nella cellula bersaglio risposte rapide o lente. È importante

conoscere quali sottotipi recettoriali sono presenti in una cellula per capire quale sarà la sua risposta a un determinato neurotrasmettitore.

*Neuroscienze. - Sottotipi recettoriali coinvolti
nella trasduzione lenta e veloce* TABELLA 4

Neurotrasmettitore	Trasmissione veloce	Trasmissione lenta
Acetilcolina	Nicotinici	Muscarinici
GABA	GABA A	GABA B
Glutammato	Ionotropi	Metabotropi
Serotonina	5HT ₃	5HT _{1,2,4,5}
ATP	P _{2x}	P _{2y}

Recettori-canale. - Sono costituiti da un canale ionico che viene aperto in seguito al legame con il neurotrasmettitore o con farmaci agonisti. L'attivazione di questi recettori porta perciò a rapidi cambiamenti delle concentrazioni ioniche intracellulari e quindi del potenziale elettrico a cavallo della membrana plasmatica (Bertrand, Changeux 1995; Gotti, Fornasari, Clementi 1997; Stephenson 1995; Sargent 1993; Unwin 1993; Gotti, Clementi 1996). A questa famiglia appartengono i recettori nicotinici, il recettore A per il GABA, il recettore per la glicina, i recettori ionotropi per il glutammato, il recettore HT₃ per la serotonina. Essi hanno tutti una struttura simile e hanno una particolare storia evolutiva (Ortells, Lunt 1995): sono composti da 4 o 5 subunità che delimitano un canale idrofilo attraverso il quale passano gli ioni (fig. 11).



neuroscienze f 04

Fig. 11 - Struttura del recettore colinergico nicotinico (AChR), un tipico recettore-canale, responsabile della trasduzione del segnale a livello della giunzione neuromuscolare. A sinistra, Struttura di una singola subunita del recettore; le quattro porzioni transmembrana di ciascuna subunita sono identificate dalle sigle M1-M4. A destra, Disposizione delle cinque subunita a formare il canale ionico. Le quattro porzioni M1-M4 sono organizzate spazialmente in modo che i tratti M2 (in azzurro) delle cinque subunita formino le pareti del canale

Ogni subunita è formata da una catena polipeptidica che attraversa quattro volte la membrana plasmatica in corrispondenza di altrettante regioni ricche di aminoacidi idrofobici (regioni chiamate M). Il canale è delimitato dalle regioni M2 di ciascuna subunita. La selettività della carica ionica che attraversa il canale è data dalla presenza di aminoacidi elettricamente carichi posti nella regione M2 di ciascuna subunita in

posizione tale da costituire degli anelli di carica positiva o negativa all'interno del canale. Il recettore canale seleziona quindi gli ioni sia per la loro dimensione sia per la loro carica.

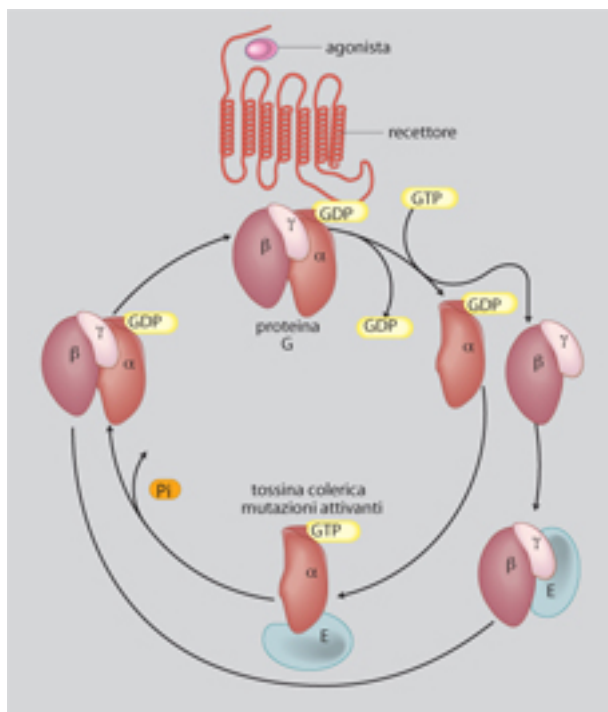
Il sito di legame per il neurotrasmettitore o per i farmaci - il sito cioè responsabile della apertura e chiusura del canale - è posto all'esterno della membrana cellulare in un territorio vicino al terminale amminico nella subunità. Sulla superficie extracellulare del recettore sono spesso presenti siti di legame per altre sostanze regolatrici, detti siti allosterici, in quanto la loro occupazione modifica le caratteristiche di attivazione recettoriale da parte dell'agonista principale. Nella parte citoplasmatica i recettori possono contenere dei siti di fosforilazione, importanti per la regolazione delle cinetiche di apertura e chiusura del canale ionico, e dei siti di legame con le proteine del citoscheletro che ne garantiscono la stabilità e la giusta localizzazione nella membrana cellulare.

I farmaci attivi su questa classe di recettori possono avere come bersaglio il sito di legame per l'agonista naturale (per es. i curari, che impediscono l'apertura del recettore nicotinic), oppure possono legarsi al sito allosterico (per es. le benzodiazepine, che favoriscono l'apertura del recettore A del GABA). Infine, alcuni farmaci possono interferire con le proprietà biofisiche e funzionali del canale legandosi a siti posti nel lume del canale stesso (per es. i barbiturici che, legandosi nel canale del recettore GABA A, lo tengono sempre aperto favorendo un aumento eccessivo dei processi inibitori).

Recettori accoppiati alle proteine G. Questa è la famiglia più numerosa di recettori e il bersaglio della maggior parte dei farmaci utilizzati in terapia. La caratteristica di questi recettori è di trasdurre il segnale generato dal legame con il mediatore attivando una proteina G (Coughlin 1994; Hille 1992; Linder, Gilman 1992; Vallar, Vicentini 1996). Le proteine G rappresentano una famiglia di molecole proteiche eterotrimeriche e derivano il loro nome dalla capacità di legare il GTP e di possedere una attività GTPasica intrinseca. Le tre subunità che costituiscono ciascuna proteina G vengono chiamate α , β e γ ed è solo la subunità α che è capace di legare e idrolizzare il GTP.

Quando uno di questi recettori viene attivato dal suo agonista, esso subisce una modificazione conformazionale grazie alla quale riesce ad attivare una specifica proteina G che, a sua volta, lega una molecola di GTP presente nel citoplasma; il legame con il GTP provoca la dissociazione delle tre subunità e l'attivazione della subunità α . Quest'ultima rimane attiva finché non riesce a idrolizzare il GTP in GDP grazie alla sua attività GTPasica intrinseca. Durante la fase di attivazione, la subunità α modula l'attività di effettori

quali le adenilatociclasti, le fosfolipasi C e A2 e alcuni canali ionici (Berridge 1993; Hille 1992; Tang, Gilman 1992; Vallar, Vicentini 1996; fig. 12).



neuroscienze 15

Fig. 12 - Ciclo delle proteine G: E, effettore; Pi, fosforo inorganico

Ogni proteina G attiva in modo specifico solo determinati effettori (tab. 5). L'attivazione delle adenilatociclasti e delle fosfolipasi produce la sintesi di secondi messaggeri, quali adenosin monofosfato ciclico (cAMP), inositolo trisfosfato (IP₃), diacilglicerolo (DG), acido arachidonico, che attivano una serie di reazioni enzimatiche a cascata responsabili dell'effetto biologico indotto dall'attivazione recettoriale.

Quindi il legame dell'agonista con un recettore accoppiato a proteine G può portare alla produzione di molte molecole di secondi messaggeri, ciascuna delle quali può attivare numerose altre molecole enzimatiche in una cascata che sempre più si amplifica.

Una conseguenza di questa cascata amplificatrice di eventi biochimici è che la durata degli effetti indotti dall'attivazione di questa classe di recettori può essere anche dell'ordine di minuti e dipende non solo dalla durata dell'interazione farmaco-recettore, ma soprattutto dall'efficienza di meccanismi cellulari specifici preposti alla riduzione della concentrazione del secondo messaggero e all'abolizione delle modificazioni post-traduzionali da esso indotte.

I recettori accoppiati a proteine G sono inclusi in un'unica superfamiglia genica, in quanto hanno una organizzazione molecolare comune: essi sono formati da una singola catena polipeptidica che attraversa sette volte la membrana plasmatica in corrispondenza di altrettante regioni idrofobiche e che si organizza spazialmente nella membrana in modo da costituire una particella globulare (fig. 10). Il sito di legame per il neurotrasmettitore si trova nelle porzioni transmembrinarie o extracellulari della sequenza aminoacidica. Il tratto di sequenza compreso tra le regioni transmembrana 5 e 6 è rivolto verso il citoplasma e presenta siti di fosforilazione, importanti per la funzionalità del recettore, e un sito per il riconoscimento delle proteine G; questo sito permette a ciascun recettore di riconoscere e di legarsi solo ad alcuni tipi di proteina G ed è quindi responsabile della specificità di interazione tra recettore e proteina G.

Recettori con attività tirosinchinasica. A questa famiglia appartengono i recettori non di neurotrasmettitori ma di fattori responsabili del trofismo, del differenziamento e della sopravvivenza dei neuroni (Comoglio, Boccaccio 1996; Fantl, Johnson, Williams 1993). Tra questi il primo a essere stato conosciuto è il fattore per la crescita neuronale (NGF, Nerve Growth Factor), scoperto da R. Levi-Montalcini, al quale se ne sono associati altri come il Brain Derived Growth Factor (BDGF), i Neurotrophic Factors (NT3 e NT4). Essi sono costituiti da una catena polipeptidica che attraversa una sola volta la membrana cellulare e sono caratterizzati dal fatto di possedere un'attività tirosinchinasica intrinseca: sono quindi capaci di fosforilare substrati proteici in corrispondenza di residui tirosinici (fig. 10). L'interazione ligando-recettore avviene a livello della porzione extracellulare della sequenza aminoacidica e porta alla dimerizzazione del recettore, che è la tappa responsabile della attivazione della tirosinchinasi intrinseca. L'autofosforilazione di residui tirosinici presenti nella porzione citoplasmatica del recettore porta alla sua associazione con una serie di proteine citoplasmatiche, alcune delle quali sono enzimi che iniziano una complessa cascata di eventi che inducono la cellula a proliferare o a differenziarsi (fig. 13).

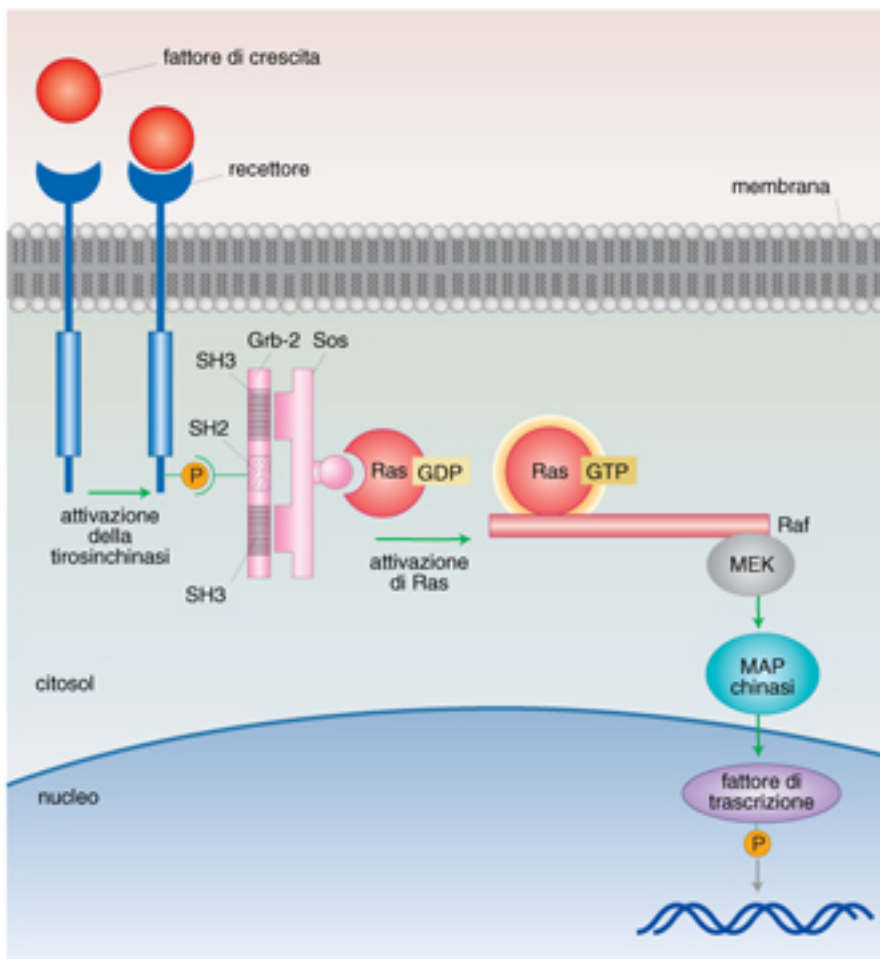


Fig. 13 – Meccanismi di trasduzione del segnale dei recettori per fattori di crescita. Il legame del fattore al recettore causa l'attivazione del dominio chinasi e la fosforilazione delle tirosine di ancoraggio per i trasduttori. La molecola Grb-2 si associa alla tirosina fosforilata per mezzo del dominio SH2 e, tramite i due

domini SH3, alla molecola Sos. Quest'ultima, reclutata alla membrana plasmatica, lega il complesso inattivo Ras-GDP e promuove lo scambio della molecola di GDP con una GTP; il complesso Ras-GTP e un trasduttore attivo, capace di associare e stimolare la serinchinasi Raf. Questa innesca una cascata di fosforilazioni mediate dalle chinasi plasmatiche della famiglia MAP. I bersagli finali di questa cascata sono i fattori nucleari che controllano la trascrizione dei geni responsabili della risposta mitogenica (figura ridisegnata da P.M. Comoglio, C. Boccaccio, I recettori per i fattori di crescita, in Farmacologia generale, 1996)

Molti oncogeni sono recettori per fattori di crescita che, a causa di mutazioni o delezioni di parte della proteina, hanno perso la loro regolazione fisiologica.

Modulazione patologica e farmacologica della comunicazione neuronale

Integrazione di più informazioni e risposta neuronale. - Come si è detto, un neurone è in grado di ricevere alla sua superficie più di 100.000 sinapsi, ognuna portatrice di una particolare informazione da un particolare circuito nervoso. Se si suppone che in ogni sinapsi ci possa essere più di un tipo di trasmettitore e/o più di un recettore, si può ben immaginare quante informazioni possano arrivare contemporaneamente a un neurone e influenzarne la risposta. Inoltre, l'attivazione di un recettore non rimane isolata, ma può riflettersi sulla funzionalità di altri recettori o canali. L'attivazione di un recettore β -adrenergico, per es., produce un aumento di AMP ciclico e una attivazione di proteinchinasi A; queste possono fosforilare non soltanto il β recettore disattivandolo, ma anche altri recettori e altri canali ionici di membrana, modificandone le proprietà. Vi è quindi spesso un controllo reciproco tra i vari recettori che può portare a un aumento o diminuzione delle loro attività.

La cellula neuronale quindi è una sorta di computer che riceve informazioni molteplici, le elabora in modi non ancora del tutto chiariti e infine produce la sua risposta. La compromissione della funzione di una sola molecola neuronale, sia un canale o un recettore, per opera di farmaci o di agenti patogeni, può quindi portare a grandi modificazioni della risposta di un neurone squilibrando molto l'omeostasi dei circuiti neuronali.

Come è facile ipotizzare, molte patologie umane nascono da modificazioni di numero o di struttura di molecole coinvolte nella trasmissione dell'impulso nervoso. Spesso le alterazioni sono più supposte, per es. attraverso l'azione positiva di farmaci, che non sperimentalmente provate; ci si limiterà quindi a esaminare alcune patologie nelle quali le modificazioni sono conclamate e sperimentalmente provate, in quanto esse possono dare un'idea precisa di come l'omeostasi di un sistema può venire perturbata con la modifica di una di queste molecole, portando alcuni esempi che coinvolgono i recettori e i sistemi di trasduzione del messaggio neuronale.

a) I recettori nicotinici. La miastenia grave è una patologia che colpisce la giunzione neuromuscolare provocando una difficoltà della trasmissione tra nervo e muscolo; questo porta a una affaticabilità dei muscoli e a una progressiva loro paralisi. In questi ultimi anni si è scoperto che la paralisi era dovuta a un numero minore di recettori colinergici nicotinici presenti nella giunzione neuromuscolare; l'acetilcolina, quindi, secreta in quantità e con modalità normali dalla sinapsi, trova a livello postsinaptico un numero minore di recettori con i quali interagire e non può garantire una efficiente trasmissione dell'impulso. La diminuzione dei recettori è provocata da anticorpi anti-recettore nicotinico che ne aumentano la distruzione. La terapia che oggi si attua consiste in parte nell'aumentare la vita dell'acetilcolina nello spazio sinaptico attraverso l'inibizione dell'acetilcolinesterasi, ma fondamentalmente nel bloccare la produzione di autoanticorpi attraverso farmaci immunosoppressori (Drachman 1994). In questi anni si sono poi scoperte numerose forme di miastenia congenita dovute a mutazione del recettore nicotinico muscolare, che, mutato, cambia le sue proprietà funzionali (Engel, Ohno, Milone et al. 1997). Ancora una mutazione del recettore nicotinico, ma di tipo neuronale, sulla subunità $\alpha 4$ sembra essere responsabile di una grave forma di epilessia (Steilein, Muller, Propping et al. 1997).

b) Trasduzione del segnale. In questi anni sono state descritte molte patologie legate a mutazioni o dei recettori o delle proteine G a essi associate. Tra le prime si ricordano la retinite pigmentosa causata da rodopsina alterata, il diabete insipido nefrogenico causato da un recettore mutato per la vasopressina, alcune forme di nanismo dovute all'alterazione del recettore per l'ormone della crescita; tra le seconde: adenomi dell'ipofisi dovuti ad attivazione congenita della proteina G α_s , tumori della tiroide dovuti ad attivazione della proteina G α_i . Recentemente sono state descritte mutazioni anche dei recettori $\alpha 1$, $\alpha 2$, $\beta 2$ per le catecolamine che probabilmente possono spiegare alcune patologie del SNC (Vallar, Vicentini 1996). Con la diffusione sempre più ampia delle tecniche di biologia molecolare è prevedibile che patologie del SNC con alta familiarità possano essere spiegate attraverso mutazioni strutturali di proteine coinvolte nella trasmissione nervosa.

Oltre a queste patologie conclamate, vi sono poi numerose situazioni patologiche nelle quali si sospetta che possa essere presente un'alterazione in alcuni punti della trasmissione nervosa, senza avere però delle prove precise. Le maggiori indicazioni vengono dall'uso dei farmaci. Per es. si conosce l'uso benefico delle benzodiazepine nell'ansia; dato che esse agiscono sul recettore GABAergico, si suppone che nell'ansia vi sia una alterazione di questo sistema di trasduzione dell'informazione nervosa.

I farmaci come strumenti specifici per analizzare e modificare la comunicazione nervosa. - I farmaci non solo sono stati strumenti essenziali per capire il funzionamento del SN, ma hanno anche permesso di intervenire terapeutamente su molte malattie del SN, recuperando, almeno in parte, alla vita e alla dignità umana persone che sarebbero altrimenti o relegate ai confini della società o schiacciate da grandi dolori e angosce. Si pensi, per es., all'evoluzione della schizofrenia, della depressione, della paranoia: l'introduzione degli psicofarmaci ha contribuito a modificare profondamente anche l'ospedalizzazione dei malati di queste patologie e a trasformare radicalmente gli ospedali psichiatrici.

La complessa struttura che sottostà alla trasmissione nervosa fa sì che vi siano molti possibili bersagli per un intervento farmacologico. Nella tab. 6 sono riportati alcuni esempi di farmaci che vengono comunemente usati in terapia per mostrare come essi agiscano su un bersaglio ben preciso e come, agendo su bersagli comuni, si possano avere effetti diversi; per es. i farmaci che bloccano i canali al Na⁺ a voltaggio-dipendenti possono svolgere azione insetticida se bloccano i canali al Na⁺ degli insetti, azione anestetica locale se bloccano i canali posti nei nervi, antiaritmica se bloccano i canali del cuore o antiepilettica se bloccano i canali nel SNC. Spesso queste azioni possono essere possedute da una stessa molecola, ma più frequentemente si è saputo sfruttare alcune piccole differenze nelle molecole, o una loro diversa localizzazione tissutale, in modo da rendere il farmaco il più specifico possibile.

Nonostante i grandi progressi della biologia molecolare e della farmacologia, bisogna riconoscere che si è ancora molto lontani dal comprendere quale sia la causa delle malattie del SNC; è, quindi, ancora molto lontana la messa a punto di una terapia causale e specifica. Altrettanto vero, però, è che i progressi fin qui fatti permettono, pur se l'approccio non può dirsi ottimale, di alleviare molti sintomi delle malattie nervose e, quindi, di tenerle sotto controllo.

Neuroscienze

Enciclopedia del Novecento III Supplemento (2004)

di Alberto Oliverio, Paolo Del Giudice e Giorgio Parisi

di Alberto Oliverio

NEUROSCIENZE

Basi biologiche dei processi mentali

sommario: 1. Introduzione. 2. Basi biologiche della memoria. 3. Basi neurobiologiche dell'emozione. 4. Motivazione e umore.

1. Introduzione

Da lungo tempo i filosofi si occupano della mente, ma è soltanto da pochi decenni che i neuroscienziati hanno iniziato a studiarne le basi biologiche: attenzione, sensazione, percezione, sonno, memoria, apprendimento, emozione sono alcune delle funzioni cerebrali che vengono analizzate, collegate a circuiti e strutture nervose, interpretate alla luce delle conoscenze via via fornite da una scienza in continuo, rapido sviluppo. Sia pure con qualche approssimazione, potremmo affermare che poco più di cinquant'anni fa la mente e il comportamento umano erano ancora appannaggio della filosofia e della psicologia, mentre si riteneva che la biologia e la medicina fossero in grado di fornire risposte circoscritte esclusivamente alla patologia, ai casi di malattie e lesioni del sistema nervoso. In realtà, l'interesse per i rapporti tra cervello e comportamento risale a molti anni or sono, al momento in cui, alcuni secoli addietro, gli studiosi di anatomia comparata, i naturalisti, gli evoluzionisti, cominciarono a porsi le prime domande sulle radici biologiche del comportamento umano. Sin dalla metà dell'Ottocento, Charles Darwin aveva sostenuto che il cervello umano ha alle sue spalle una lunga storia naturale, e i neurologi avevano rilevato che le lesioni di alcune parti della corteccia cerebrale alterano profondamente il linguaggio, la memoria, il comportamento. Tuttavia, malgrado queste conoscenze e teorie, il cervello restava un continente inesplorato e ignoto ai più e, soprattutto, era opinione comune che la scienza, in particolare la medicina, potesse chiarire alcuni aspetti della patologia, ma non della fisiologia cerebrale. Si ammetteva, ad esempio, che il comportamento potesse disgregarsi a causa di un ictus o della sifilide, ma non si riteneva che la scienza potesse esplorare le caratteristiche della memoria, dell'emozione, del sogno e, più in generale, della mente. Oggi, invece, la situazione è profondamente cambiata: guardiamo alla mente in modo nuovo in quanto le neuroscienze hanno messo a punto varie tecniche e strategie che hanno consentito di inquadrare e conoscere numerosi aspetti dei rapporti tra sistema nervoso e processi mentali, sia dal punto di vista fisiologico che da quello patologico; in particolare, le neuroscienze hanno dato un fondamentale contributo alla conoscenza delle basi biologiche della memoria e dell'apprendimento, ai correlati neurobiologici dell'emozione, ai sistemi implicati nella motivazione e nell'umore. È quindi a questi tre aspetti della mente che verrà dedicata particolare attenzione.

2. Basi biologiche della memoria

Memoria e apprendimento possono essere presi in considerazione a diversi livelli descrittivi: quello neurobiologico, che riguarda le modifiche dei circuiti nervosi determinate dall'esperienza; quello neuropsicologico, che riguarda le strutture cerebrali responsabili della memoria e dell'oblio; e, ovviamente, quello psicologico, legato ai significati, alle connotazioni emotive e alle interpretazioni cognitive del ricordo. La memoria è una delle funzioni nervose più studiate dai neuroscienziati, che ne hanno descritto in modo dettagliato gli eventi molecolari, nonché i fenomeni sinaptici e le alterazioni dei circuiti nervosi sottesi all'acquisizione e al consolidamento del ricordo. La conoscenza di questi meccanismi può apparire ben poco significativa a quanti guardano alla mente come a un vissuto personale, un fatto privato: eppure in diverse situazioni legate a danni e alterazioni della funzione nervosa, l'interpretazione della neuropsicologia - una delle discipline che fanno parte delle neuroscienze - è essenziale per comprendere cosa si verifichi nella nostra mente, come vengano ristrutturati i ricordi, come sopravvenga l'oblio.

La storia delle ricerche sulle basi biologiche della memoria, in particolare quella associativa, è fortemente legata al modello proposto all'inizio degli anni cinquanta del Novecento dal neurofisiologo Donald Hebb (v., 1949), cui si deve la cosiddetta 'ipotesi della doppia traccia': secondo questa ipotesi, un'esperienza modifica l'attività elettrica di un circuito nervoso responsabile di una codificazione a breve termine (cioè della durata di pochi secondi o minuti); a tale codificazione dell'informazione in forma precaria e instabile subentra una codificazione stabile, la memoria a lungo termine (della durata di mesi o anni), che è legata a modifiche durature della struttura dei neuroni o dei circuiti nervosi (consolidamento della memoria). Nell'ipotesi di Hebb, pertanto, i due tipi di memoria fanno capo, rispettivamente, a modifiche funzionali delle sinapsi nervose (memoria a breve termine) e a modifiche strutturali o permanenti a carico sia delle sinapsi che dei neuroni (memoria a lungo termine). Pertanto, la memoria a breve termine sarebbe il risultato di un assemblamento funzionale temporaneo di cellule nervose che stabiliscono connessioni reciproche. Nel caso in cui l'attivazione dell'assemblamento cellulare persista abbastanza a lungo, potrebbe verificarsi un 'processo di crescita' basato sulla produzione di nuove sinapsi, e quindi di nuove connessioni stabili tra neuroni (la memoria a lungo termine). La prima fase della memoria, ancora fragile, dipenderebbe quindi da fenomeni elettrici e circuiti 'riverberanti' (l'informazione circola a lungo in una rete), mentre la seconda fase, robusta e duratura, dipenderebbe dalla stabilizzazione di uno o più circuiti. Ciò implica che i neuroni siano plastici, in grado cioè di andare incontro ad alterazioni della loro funzione o struttura tali da comportare una ristrutturazione delle reti nervose. Questo aspetto della funzione neuronale, postulato in via teorica da Hebb circa mezzo secolo fa, ha ricevuto oggi numerose conferme sperimentali.

Le attuali ricerche sulle basi neurobiologiche della memoria si basano in gran parte sull'analisi delle alterazioni dell'attività elettrica dei neuroni e delle sinapsi, e in particolare del cosiddetto potenziamento a lungo termine (LTP, Long-Term Potentiation) dell'attività elettrica sinaptica. Nel corso dell'LTP, in seguito a uno stimolo che si ripete nel tempo o particolarmente intenso, una sinapsi si porta a un livello superiore di risposta (attività potenziata), cosicché la sua efficienza aumenta fino a due volte e mezzo. Questo incremento dell'attività elettrica sinaptica si sviluppa entro pochi minuti dallo stimolo iniziale e rimane relativamente stabile per lungo tempo, in alcune condizioni per varie settimane. In sostanza, quando uno stimolo di un qualche rilievo viene recepito da un neurone - come avviene nel caso degli stimoli che si susseguono ripetutamente nel corso del processo di assuefazione o di condizionamento - si può verificare un aumento dell'efficienza delle sue sinapsi. Col tempo, si possono formare nuove sinapsi che contribuiscono a connettere tra loro i neuroni in un nuovo circuito, il cosiddetto circuito locale, responsabile della codificazione di una specifica esperienza o memoria. Da un'iniziale alterazione di tipo funzionale (l'attività elettrica legata a modifiche degli ioni, tra cui il calcio) i neuroni vanno così incontro a modifiche di tipo strutturale provocate da alterazioni di alcuni enzimi e dalla sintesi di proteine che alterano il citoscheletro neuronale stimolando la formazione di sinapsi e la loro interconnessione. Le variazioni delle caratteristiche del circuito nervoso permettono così di registrare l'informazione all'interno di reti neurali. La ristrutturazione delle reti determinata da un'esperienza è alla base di una teoria della mente - o del cervello - nota col nome di 'connessionismo'. Secondo questa teoria, la mente dipende dall'esistenza di reti in grado di autoorganizzarsi; ciò avviene in quanto l'attività di ogni unità della rete (nel cervello i neuroni) cambia nel tempo in funzione dell'attività delle unità cui è connessa e della forza di tali connessioni (o nodi). Da questi cambiamenti della rete neurale deriva l'apprendimento. Per i fautori del connessionismo, la rete (o circuito locale) rappresenta la strategia attraverso cui, grazie a variazioni di tipo sinaptico, il cervello si adatta all'ambiente, cioè ne rispecchia le caratteristiche salienti.

Dal punto di vista empirico, il neuroscienziato Erik Kandel e i suoi collaboratori hanno dimostrato (v. Kandel e altri, 1995) che negli Invertebrati (ma anche nei Vertebrati superiori) la registrazione di un'esperienza fa capo ai meccanismi dell'LTP e della formazione di sinapsi. In particolare, quando un neurone viene eccitato, libera il neurotrasmettitore glutammato, il quale modifica l'attività dei recettori NMDA (N-metil-D-aspartato). Lo ione calcio che entra all'interno del neurone postsinaptico attraverso i recettori NMDA attiva una proteinchinasi che può indurre una LTP attraverso modifiche dei recettori postsinaptici AMPA (α -amino-3-idrossi-5-metil-4-isossazolo-propionato), i quali vengono stimolati o prodotti in maggiore quantità. Le proteinchinasi attivano anche proteine e geni che inducono un aumento della sintesi proteica, utile per la formazione di nuove sinapsi e per la stabilizzazione dei circuiti nervosi. Gran parte delle ricerche di Kandel sono state svolte su una lumaca marina, *Aplysia californica*, che reagisce a uno stimolo tattile - un sottile getto

d'acqua - con un comportamento autoprotettivo, cioè ritraendo la branchia. Se però i getti d'acqua continuano con cadenza regolare, l'Aplysia si abitua e la sua risposta resta a lungo nella sua memoria: un solo getto d'acqua è sufficiente, dopo diversi giorni, a indurre il riflesso. Kandel ha notato che il comportamento di assuefazione di Aplysia perdura nel tempo (memoria a lungo termine), in quanto si sono verificati dei cambiamenti a livello dei circuiti nervosi: le sinapsi tra il neurone sensitivo (che reagisce allo stimolo tattile) e quello motorio (che attiva i muscoli della branchia) diventano più stabili e comunicano più facilmente a mezzo dei messaggeri nervosi poiché l'esperienza è stata consolidata. In seguito a questi esperimenti, diverse ricerche su altre specie animali, anche su Mammiferi, hanno indicato che il consolidamento di un'esperienza si basa su meccanismi abbastanza simili.

Gli esperimenti di Kandel hanno dimostrato in modo inequivocabile che la formazione di nuove sinapsi e nuovi circuiti porta a una codificazione dell'esperienza: oltre a questa ristrutturazione di un circuito, l'esperienza deve però causare anche l'eliminazione differenziale di circuiti labili, connessioni multiple in eccesso che vengono perse quando vengono rafforzate quelle che nel circuito locale codificano l'esperienza. Le memorie di tipo cognitivo sono peraltro ben più complesse e ricche di quelle che si riferiscono alla registrazione di stimoli ripetitivi - l'assuefazione - e delle memorie di tipo associativo, in cui uno stimolo è associato a un rinforzo o due stimoli sono associati tra loro. È perciò riduttivo e semplicistico spiegare tutti i tipi di memoria col modello del circuito locale, come sostengono i fautori del connessionismo, e ipotizzare che ogni esperienza sia rigidamente codificata in uno specifico circuito nervoso, stabile e immutabile nel tempo. D'altronde, è la stessa biologia della memoria a indicare come il ricordare non implichi una semplice fotografia o codifica delle esperienze: la memoria, infatti, viene modulata anche da un insieme di altri fattori, in primo luogo l'emozione, che contribuiscono a rafforzare o attenuare i processi di consolidamento. Dal punto di vista biologico, l'emozione comporta numerose modifiche somatiche a livello del sistema vegetativo che non hanno soltanto il compito di informare il cervello delle ripercussioni periferiche dello stato emozionale ('corpo emozionato'), conferendo una coloritura determinante ad alcune esperienze, ma anche quello di influenzare il consolidamento delle esperienze. Ad esempio, sostanze come le endorfine - peptidi che esercitano un'azione analgesica simile a quella della morfina e che vengono liberate dal cervello in risposta a stimoli sia dolorifici che emotivi - alterano la funzione dei mediatori nervosi inducendo in tal modo una modifica dell'attività delle sinapsi nelle reti dei neuroni che registrano le esperienze. L'emozione interviene non solo direttamente sui meccanismi della memoria, agendo sulla biochimica cerebrale, ma anche in modo indiretto, attraverso i messaggi che il 'corpo emozionato' invia al cervello. Ad esempio, James McGaugh (v., 1989) ha notato che negli animali sottoposti a esperienze ricche di componenti emotive la memorizzazione viene potenziata in quanto i nervi (le fibre afferenti del nervo vago) indicano al cervello che a livello periferico sono state liberate delle sostanze tipiche degli stati emotivi (ad esempio l'adrenalina, prodotta dalle ghiandole

surrenali). Si verifica così un processo circolare: quando la mente reagisce a determinate situazioni con un'emozione, il cervello, attraverso i nervi efferenti, agisce sul corpo inducendolo a produrre sostanze (come l'adrenalina) in grado di adattare l'organismo alle situazioni di stress, emozioni comprese. L'adrenalina, a sua volta, stimola dei recettori nervosi i quali, attraverso il nervo vago, inducono il cervello a produrre mediatori nervosi che modulano i processi della memoria. Perciò la biologia della memoria non riguarda soltanto quei fenomeni neurobiologici che assicurano la codificazione a breve o a lungo termine delle esperienze, ma anche la modulazione esercitata dalle strutture nervose e da quelle molecole che vengono prodotte in conseguenza dell'emozione.

Una delle caratteristiche delle memorie è quella di andare incontro all'oblio, evolvere nel tempo, ristrutturarsi ed essere contaminate da altre esperienze e ricordi. Memoria e oblio sono due processi conflittuali e complementari al tempo stesso: se è vero che la memoria è una funzione presente in tutto il regno animale, in quanto conferisce un vantaggio, e che le attribuiamo un valore positivo apparentemente in opposizione al ruolo negativo dell'oblio, è anche vero che se non dimenticassimo, o perlomeno se non fossimo in grado di contrastare precedenti memorie e apprendimenti, non potremmo apprendere nulla di nuovo, correggere i nostri errori, innovare vecchi schemi. I ricordi, inoltre, non sono stabili, ma vengono continuamente ristrutturati. La mutevolezza dei ricordi nel tempo risulta evidente sia dalle ricerche sperimentali che da quelle cliniche. Le prime partono dalle ricerche condotte dallo psicologo Larry R. Squire sull'elettroshock (v. Squire e Zola-Morgan, 1985; v. Squire e Oliverio, 1991), un trattamento ancora usato dagli psichiatri in casi di grave depressione nervosa, che ha un effetto negativo sulla memoria umana e animale. Se esso viene somministrato subito dopo un'esperienza, prima cioè che la memoria a breve termine si consolidi trasformandosi in memoria a lungo termine, si verifica un'amnesia retrograda, viene cioè cancellato il ricordo di quell'esperienza in quanto l'elettroshock disturba i fenomeni elettrici che caratterizzano la memoria a breve termine impedendone il consolidamento. Squire ha però indicato anche che l'elettroshock non agisce soltanto sul processo di consolidamento della memoria, ma anche sulle memorie già consolidate. Ciò contraddice in qualche misura un vecchio dogma degli psicobiologi, i quali ritenevano che, una volta consolidata, la memoria non potesse essere più turbata da trattamenti, come l'elettroshock, che provocano un dissesto dei fenomeni elettrici che sono alla base della memoria a breve termine. Il fatto che l'elettroshock agisca anche a distanza di mesi sia su memorie di tipo associativo che su vere e proprie memorie di tipo cognitivo, cancellando parte dei ricordi già registrati, indica che la memoria è suscettibile di rimaneggiamenti e rielaborazioni. Della mutevolezza dei ricordi nel tempo testimoniano anche le analisi di ricerche di tipo longitudinale basate su resoconti autobiografici raccolti dalla psicologa Margareth Linton (v., 1986) a distanza di 2, 5, 10 anni. Anche in questo caso si nota che la persistenza di alcuni ricordi o esperienze ritenuti fondamentali da una determinata persona, in quanto pietre miliari della sua vita, è tutt'altro che stabile: a distanza di tempo, lo stesso evento viene narrato

in modo diverso, i particolari cambiano, cambia il suo stesso significato, come se la memoria, anziché corrispondere a una precisa fotografia della realtà, fosse un pezzo di plastilina che gradualmente assume una forma diversa.

La complessità della memoria richiede un intricato sistema di strutture e nuclei nervosi che ne codificano i diversi aspetti. Un celebre caso clinico - quello di un paziente noto con le sue iniziali, H. M. - descritto da William Scoville e Brenda Milner (v., 1965) getta luce sulla molteplicità dei sistemi neurobiologici responsabili delle diverse dimensioni della memoria. H. M. soffriva sin dalla nascita di una grave forma di epilessia che rendeva la sua vita molto penosa. Per cercare di eliminare il tessuto cerebrale alterato che causava le convulsioni, egli venne sottoposto a un intervento chirurgico, in seguito al quale la sua capacità di percepire, di ragionare, di parlare, di ricordare gli eventi più recenti rimase normale, e anche la sua memoria semantica fu in parte preservata; risultò invece compromessa la capacità di ricordare gli eventi che si erano verificati prima dell'operazione e, purtroppo, anche quelli immediatamente successivi. L'amnesia di tipo episodico di H. M. era quindi sia retrograda (il passato) che anterograda (le esperienze successive). Il vuoto di memoria non riguardava però l'intero arco della sua vita: gli anni scomparsi erano all'incirca una decina, quelli più recenti, mentre l'amnesia era molto meno grave quando il giovane cercava di rievocare gli anni dell'infanzia o della prima adolescenza. La regione temporale media che era stata asportata dal cervello di H. M. non doveva essere, evidentemente, la sede della memoria, altrimenti accanto al blocco della formazione di nuovi ricordi sarebbero dovuti scomparire anche tutti i ricordi del passato. H. M. conservava invece i ricordi più antichi, quelli consolidati, che la regione temporale media (ippocampo, amigdala e corteccia temporale) distribuisce nelle varie regioni della corteccia cerebrale dopo un periodo di ore, mesi o anche anni durante il quale le esperienze vengono codificate, scomposte in categorie e connotate sulla base del loro significato. Con una metafora si potrebbe attribuire alla corteccia la funzione di archivio dei ricordi, mentre la regione temporale media è l'archivista: iscrive le esperienze, trasformandole da fragili memorie di lavoro in memorie durature e le rielabora per ore, mesi o persino anni, svolgendo un minuzioso lavoro di classificazione, confronto, generalizzazione. Questa parte del cervello è uno snodo essenziale per paragonare tra di loro le esperienze, individuarne le analogie, ristrutturarle in termini di significati. Una volta compiuto questo lungo lavoro, l'archivista dispone di una mappa e possiede la chiave per andare a ricercare nei posti 'giusti' le diverse parti e componenti dei ricordi, le tessere con le quali ricostituire il puzzle della memoria. Se l'archivista è assente, come si è verificato nel caso di H. M., la mappa e le chiavi non sono più disponibili: forse i ricordi sono depositati in qualche parte del cervello, ma sono inaccessibili. Restano invece a disposizione della mente le memorie più antiche, quelle ormai catalogate in forma molto stabile nei circuiti corticali, memorie talmente chiare che balzano alla mente anche senza l'intervento dell'archivista.

In seguito agli studi compiuti su H. M. e sui rapporti tra lobo temporale e memoria, le ricerche in questo settore hanno preso in considerazione le diverse strutture nervose che, se danneggiate, determinano l'amnesia. Questi studi hanno dimostrato che la regione temporale è connessa col sistema limbico (amigdala e ippocampo) e quest'ultimo con il diencefalo (talamo) tramite il fornice: regione temporale, sistema limbico e talamo formano una specie di circuito della memoria di cui, ovviamente, fa parte l'intera corteccia cerebrale, che è connessa con quella temporale. Tutte queste strutture nervose svolgono il loro ruolo nella cosiddetta memoria 'esplicita', che implica il riconoscimento cosciente delle esperienze vissute. Sensazioni o esperienze, per essere trasformate in memorie esplicite, devono passare attraverso una sorta di imbuto, la regione temporale; da questa, passando attraverso l'ippocampo e l'amigdala (in cui vengono connotate per caratteristiche spaziali, emotive, ecc.), devono raggiungere il diencefalo (talamo) dove vengono assemblate e registrate nei circuiti del cervello sotto forma di memorie stabili. È il circuito della memoria 'corteccia temporale-ippocampo-diencefalo' che consente di connettere tra di loro le diverse esperienze della vita quotidiana (sensazioni, immagini mentali, emozioni, valutazioni della realtà) per trasformarle in memoria episodica, in eventi della nostra storia individuale. Queste strutture nervose giocano anche un ruolo nella memoria semantica, quella preposta all'apprendimento di nuovi nomi e vocaboli, alla memorizzazione di numeri di telefono, ecc. Perciò, a seconda della vastità del danno nervoso, per le persone che soffrono di amnesia non esiste soltanto il problema di formare nuovi ricordi dei fatti della vita quotidiana o di accedere a una parte dei ricordi già esistenti, ma anche di apprendere qualcosa di nuovo.

3. Basi neurobiologiche dell'emozione

L'emozione si presenta con un duplice aspetto: da un lato ci appare come un'attività legata a specifiche strutture del cervello, correlata a modifiche chimiche e presente anche in altre specie animali, dall'altro essa è caratterizzata da una fondamentale componente soggettiva. L'emozione, perciò, è un fenomeno mentale difficilmente riconducibile esclusivamente alla sua natura biologica. Secondo alcuni l'emozione dipende da alcune caratteristiche intrinseche del cervello cui noi prestiamo significati, mentre secondo altri le emozioni sono fenomeni legati essenzialmente all'esperienza dell'individuo e, come tali, non sono riducibili alle loro basi biologiche.

Quanti ritengono che l'emozione non abbia che una minima componente biologica, sostengono un concetto enunciato già nel 1939 dal filosofo esistenzialista Jean-Paul Sartre, il quale dubitava che gli stati emotivi più istintuali potessero essere 'naturalizzati', ossia letti in chiave biologica. Quanti invece sostengono la possibilità di naturalizzare le emozioni, adottano una posizione di tipo evolutivo e interpretano l'emozione alla luce del suo significato darwiniano, cioè della sua utilità per l'economia dell'organismo e della sua capacità di

comunicare ad altri individui la presenza di pericoli o di situazioni positive. Secondo quest'ultima posizione, le diverse emozioni sarebbero iscritte nei circuiti del cervello, pronte a entrare in funzione quando l'ambiente, la situazione o l'interpretazione che ne dà la nostra mente ci forniscono degli stimoli che innescano reazioni quasi automatiche, pacchetti di informazione custoditi in alcune strutture cerebrali. A particolari situazioni sarebbero quindi correlate alcune espressioni facciali, risposte ormonali e del sistema nervoso autonomo, le quali sono tutte integrate tra di loro: ad esempio, una situazione di pericolo può scatenare l'emozione della paura, caratterizzata da particolari espressioni facciali e da risposte di fuga o di blocco. Si potrebbe pertanto sostenere che l'emozione non sia altro che uno stato dell'organismo in cui un programma innato scatena una serie di reazioni stereotipate. Alcuni psicologi evolutivi - come Robert Plutchik (v., 1983) - sostengono che le diverse emozioni hanno origine da un ristretto nucleo di emozioni primitive e innate da cui, con l'esperienza, si differenziano altri stati emotivi, positivi o negativi.

Se alcuni aspetti delle emozioni hanno un carattere innato, quali sono le loro basi nervose, da quali meccanismi cerebrali dipendono e dove possono essere localizzati? Una teoria dell'emozione che ha avuto notevole popolarità è quella proposta negli anni settanta da Paul MacLean (v., 1973), ispirata alle teorie di James Papez sul sistema limbico. Secondo MacLean, le strutture più recenti in termini evolutivi, vale a dire la corteccia, sono prevalentemente implicate nelle attività cognitive, mentre le strutture sottocorticali, e in particolare il sistema limbico, sarebbero responsabili di comportamenti specie-specifici (cosiddetti istinti) che sono connotati da una coloritura emotiva, a differenza dei comportamenti più stereotipati, come i riflessi spinali, che sono privi di componenti emotive. MacLean afferma che le attività sottocorticali - governate dal cosiddetto paleoencefalo, o cervello antico in termini evolutivi - sono in buona parte predeterminate, frutto di un lungo processo di selezione naturale che ha fatto sì che le emozioni fossero legate a regole naturali, iscritte nel patrimonio genetico. Tale concezione si è affermata in seguito a una serie di ricerche sperimentali condotte a partire dagli anni trenta del Novecento dal neurofisiologo Walter Rudolf Hess (v., 1947), il quale aveva notato come la stimolazione di alcuni siti dell'ipotalamo - una struttura sottocorticale che, dal punto di vista funzionale, fa parte del sistema limbico - inducesse una serie di reazioni emotive anche violente: ad esempio, nel gatto la stimolazione elettrica dell'ipotalamo ventrale si traduceva in reazioni di rabbia, anche in assenza di un oggetto che potesse scatenarle. Hess definì questo comportamento - caratterizzato da espressioni facciali aggressive, da segni di attivazione del sistema autonomo (erezione dei peli), da posture somatiche tipiche dell'attacco - come "falsa rabbia". Le ricerche di Hess sembravano dunque convalidare l'antica tesi cartesiana secondo cui animali e uomini non sarebbero altro che macchine, sia pure particolari, in quanto alcuni comportamenti, come appunto quelli legati alle emozioni, possono essere scatenati a piacimento attraverso la stimolazione di nuclei e strutture nervose, quali l'ipotalamo o parti del sistema limbico.

Negli ultimi anni i sostenitori di questa tesi hanno trovato ulteriori conferme nei risultati di diversi esperimenti effettuati sul sistema limbico e sul corpo striato, un insieme di centri nervosi coinvolti nell'organizzazione di risposte motorie. Ad esempio, Joseph E. LeDoux (v., 1996) sostiene che nelle risposte di paura vi sia un forte coinvolgimento dell'amigdala, un nucleo del sistema limbico formato da neuroni che in prevalenza utilizzano il neurotrasmettitore noradrenalina. LeDoux ha sottoposto degli animali al cosiddetto fear conditioning (condizionamento alla paura): gli animali ricevono una punizione o devono fronteggiare una situazione ansiogena in un ambiente ben connotato e quindi facilmente riconoscibile che continuerà a suscitare reazioni di paura anche in assenza di punizioni o stimoli ansiogeni, in quanto l'animale ha associato la punizione e l'ansia a quel contesto ambientale. LeDoux ha dimostrato che uno stimolo ansiogeno viene convogliato verso il talamo e da qui verso la corteccia sensoriale (che lo registra nei suoi dettagli) e verso l'ippocampo, una struttura del sistema limbico che gioca un ruolo critico nella memorizzazione di molte esperienze. Queste tre strutture inviano proiezioni nervose verso il nucleo laterale dell'amigdala che, a sua volta, ha connessioni con tre diverse regioni cerebrali, ognuna delle quali è coinvolta in un diverso aspetto dell'emozione: in particolare, l'amigdala stimola l'ipotalamo, che come abbiamo visto è responsabile di diverse risposte somatiche e vegetative tipiche di alcune emozioni. Perciò, emozioni come la paura secondo LeDoux sono gestite da alcuni nuclei nervosi che ne coordinano le diverse componenti (motorie, vegetative, cognitive); esse non originerebbero nella corteccia, sede di gran parte delle esperienze e apprendimenti, bensì nelle strutture sottocorticali e, pur essendo modellate secondo programmi precostituiti e automatismi, conferirebbero una dimensione fondamentale alla nostra mente e alla nostra coscienza. Cartesio, quindi, avrebbe commesso l'errore di sottovalutare la macchina cerebrale, prendendo in considerazione una mente ideale, immateriale, priva di quelle funzioni, come le emozioni, che svolgono invece un ruolo fondamentale nella genesi della mente stessa e della coscienza.

Le teorie che sostengono la naturalizzazione dell'emozione, vale a dire la sua dipendenza da programmi e strutture nervose, hanno trovato un ulteriore supporto nei risultati di alcuni recenti studi di tipo clinico. Ad esempio, Paul Bejjani e collaboratori hanno notato che la stimolazione della sostanza nera può indurre sia espressioni facciali che sensazioni di tristezza (v. Bejjani e altri, 1999). Nel corso di una serie di interventi neurochirurgici finalizzati a contrastare i sintomi del morbo di Parkinson attraverso la stimolazione di alcuni nuclei dei gangli della base (cui appartiene il corpo striato, responsabile delle turbe motorie proprie del Parkinson), questi ricercatori francesi hanno rilevato che in seguito all'accidentale inserimento degli elettrodi nella sostanza nera (anziché nel globo pallido, la cui stimolazione elettrica comporta un beneficio per i pazienti) una paziente manifestava improvvise crisi di tristezza. Le crisi (espressioni facciali tipiche dell'infelicità e dell'afflizione, scoppi di pianto immotivato, sensazioni di profonda melanconia) si verificavano pochi secondi dopo la stimolazione elettrica della sostanza nera e cessavano non appena essa veniva interrotta.

Si direbbe quindi che esista un rapporto di causa ed effetto tra l'attivazione di alcune strutture nervose, da un lato, e la manifestazione motoria e il coinvolgimento emotivo tipico di una particolare emozione, nel caso specifico la tristezza, dall'altro.

Altri studi abbastanza in linea con questa ipotesi indicano che il sentirsi felici, o almeno provare emozioni positive, si accompagna a un'attivazione della corteccia frontale: ad esempio, le ricerche effettuate da Richard J. Davidson attraverso l'uso di tecniche elettroencefalografiche computerizzate o della risonanza magnetica funzionale - che rivela quali strutture cerebrali siano più attive in un particolare momento - parrebbero dimostrare che nei soggetti che contemplano immagini rilassanti o in grado di suscitare emozioni positive vi sia un coinvolgimento della corteccia frontale (v. Davidson e Sutton, 1995). Questi risultati indicherebbero quindi che alcuni stati mentali, nella fattispecie alcune emozioni, possono essere naturalizzati, ossia ricondotti a determinati stati cerebrali e, più in particolare, potrebbero indicare che una specifica emozione dipende dal coinvolgimento di una specifica struttura nervosa che attiva un pacchetto di reazioni motorie e vegetative associate a quella precisa sensazione o esperienza soggettiva. Tuttavia, questo tipo di lettura impone alcune cautele.

Un primo punto da considerare è che nel corso dell'emozione possono aver luogo alcune sequenze motorie anche in assenza di un appropriato contesto cognitivo; si tratta peraltro di frammenti di sequenze che non sono integrati in un'emozione organizzata, come si verifica in situazioni più reali. Ad esempio, i pazienti sottoposti a stimolazione della sostanza nera e che manifestano una maschera facciale triste, o addirittura piangono, non provano un'emozione di tristezza malgrado le loro manifestazioni somatiche, che sono così 'dissociate' rispetto al vissuto. La mente potrebbe essere 'sviata' dai segnali somatici e ritenere che se il corpo si atteggia alla gioia o alla tristezza ci siano motivi per ritenere di vivere una situazione di gioia o tristezza. In tal senso sono indicativi i classici esperimenti effettuati da Paul Ekman e William Friesen (v., 1989) in un contesto neutro, vale a dire in una situazione priva di valenze emotive: in questo caso, il semplice atteggare il volto a un'espressione di gioia o di tristezza può indurre alterazioni somatiche (ritmo cardiaco, attivazione di strutture cerebrali, modifiche della pressione arteriosa) tipiche di quello stato emotivo. La maschera facciale di un'emozione, anche se recitata, implica la tensione o rilassamento dei diversi muscoli: dai muscoli originano segnali che, arrivando al cervello, convincono la mente che il corpo sta vivendo una situazione di gioia o di tristezza. Ciò significa, tra l'altro, che non è soltanto il centro, cioè il cervello-mente, a influenzare la periferia, cioè il corpo e i suoi muscoli, ma che si verifica anche il contrario.

Naturalizzare l'emozione può essere quindi riduttivo, ma lo è anche escludere la componente biologica per guardare all'emozione soltanto in termini fenomenologici. L'intreccio tra natura ed esperienza è d'altronde ben evidente nei disturbi dell'umore: indipendentemente da quali possano essere le cause di uno stato depressivo, della tristezza o dell'ansia, è ben evidente che alcuni farmaci che alterano la chimica del cervello possono

agire anche sugli stati mentali e alterare il vissuto di una persona. Perciò, una teoria dell'emozione che concili le posizioni di tipo istintualista-meccanicistico con quelle più aperte all'esperienza e alle sue connotazioni individuali deve tenere conto sia delle radici biologiche, e quindi delle componenti stereotipate dei diversi stati emotivi, sia delle componenti individuali delle singole esperienze. Le prime - tipicamente le espressioni facciali, le alterazioni umorali e somatiche - sono il risultato di un processo selettivo che ha conferito loro una valenza transculturale: esse dipendono da programmi motori e da componenti vegetative che fanno capo all'ipotalamo, ad alcuni nuclei dell'amigdala e dello striato. Questi schemi motori, memorie che codificano l'espressione delle singole emozioni, sono in gran parte legati ai gangli della base da cui dipendono memorie ed esperienze ricorrenti, cioè alle strutture che codificano programmi che si ripetono nel tempo, come le espressioni stereotipate o le sensazioni di benessere o malessere tipiche della vita emotiva. La seconda componente dell'emozione rimanda invece ai significati dell'esperienza, all'esistenza di schemi e concezioni generali che le conferiscono unitarietà inserendola nell'ambito di un più vasto schema o visione del mondo: tale componente dipende dalla corteccia cerebrale e in particolare da quella frontale. Come avviene per altri aspetti del comportamento, i gangli della base sono implicati nelle situazioni ripetitive e controllano memorie ricorrenti associate a rinforzi, a eventi positivi o negativi; la corteccia frontale entra invece in funzione quando vengono apprese nuove regole ed esperienze, quando viene fatta una valutazione del significato di una nuova realtà, cognitiva o emotiva che essa sia. Un modo più realistico per guardare all'emozione è quindi quello che tiene conto sia dei suoi caratteri adattivi, del suo significato comune alle diverse specie animali, sia dei suoi aspetti fenomenologici.

4. Motivazione e umore

Uno dei temi oggi più studiati dalle neuroscienze riguarda le basi biologiche della motivazione, implicate nelle pulsioni, nel soddisfacimento di alcuni bisogni, nella valutazione della realtà in modo positivo o negativo. Per affrontare questo argomento si può partire dallo studio degli istinti, ossia i comportamenti comuni ai diversi membri di una specie animale che si trasmettono per via ereditaria e non dipendono da forme di apprendimento. Gli studi in questo settore, da quelli condotti dagli etologi sul campo a quelli effettuati dai fisiologi in laboratorio, hanno indicato che alla base degli istinti c'è una pulsione, uno stato interno che deve essere soddisfatto attraverso un 'atto di consumazione' che procura una gratificazione: ad esempio, la pulsione alimentare dipende da uno stato interno legato a un basso livello di glucidi e può essere soddisfatta attraverso un atto di consumazione (il mangiare) che si associa a una sensazione gratificante. In modo simile, la sete dipende da un aumento della concentrazione salina dei liquidi dell'organismo e viene soddisfatta dal bere,

associato anch'esso a una sensazione di rinforzo. La stessa pulsione sessuale dipende prevalentemente da uno stato interno, il livello di ormoni sessuali, e il suo soddisfacimento comporta sensazioni gratificanti.

La ricerca sugli istinti ha consentito di comprendere alcuni aspetti della gratificazione e di delinearne le componenti centrali e periferiche. Ad esempio, nel caso della pulsione alimentare è stato valutato il ruolo dei recettori gustativi, dei recettori che nello stomaco indicano lo stato di distensione dell'organo e dei recettori che a livello cerebrale registrano le variazioni di glucidi circolanti: queste ricerche hanno dimostrato che per soddisfare la fame, cioè per produrre una sensazione gratificante, i recettori periferici esercitano un ruolo secondario rispetto a quelli centrali. Ad esempio, una soluzione di saccarina, dolce ma sprovvista di valore nutritivo, stimola i recettori gustativi ma non fa passare la sensazione di fame, se non momentaneamente; similmente, la distensione delle pareti dello stomaco, ottenuta attraverso l'immissione di sostanze voluminose ma prive di valore alimentare, blocca soltanto per qualche tempo i morsi della fame; al contrario, la somministrazione di zuccheri, anche se effettuata per via gastrica o endovenosa, cioè senza coinvolgimento dei recettori gustativi della bocca, induce una sensazione di sazietà. Tuttavia, malgrado la prevalenza dei fattori centrali - come nel caso della soluzione di zucchero somministrata per fleboclisi -, i fattori periferici esercitano un ruolo non trascurabile, e il gusto è un elemento importante: in che modo valutiamo se un cibo è piacevole e, più in generale, se una determinata situazione è positiva o negativa?

Un primo aspetto da considerare è quello dei meccanismi alla base della gratificazione e delle sensazioni di piacere. Le ricerche sulle basi nervose di tali fenomeni hanno origine dagli esperimenti di James Olds e Paul Milner (v., 1954) sulla cosiddetta 'autostimolazione cerebrale'. Intorno alla metà degli anni cinquanta del Novecento, Olds, uno psicologo comparato che stava studiando le basi biologiche della memoria, ipotizzò che l'apprendimento di una breve esperienza avrebbe potuto migliorare se il cervello dell'animale fosse stato stimolato con una tenuissima corrente elettrica: il processo di memorizzazione comporta infatti delle variazioni della debole attività elettrica dei neuroni, attività che Olds intendeva appunto potenziare attraverso la stimolazione elettrica cerebrale. Nell'esperimento tipico, si faceva percorrere un labirinto a un animale (un ratto) al quale era stato impiantato un elettrodo nel cervello e, una volta che questo aveva trovata la via d'uscita, riceveva una blanda stimolazione elettrica attraverso l'elettrodo. Osservando il comportamento di alcuni animali, Olds notò che questi ricercavano attivamente il luogo in cui avevano ricevuto la stimolazione elettrica cerebrale, come se esso fosse associato a una situazione piacevole, gratificante. Lo scienziato si chiese se questo comportamento non dipendesse dal fatto che egli aveva impiantato l'elettrodo stimolatore in un'area del cervello associata a una sensazione di piacere e per verificare questa ipotesi mise a punto un apparato in cui l'animale premendo una leva attivava un meccanismo che induceva una stimolazione elettrica del cervello. Fu riscontrato che gli animali, dopo aver scoperto l'uso della leva, la premevano sempre più spesso; inoltre, se si impediva agli animali di stimolarsi dopo che essi si erano abituati agli effetti

dell'autostimolazione e successivamente si dava loro la possibilità di farlo nuovamente, le autostimolazioni erano effettuate a un ritmo superiore all'usuale, come se dovessero recuperare quelle perdute.

Studi successivi indicarono che gli effetti gratificanti per l'animale dipendevano dall'attivazione di quello che venne definito 'sistema di ricompensa (o incentivante) cerebrale'. Tale sistema è costituito da un insieme di neuroni localizzati in un'area cerebrale chiamata ponte e nei gangli della base, le cui fibre giungono sino alla corteccia cerebrale. Questi neuroni sono di tipo dopamminergico (utilizzano il trasmettitore dopamina) e possono anche essere attivati da una serie di droghe - come l'amfetamina, la cocaina, la morfina - che inducono sensazioni di piacere o gratificanti. Oggi gli psicobiologi ritengono che numerosi tipi di gratificazione (alimentare, sessuale, da sostanze d'abuso, ecc.) siano mediati dallo stesso sistema di rinforzo, cioè dal sistema dopamminergico.

Un altro aspetto dei sistemi di rinforzo e di valutazione della realtà riguarda la sensazione di benessere e il tono dell'umore dell'individuo. Il sentirsi a proprio agio e soddisfatti, o insoddisfatti e depressi, deriva anche da un complesso bilancio tra lo stato interno e il modo in cui vengono valutati gli eventi che ci riguardano: da questo punto di vista sembra esistere una notevole differenza tra le posizioni della psicologia dinamica e quelle della psicologia o della psichiatria orientate in senso biologico. Le teorie psicanalitiche sostengono infatti che esiste un nesso tra le pulsioni primarie e le gratificazioni - o la mancanza di gratificazioni - infantili (di qui l'importanza delle esperienze precoci, dei rapporti con la madre, ecc.) e le caratteristiche dell'umore di un adulto, la sua maggiore o minore propensione a valutare positivamente o negativamente i vari aspetti della propria esistenza, ecc. La psicologia biologica ritiene invece che il tono dell'umore, ed eventualmente lo stato depressivo di un individuo, siano legati prevalentemente all'efficienza del sistema di rinforzo cerebrale (i neuroni dopamminergici) e alla funzionalità del sistema serotoninergico (neuroni che utilizzano il mediatore nervoso serotonina) cerebrale. A sostegno delle proprie tesi, gli psicologi e psichiatri biologici indicano come il sentirsi felici e/o gratificati dipenda da fattori genetici, come dimostra l'alta correlazione nella valutazione del proprio benessere o disagio umorale riscontrata nelle coppie di gemelli monozigotici, e da fattori neurochimici, come dimostrato dal fatto che i farmaci che agiscono sulle ammine cerebrali (serotonina, dopamina, ecc.) esercitano un effetto antidepressivo. Tuttavia, numerosi neuroscienziati, tra cui lo stesso Kandel (v., 1998), ipotizzano che possa esistere un ponte tra neuroscienze e psicologia dinamica, in quanto l'esperienza potrebbe ristrutturare le reti neurali implicate nei sistemi motivazionali e gli stessi significati dei vissuti individuali.

Nelle diverse situazioni cui abbiamo accennato - dai rinforzi alimentari o sessuali agli stati dell'umore e alla valutazione della realtà - il sistema dopamminergico esercita un ruolo critico non soltanto attraverso i meccanismi di rinforzo, ma anche facendo sì che venga prestata attenzione ad alcuni stimoli piuttosto che ad altri, agendo da filtro sulle diverse componenti della realtà ed 'etichettandola' a seconda delle situazioni.

Questa attenzione selettiva caratterizza, ad esempio, il comportamento delle persone depresse, le quali interpretano molte situazioni in modo negativo anche quando queste sono neutre o potenzialmente positive. I gangli della base non si limitano quindi a governare la motivazione attraverso il meccanismo della gratificazione, ma inoltre filtrano in modo molto raffinato stimoli e input provenienti dal mondo esterno, contribuendo in tal modo a determinare il tipo di realtà con cui un individuo può entrare in contatto. L'azione dei gangli della base, in particolare lo striato e il nucleo accumbens, si esplica attraverso un effetto esercitato sul talamo, la sede alla quale pervengono tutte le informazioni sensoriali. Il talamo, però, non recepisce in modo neutro ogni tipo di stimolo e sensazione: l'incremento del livello di dopamina nello striato, infatti, fa sì che il 'filtro' del talamo si allarghi lasciando passare una maggiore quantità di input. Quest'azione di filtro non riguarda soltanto l'informazione di tipo cognitivo, ma anche altri aspetti del comportamento, dalla motricità all'emozione. Allo striato ventrale giungono infatti informazioni dalla corteccia frontale e dal sistema limbico (cioè da amigdala, ippocampo, corteccia prefrontale ed entorinale) cosicché esso è un crocevia tra funzioni cognitive, motorie e motivazionali. Lo striato ventrale è quindi al centro sia dei comportamenti motivati rivolti verso un fine, sia del trattamento di informazioni relative al contesto, basate su complesse associazioni tra stimoli diversi. Esso ha quindi un ruolo critico nella vita mentale, in quanto contribuisce all'intreccio pressoché inestricabile dei prodotti della coscienza primaria e della coscienza di ordine superiore, legata ai significati fondati sul linguaggio (v. Tagliagambe, 2002).

Se consideriamo i risultati ottenuti nell'ambito dei tre fondamentali capitoli dei processi mentali su cui ci siamo soffermati, memoria, emozione e meccanismi di gratificazione, ci rendiamo conto che l'approccio neuroscientifico (v. Levi Montalcini, 1999; v. Oliverio, 2003) ha consentito di scoprire le basi biologiche di queste funzioni della mente. Le neuroscienze ci rivelano, almeno per il momento, soltanto una componente degli eventi mentali, in quanto minimizzano la loro ricca componente soggettiva, il loro significato. Anche se l'attuale livello di analisi è volutamente riduzionistico e rappresenta solo una delle possibili chiavi di lettura, tuttavia lo studio delle basi biologiche dei processi mentali sta contribuendo a gettare luce su aspetti del comportamento finora ritenuti insondabili, ma che sono essenziali per affrontare un tema, fino a oggi considerato al di fuori di qualsiasi tentativo di lettura in chiave biologica: quello della coscienza (v. Calissano, 2001).

Scienza cognitiva

Enciclopedia Italiana - VI Appendice (2000)

di Antonio Rainone

Scienza cognitiva

Con la locuzione scienza cognitiva, dalla fine degli anni Settanta, si è soliti designare l'insieme delle discipline che hanno per oggetto lo studio dei processi cognitivi umani e artificiali. La definizione comprende anche l'ambito artificiale, in quanto un ruolo centrale nella s. c. è rivestito dalla cosiddetta intelligenza artificiale (v. App. V), le cui ricerche e i cui risultati hanno costituito la spinta propulsiva per il formarsi e il consolidarsi di questo ampio settore interdisciplinare, nel quale si è soliti comprendere, oltre all'intelligenza artificiale (in seguito IA), la psicologia cognitiva, la linguistica e la psicolinguistica, la filosofia della mente e del linguaggio, le neuroscienze e, secondo una prassi ormai consolidata (Gardner 1985; fig. 1), anche l'antropologia, benché l'effettiva appartenenza di quest'ultima alla s. c. rimanga ancora tra i desiderata (Bara 1990). Questa voce è dedicata a delineare i caratteri fondamentali della s. c. - il suo 'paradigma' in senso kuhniano -, con particolare attenzione agli aspetti pertinenti dell'IA, agli sviluppi cognitivisti a questa attigui e al dibattito filosofico-psicologico che ne è stato complemento non secondario. Per gli sviluppi interni alle singole discipline v. le rispettive voci nell'App. V e in questa Appendice.

Origini, metodi e obiettivi della scienza cognitiva

I presupposti storici e teorici per la nascita di una s. c. possono essere individuati già nel celebre test escogitato da A. Turing (1950), il matematico che negli anni Trenta aveva teorizzato una macchina di calcolo universale (macchina di Turing) che sarebbe stata alla base della scienza dei calcolatori; a partire dall'ipotesi dell'impossibilità di distinguere, in circostanze sperimentali opportune, tra le prestazioni cognitive di una macchina e quelle di un essere umano, Turing suggeriva l'affinità, se non proprio l'identità, tra intelligenza umana e IA, ponendo così le basi - sebbene in una forma embrionale ancora viziata dalla visione comportamentista della mente come black box - del futuro orientamento di ricerca, volto a privilegiare lo studio delle operazioni mentali rispetto a quello del loro sostrato biologico, delle funzioni cognitive rispetto alle strutture neurocerebrali. Tale orientamento, pur creando delle difficoltà ai fini dell'auspicata integrazione tra le varie scienze che si occupano dell'intelligenza e le neuroscienze, rappresenta la caratteristica distintiva della s. c., in larga misura influenzata dallo sviluppo della scienza dei calcolatori, dall'informatica e dal modello computazionale della mente retrostante all'IA.

D'altra parte, sin dagli anni Quaranta erano stati proposti programmi di ricerca, rientranti nella cibernetica o a questa contigui, caratterizzati da una maggiore integrazione tra studio della mente e studio delle attività

neurocerebrali, basati sull'idea di una sostanziale analogia tra il funzionamento del cervello e quello delle macchine: oltre al celebre articolo di A. Rosenblueth, N. Wiener e J. Bigelow (1943), in cui si interpretava il comportamento finalizzato in termini di retroazione negativa, va ricordata l'ipotesi di K.J. Craik (1943) secondo cui il pensiero consiste in processi di modellizzazione simbolico-rappresentativa di aspetti della realtà, realizzati dall'attività neurocerebrale e paragonabili, in linea di principio, a quelli di macchine come i puntatori anti-aereo e il previsore delle maree di Kelvin; e, ancora, l'esplicita assimilazione, compiuta dal neurologo W.S. McCulloch e dal matematico W.H. Pitts (1943), delle attività neurali del cervello alle operazioni di una macchina di calcolo operante secondo le regole logiche dell'algebra booleana. Analogie tra cervello e calcolatore, anche se in forma alquanto cauta, sarebbero state poi delineate da J. Von Neumann (1958), il fondatore della scienza dei calcolatori. I programmi di ricerca basati su tali analogie, benché ancora perseguiti sino agli anni Sessanta, si dimostrarono tuttavia minoritari e furono soppiantati dal più promettente programma dell'IA, interessato non alla simulazione delle attività neurocerebrali ma a quella dei processi mentali (v. mente: Neuroscienze e modelli della mente, App. V; per un'articolata ricostruzione storica cfr. Cordeschi 1996 e 1998). Solo di recente, con il cosiddetto connessionismo, si è ritornati a prendere in considerazione l'ipotesi di una simulazione computazionale delle attività neurali ai fini della comprensione di quelle cognitive (v. oltre).

Un'altra fonte storica da cui ha preso l'avvio la costituzione della s. c. è naturalmente la reazione al comportamentismo rappresentata dalla nascita della psicologia cognitiva (v. App. V; v. anche psicologia, in questa Appendice), la quale, basata sul paradigma della mente come sistema di elaborazione di informazioni (human information processing) e largamente influenzata dalla ricerca di IA e dalla computer science, si caratterizza principalmente per il ripristino, all'interno della ricerca psicologica sperimentale, di quelle nozioni e di quei processi di tipo mentalistico (rappresentazioni e categorizzazioni mentali, schemi cognitivi, motivazioni, scopi, processi inferenziali e decisionali) che il comportamentismo aveva totalmente espunto dall'ambito della ricerca psicologica in quanto privi di legittimità empirica. Si aggiunga infine l'enorme impatto delle teorie linguistiche di N. Chomsky, che, sfociando in ambito psicolinguistico, avevano ipotizzato l'esistenza di autentiche capacità mentali innate, in ultima analisi di origine biologica, sviluppate e affinate nel rapporto con l'ambiente, a fondamento dell'apprendimento e della competenza linguistici (v. grammatica generativa, App. IV e V).

Benché le ricerche che convergono nell'ambito della s. c. avessero raggiunto una loro maturità già tra gli anni Sessanta e gli anni Settanta, la data di nascita ufficiale della s. c. è il 1978, anno in cui si tenne a La Jolla (California) un convegno organizzato dalla Cognitive Science Society (che dal 1977, grazie ai finanziamenti

della Alfred Sloan Foundation, pubblicava la rivista *Cognitive science*). Al convegno parteciparono ricercatori di IA, psicologi, linguisti, neuroscienziati e filosofi, accomunati dall'idea di conseguire una sempre maggiore interdisciplinarietà tra i vari ambiti d'indagine che hanno per oggetto la mente umana, con l'obiettivo di dar vita a un programma di ricerca sulle attività cognitive che risultasse ampiamente integrato pur nei suoi molteplici livelli di indagine e sperimentazione.

Caratteristica centrale della s. c. è la tesi che le attività cognitive umane - più o meno le stesse investigate per secoli dalla tradizionale teoria della conoscenza - siano concepibili nei termini di un sistema di "rappresentazioni mentali" che, imponendo "un livello di analisi del tutto separato da quello biologico o neurologico da un lato e da quello sociologico o culturale dall'altro", trova nell'elaboratore elettronico il modello privilegiato "del modo in cui funziona la mente umana" (Gardner 1985; trad. it. 1988, p. 18). In certa misura, la s. c. costituisce lo sviluppo, su basi scientifiche e tecnologiche, della vecchia idea di Hobbes che il ragionamento non consista in altro che calcolo (Mind design, 1981; trad. it. 1989, p. 7). Sebbene la simulazione al calcolatore e la concezione computazionale della mente e dei processi cognitivi costituiscano i presupposti metodologici della nuova scienza, non sempre esiste accordo sui modi specifici e sulla validità generale della metodologia simulativa. L'analogia tra mente e calcolatore, o meglio, tra mente e programmi eseguiti da calcolatori, costituisce in ogni caso il nucleo concettuale dell'IA, tanto da avere spinto alcuni dei suoi maggiori teorici (H.A. Simon, A. Newell, M.L. Minsky, J. McCarthy) a parlare di una vera e propria identità tra software implementati su calcolatori e processi cognitivi umani, indipendentemente dalle differenze tra i loro rispettivi sostrati materiali (hardware e cervello), con la conseguenza di concepire l'attività cognitiva come consistente in null'altro che nella manipolazione e trasformazione di rappresentazioni simboliche tramite procedure algoritmiche, esattamente come accade nei calcolatori forniti di programmi in grado di dimostrare teoremi logici e matematici, giocare a scacchi o elaborare strategie di ottimizzazione nei processi decisionali.

Modelli computazionali, rappresentazioni e intelligenza umana

Sulla base dell'idea che l'attività cognitiva umana consista essenzialmente nell'elaborazione di un certo insieme di informazioni, le ricerche della s. c. sono state principalmente volte a costruire modelli di elaborazione dell'informazione che siano sperimentalmente controllabili (si pensi ai numerosi e articolati modelli di memoria: v. memoria, in questa Appendice). L'enorme sviluppo della scienza dei calcolatori ha reso praticabile l'implementazione su software di modelli computazionali da confrontare con le operazioni cognitive effettivamente realizzate dagli esseri umani, al fine di verificarne l'adeguatezza empirica ed

eventualmente correggerli sulla base di tale confronto. Il punto di partenza di questo percorso è costituito dalla scrupolosa osservazione del modo in cui si suppone ragionino, o eseguano particolari compiti cognitivi, soggetti umani in condizioni opportunamente selezionate, così da determinare i vincoli da porre alla costruzione dei modelli cognitivi ipotizzabili e all'elaborazione dei programmi da implementare (Newell, Simon 1976; Bara 1990). Questa metodologia empirica ha naturalmente costituito un notevole elemento propulsivo nell'elaborazione di realistici modelli computazionali in grado di rappresentare adeguatamente la specificità dei processi cognitivi umani, che non sempre sono riconducibili alle regole formulate in sede di teoria logica. Per es., benché la logica matematica così come fu sistematizzata, tra la fine del 19° secolo e l'inizio del 20°, da G. Frege, B. Russell e A. Whitehead abbia fornito senz'altro modelli inferenziali di grande stimolo, non solo per l'epistemologia neopositivistica ma anche per la nascita dell'IA, è dubbio che il ragionamento umano, almeno nelle situazioni più comuni, si conformi ai canoni normativi della logica classica (proposizionale e predicativa); anzi, sotto molti aspetti esso si rivela più flessibile e insieme più complesso di quanto non lasci supporre la logica classica, caratterizzato com'è da inferenze basate su generalizzazioni parziali, su condizionali controfattuali, su informazioni incomplete e ambigue, su conoscenze di sfondo non esplicitate (Johnson-Laird 1988). Si comprende, quindi, come i tentativi di descrivere in forma adeguata gli effettivi processi del ragionamento umano abbiano dato luogo a ricerche volte a individuare principi riconducibili a logiche che si discostano per rilevanti aspetti dalla logica classica. Tra queste, particolare interesse ha suscitato la logica non monotona, che intende fornire una formalizzazione del cosiddetto ragionamento per default, cioè quel ragionamento del senso comune (e del discorso etico o giuridico) nel quale - in contrasto con quello formalizzato dalla logica classica, di tipo monotono - molte inferenze accettate implicitamente possono essere nondimeno rifiutate qualora si rivelino in conflitto con specifiche informazioni contestuali o addizionali che ne limitano la validità, per cui, nonostante la verità delle premesse $\forall x (Ax \rightarrow Bx)$ e Aa , in presenza di particolari circostanze può essere rifiutata la conclusione Ba e, quindi, la validità incondizionata della regola logica del modus ponens (McDermott, Doyle 1980; per una presentazione delle caratteristiche generali di tale logica v. Bara 1990, Cordeschi 1996). Ne consegue che, nell'ampio spettro di ricerche compiute nell'ambito dell'IA, effettivamente rilevanti per la s. c. sono quelle che mirano a simulare i reali processi cognitivi umani, piuttosto che quelle cui si volgeva l'IA degli anni Cinquanta (dimostrazione di teoremi logici e matematici, automazione del gioco degli scacchi e della dama) o quelle che hanno dato origine all'implementazione dei cosiddetti sistemi esperti, cioè programmi che consentono di ottimizzare i metodi e i risultati delle più sofisticate prestazioni scientifiche e tecnologiche, quali predizioni economiche, decision-making, analisi di strutture chimiche e fisiche, diagnosi mediche ecc. Una parte non esigua dell'IA ha del resto dedicato sempre maggiore attenzione alla realizzazione dell'obiettivo, paradossalmente ma comprensibilmente più difficile, di fornire un resoconto realistico delle prestazioni

cognitive umane, intrecciandosi così fortemente con le ricerche parallele nella psicologia cognitiva. In tale prospettiva si colloca una vasta serie di ricerche - di cui saranno qui delineati i contributi più importanti - volte a simulare in forma computazionale l'attività di risoluzione di problemi, quella di rappresentazione mentale alla base della comprensione e della conoscenza e quella soggiacente alle procedure inferenziali.

All'analisi della risoluzione di problemi hanno contribuito in modo determinante A. Newell e H.A. Simon, il cui monumentale lavoro sul problem solving (1972) - coronamento di un ventennio di ricerche dedicate alla modellizzazione computazionale di aspetti fondamentali della razionalità umana - è tuttora tra i risultati più importanti e più prolifici di sviluppi della scienza cognitiva. Sulla base di dati empirici costituiti dai "protocolli" di soggetti che eseguivano le operazioni di risoluzione ad alta voce, Newell e Simon hanno cercato di fornire una descrizione del modo in cui le informazioni pertinenti alla soluzione di un problema - non solo logico, matematico e scacchistico, ma anche del tipo suscitato dalle più comuni decisioni e pianificazioni, secondo il progetto del programma computazionale GPS (General Problem Solver) - vengono via via recuperate dalla memoria a lungo termine e utilizzate nella soluzione dei vari sottoproblemi in cui viene scomposto il problema di partenza, così da pervenire da uno stato iniziale a uno stato finale (stato-meta) che è la soluzione o l'obiettivo perseguito. Di cruciale importanza, nell'analisi proposta, è la ricerca euristica, ossia quel tipo di ricerca che, nella struttura ad albero con cui possono essere rappresentate graficamente le innumerevoli alternative possibili (ramificazioni) in cui si espande lo "spazio del problema" e attraverso cui può procedere il solutore, mira a selezionare solo un sottoinsieme di tali ramificazioni: un sistema (artificiale o umano) davvero intelligente evita infatti l'esplosione "esponenziale" o "combinatoria" della ricerca, cioè l'esplorazione di tutte le ramificazioni generabili al fine di trovare, per tentativi ed errori o per pura ricerca esaustiva, quella che conduce alla soluzione giusta; piuttosto, sulla base delle informazioni di cui dispone, esso seleziona ed esplora soltanto le ramificazioni più pertinenti e "promettenti" per il conseguimento di soluzioni parziali, ciascuna delle quali costituisce un mezzo per quella successiva, fino al conseguimento dell'obiettivo desiderato.

Applicato successivamente da Simon (1977) anche ai processi di elaborazione, selezione e controllo delle ipotesi scientifiche, il programma di Newell e Simon - nonostante l'obiettivo di fornire per suo tramite una simulazione sufficientemente generale dell'attività di problem solving, tale da ricomprendere anche il modo in cui solitamente gli esseri umani risolvono i problemi della vita quotidiana - trova il suo limite nella specializzazione a risolvere problemi di tipo "strutturato" (come, appunto, quelli di criptoaritmetica, logica e scacchi), cioè chiaramente definiti sul piano delle regole e dei vincoli da rispettare, delle soluzioni da raggiungere e degli ambiti entro cui si sviluppa la ricerca euristica. Esso si è rivelato pertanto non sempre del

tutto adeguato come descrizione dell'attività di risoluzione dei problemi e dei processi decisionali operanti nelle comuni situazioni umane, caratterizzati dall'uso di conoscenze di sfondo spesso implicite, dipendenza dai diversi contesti, difficoltà di reperire strategie euristiche ottimali, aleatorietà di risultati.

Proprio l'esigenza di rendere conto dei più comuni processi cognitivi è alla base di alcuni dei maggiori risultati della s. c., come la teoria delle reti semantiche di M.R. Quillian (1968), sistemi di rappresentazione delle interconnessioni dei concetti e dei significati, la teoria dei prototipi di E. Rosch (v. significato: *Linguistica*, App. V) e soprattutto la teoria dei frames di M.L. Minsky.

A quest'ultimo si devono innanzitutto radicali obiezioni agli approcci 'logicisti' alla cognizione, cioè le ricostruzioni nei termini della logica classica delle caratteristiche del ragionamento e della conoscenza umani. Tra i maggiori teorici di un'IA autenticamente descrittiva delle capacità cognitive umane, Minsky ha rivolto particolare attenzione alle caratteristiche del pensiero di senso comune, al suo essere tipicamente influenzato dalle conoscenze implicite e dai contesti, alla sua flessibilità nell'adattarsi a situazioni impreviste e alla non-monotonicità del ragionamento umano, fornendo contributi rivelatisi di grande efficacia non solo per la ricerca in IA, ma anche per quella più strettamente cognitivista. A tale proposito può essere ricordato come lo stesso U. Neisser (1976) abbia rilevato delle convergenze tra la prospettiva di Minsky e il proprio approccio "ecologico" al cognitivismo, ossia l'approccio che, segnalando i limiti delle ricerche basate su artificiali situazioni di laboratorio, privilegia lo studio dell'attività cognitiva negli ambienti e nei contesti in cui essa si forma e si esplica. Nel celebre lavoro sulla nozione di frame, Minsky, evitando deliberatamente di tracciare "una linea di confine fra una teoria del pensiero umano e uno schema per costruire una macchina intelligente" (Minsky 1975; trad. it. 1989, p. 110), delineava un modello, implementabile mediante opportune procedure computazionali, in grado di rappresentare adeguatamente alcune fondamentali prestazioni cognitive umane, come comprendere o riconoscere eventi e situazioni dell'esperienza quotidiana e compiere le giuste inferenze e previsioni riguardanti un contesto dato e i discorsi a esso relativi. Un frame - nozione di cui Minsky individua le ascendenze negli "schemi" di F.C. Bartlett e nei "paradigmi" di Th.S. Kuhn - è una struttura-dati esistente in memoria, una "rappresentazione algoritmica di un contesto" (Hofstadter 1979; trad. it. 1984, p. 697). Insieme di conoscenze implicite con cui vengono rappresentate situazioni o eventi stereotipi - come, per es., una tipica festa di compleanno, una tipica stanza di soggiorno -, i frames possono essere concepiti come costituiti da livelli superiori, che rappresentano gli aspetti invarianti di una certa situazione (per es., ogni soggiorno è una stanza con soffitto, pavimento, pareti), e livelli inferiori o terminali (slots) provvisti di valori (default values) assegnati implicitamente, per difetto appunto, in assenza di specifici dati relativi alla situazione rappresentata (per es., uno o più divani e quadri alle pareti nel caso del soggiorno); i

valori di default (essi stessi frames inferiori o subframes; fig. 2) possono tuttavia essere rimpiazzati da altri, allorché occorrenze di specifici dettagli della situazione esperita non si conformino alle aspettative indotte dal frame (per es., la presenza di poltrone anziché divani e di librerie invece che quadri in un soggiorno). I frames (fig. 2) costituiscono così insiemi di aspettative e presupposizioni (attivati da opportune esperienze percettive come la visione di un ambiente, la lettura di un testo, la narrazione di una serie di eventi) che possono essere soddisfatte o deluse: il veloce recupero dalla memoria a lungo termine dei frames pertinenti, la capacità di attivare più frames e subframes per comprendere situazioni particolarmente complesse (per es., una festa di compleanno in una stanza di soggiorno al cui interno è presente uno studio con biblioteca), di trovare plausibili giustificazioni per le situazioni non corrispondenti alle aspettative dei frames attivati o di integrare, modificare e sostituire quelli che non si adattano alle situazioni esperite, costituiscono in larga misura caratteristiche tipiche dell'intelligenza e della comprensione umane, di cui si deve tener conto nella realizzazione di programmi che intendano adeguatamente simularle. La grande flessibilità della nozione di frame è dimostrata inoltre dal fatto che a tale sistema di informazioni, rappresentazioni e aspettative sono associati processi di problem solving relativi alle decisioni e alle azioni pertinenti in una data situazione: per es., al frame di una festa di compleanno possono essere associati, per default, i problemi di comprare un regalo, quale oggetto comprare, dove, di che valore, se sarà gradito ecc.

Un ulteriore sviluppo della frame theory si deve a R.C. Schank e R.P. Abelson (1977), che hanno ampliato con la nozione di script quella di frame, fino a ricomprendervi sequenze di azioni tipiche in situazioni tipiche: scopo di uno script è rappresentare in forma algoritmica, in modo da fornire istruzioni pertinenti a un calcolatore, l'insieme delle conoscenze implicite e delle aspettative che si suppone permettano a un essere umano di comprendere, compiendo le corrette inferenze, sequenze di eventi che sono ricostruibili da narrazioni coerenti (per es., andare al ristorante, chiamare il cameriere, ordinare ecc.).

Nell'ambito della psicologia cognitiva più vicina all'IA, tra le ricerche miranti a fornire un'adeguata descrizione dei processi rappresentazionali che sono alla base della cognizione e della competenza deduttiva, un particolare rilievo ha assunto la nozione di modello mentale. A partire dalle intuizioni di K.J. Craik (1943), tale nozione è stata particolarmente elaborata da Ph.N. Johnson-Laird (1983). Un modello mentale è una rappresentazione 'interna' in forma analogica di oggetti, stati di cose e sequenze di eventi; esso può essere pensato come una sorta di immagine - provvista di un certo grado di arbitrarietà e variabilità - di una situazione percepita visivamente o descritta linguisticamente, benché il ricorso alle immagini non sia strettamente necessario: per es., il modello mentale di tre oggetti percepiti visivamente ne replicherebbe isomorficamente la disposizione spaziale, se è questa la caratteristica percettivamente saliente, tralasciando

altri aspetti ritenuti non pertinenti. Johnson-Laird parla di una "corrispondenza strutturale" tra il modello mentale e la configurazione fisica di cui esso costituisce appunto un modello. Ciò che contraddistingue un modello mentale non è, in ogni caso, la sua specifica realizzazione psicologica o fisica, ma il suo ruolo funzionale, ossia l'insieme delle operazioni che esso svolge nella conoscenza, nei processi inferenziali e nell'esecuzione di azioni. Da questo punto di vista le caratteristiche principali di un modello possono essere replicate in un "automa craikiano" (Johnson-Laird 1983; trad. it. 1988, pp. 595-96), un robot provvisto di un arbitrario dispositivo che ne regola gli output comportamentali sulla base di input che gli forniscono informazioni appropriate sull'ambiente esterno e che svolgono funzioni di rappresentazioni simboliche (si pensi, per es., a un dispositivo che registri analogicamente il percorso, le posizioni del robot nell'ambiente e gli ostacoli in questo presenti, innescando un meccanismo di arresto o di allarme ogniqualvolta il robot incontra un ostacolo). Di là dal problema riguardante la reale natura dei modelli mentali (che è compito delle neuroscienze investigare), questi vengono trattati da Johnson-Laird come "entità teoriche" provviste di riscontro sperimentale e sottoposte al vincolo fondamentale dell'implementabilità su calcolatore.

La nozione di modello mentale è stata utilizzata da Johnson-Laird in particolare nell'analisi psicologica delle inferenze sillogistiche, dove sembra aver conseguito le migliori conferme sperimentali. La competenza inferenziale umana non è basata, secondo Johnson-Laird, sull'applicazione di una "logica mentale" a simboli proposizionali - ossia (come, per es., nell'epistemologia genetica di J. Piaget) di quelle regole e procedure formali o sintattiche codificate dalla logica classica -, quanto piuttosto sulla costruzione di modelli provvisti di contenuto semantico. Così, il primo passo per l'inferenza sillogistica sarebbe costituito dalla costruzione di un modello mentale tramite cui viene rappresentata una situazione tipica descritta dalle premesse; il secondo consisterebbe nella formulazione di una provvisoria conclusione informativa (implicita nelle premesse), che risulti vera nella situazione rappresentata, mentre il terzo e ultimo passo consisterebbe nella ricerca di un controesempio, di un modello alternativo delle premesse in grado di falsificare la conclusione raggiunta: se è possibile costruire un tale modello di situazione alternativa, la conclusione va rivista, altrimenti è valida. Dal momento che l'abilità inferenziale dipende dalla capacità di concepire modelli delle situazioni descritte, e spesso modelli di elevata complessità e di numero elevato, le difficoltà incontrate dalla memoria operativa nel gestire contemporaneamente tali modelli spiegano ampiamente gli errori che gli esseri umani commettono nelle deduzioni sillogistiche più interessanti e complesse.

I modelli mentali sono stati inoltre proficuamente utilizzati da Johnson-Laird per delineare i meccanismi di acquisizione della conoscenza (quella percettiva in particolare) e nell'analisi della comprensione linguistica e della competenza semantica in genere, con particolare attenzione alle basi cognitive del significato e dei

cosiddetti atteggiamenti proposizionali (credere, sapere, sperare ecc.), il che pone il suo contributo anche in quella sotto-area della s. c. nota come semantica cognitiva (Marconi 1992).

Tra le altre indagini tipiche della s. c. possiamo qui ricordare quelle sulla percezione e quelle sulle immagini mentali. Alle prime ha contribuito in modo decisivo D. Marr (1982), neurofisiologo dedicatosi all'elaborazione di modelli artificiali della percezione visiva. Da segnalare, nell'approccio all'IA di Marr (poi proseguito da T. Poggio), è la convinzione che, pur essendo la neurofisiologia insufficiente da sola a permettere una completa spiegazione della percezione visiva (e di altri processi cognitivi), ogni indagine ed elaborazione computazionale dovrebbero sempre osservare i vincoli posti dalle conoscenze relative all'hardware neurofisiologico, vincoli spesso trascurati dall'IA classica (Cordeschi 1996).

Il problema delle immagini mentali, tipico della psicologia ottocentesca e dotato di una lunga storia filosofica, era stato messo definitivamente da parte dai comportamentisti. Esso è risorto negli anni Settanta nell'ambito della s. c. grazie ad A. Paivio (1971), R.N. Shepard (1978) e soprattutto S.M. Kosslyn (1980). A quest'ultimo si deve non solo un'articolata trattazione teorica basata su un'ampia serie di dati sperimentali sulle immagini mentali e sulle capacità mentali che i soggetti hanno di sottoporle a trasformazioni (per es., rotazioni) e di ragionare tramite il ricorso a tali informazioni prive di struttura proposizionale, ma anche l'elaborazione di sofisticati modelli computazionali. Il dibattito seguito a questi contributi è stato particolarmente vivace, dato che essi tendono a ridimensionare il paradigma simbolico-proposizionale che informa gran parte della s. c., la tesi cioè che l'elaborazione dell'informazione avvenga tipicamente, in analogia con gli elaboratori digitali, su rappresentazioni simboliche di forma proposizionale. Le difese di tale paradigma sono state prese soprattutto da Z.W. Pylyshyn (1984), secondo cui le immagini mentali sono soltanto epifenomeni dell'attività cognitiva basata sulla memorizzazione e la manipolazione inferenziale di simboli dalla struttura proposizionale. A Johnson-Laird (1983) si deve d'altra parte la distinzione di tre tipi di rappresentazioni, tutti forniti di evidenza sperimentale: modelli mentali, rappresentazioni proposizionali e immagini (queste ultime concepite come una sottoclasse dei modelli mentali).

Scienza cognitiva, paradigma computazionale e controversie epistemologiche

L'analogia funzionale tra mente e software per calcolatori ha avuto un enorme impatto sulla riflessione filosofica contemporanea, soprattutto di orientamento analitico, almeno a partire dai primi anni Sessanta, contribuendo a determinare un notevole cambiamento della prospettiva ontologica materialista-riduzionista che sino ad allora aveva in larga misura dominato il dibattito sul rapporto mente-cervello. Filosofi della mente

come H. Putnam (1960) e J.A. Fodor (1968) sono stati tra i primi a rilevare l'unilateralità della cosiddetta type-identity theory di origine neopositivistica - implicante un'identità stretta tra proprietà mentali e proprietà neurocerebrali - proprio a partire dai brillanti risultati dell'IA, che sembravano accordarsi con una più debole token-identity theory, nota anche come tesi della realizzabilità multipla degli stati mentali e dei processi cognitivi. Secondo quest'ultima l'attività intelligente non è una caratteristica esclusiva del cervello umano ma di sostrati materiali che, pur essendo di diversa natura fisico-chimica, possono nondimeno espletare le medesime funzioni. Le funzioni mentali sarebbero così un software (un insieme di istruzioni e procedure algoritmiche) realizzabile su diversi hardware oltre che su quel particolare hardware che è il cervello. Queste considerazioni - che in consonanza con il cognitivismo hanno aperto la strada a un nuovo genere di mentalismo non dualistico (Mind design, 1981, trad. it. 1989, p. 11; Gardner 1985, trad. it. 1988, p. 98) il cui oggetto di studio è l'attività intelligente considerata in se stessa - rappresentano il nucleo della concezione della mente nota come funzionalismo, che è possibile in qualche modo considerare come la filosofia della s. c. (v. anche mente: Il problema mente-corpo e la filosofia della mente, App. V; coscienza, in questa Appendice).

La riflessione filosofica e lo stesso funzionalismo sono comunque più variegati e complessi di quanto possa lasciar supporre la popolarità di cui hanno goduto queste idee. Particolare interesse ha, per es., suscitato la filosofia della mente di D.C. Dennett (1987, 1996), in cui confluiscono suggestioni di varia provenienza, dalla cibernetica all'IA al cognitivismo, dall'evoluzionismo ai risultati delle neuroscienze. A Dennett si deve il tentativo di caratterizzare la sfera cognitiva in almeno due livelli: un livello interpretativo mentalistico, applicato per lo più sul piano del comportamento molare di un sistema e basato sull'"atteggiamento intenzionale" (intentional stance), con cui esseri umani, animali e artefatti (per es. termostati e calcolatori opportunamente programmati per giocare a scacchi o compiere altre attività intelligenti) vengono trattati, a fini esplicativi e predittivi, come se fossero entità provviste di scopi, credenze e razionalità; e un livello esplicativo basato sull'"atteggiamento progettuale", con cui i medesimi sistemi vengono analizzati, funzionalmente e strutturalmente, nei termini delle entità e attività molecolari che li costituiscono (l'hardware, i vari input e output elettrici e il software nel caso dei calcolatori, la struttura neurale e le sue attività nel caso degli esseri viventi). A questo secondo livello ogni ontologia e metodologia di tipo intenzionale (basata su credenze, desideri e assunzioni di razionalità) lascerebbe il posto a meccanismi causali e sistemi di controllo inconsapevoli del tutto privi delle caratteristiche teleologico-mentalistiche postulate dalla folk psychology (v. anche intenzionalità e coscienza, in questa Appendice). Le operazioni di tali meccanismi e sistemi di controllo, svolte negli esseri umani da innumerevoli e simultanee attività neurali, sarebbero per Dennett il prodotto (filogenetico e ontogenetico) di modificazioni plastiche del cervello dovute all'evoluzione biologica (nella versione dello zoologo R. Dawkins sottoscritta da Dennett) e presenterebbero caratteristiche

paragonabili, in linea di principio, a quelle di un calcolatore a elaborazione parallela, di tipo diverso, quindi, dai calcolatori digitali di Von Neumann ad architettura seriale (v. elaboratori elettronici, App. V) che hanno costituito il modello dell'IA classica, i calcolatori caratterizzati cioè da operazioni che, per quanto velocemente, vengono eseguite l'una dopo l'altra (in Dennett 1991, dove questa idea viene articolata soprattutto per fornire una plausibile teoria della coscienza, si parla del cervello come di una macchina ad architettura parallela provvista di un software biologico che simula le operazioni di una macchina ad architettura seriale).

Se Dennett ha caratterizzato esplicitamente la propria prospettiva come "interpretazionista", nel senso di non supporre l'esistenza reale delle entità mentali (rappresentazioni) postulate dalle spiegazioni psicologiche cognitive e di senso comune (il che, come viene spesso notato, comporta una forma di strumentalismo), un esplicito realismo circa le rappresentazioni simboliche (o i "simboli fisici", secondo l'espressione di Newell e Simon) su cui opererebbero i processi cognitivi è alla base dell'identificazione tra mente e opportuni software di calcolatori. Tipica di certa IA e delle cosiddette teorie computazionali della mente a essa ispirate, tale identificazione è, per es., alla base delle discusse teorie di Fodor (1975, 1987) sul "linguaggio del pensiero" innato (il "mentalese"), secondo cui i processi cognitivi opererebbero attraverso manipolazioni inferenziali di simboli dalla struttura proposizionale che, in qualche modo, sarebbero realizzati fisicamente nel cervello.

Le pretese eccessive del modello computazionale della mente - nelle versioni speculari per cui, da un lato, i processi cognitivi umani non consistono che in attività computazionali, dall'altro, i calcolatori possiedono effettivamente proprietà psicologiche e mentali - sono state segnalate in particolare da J.R. Searle (1980, 1984, 1997) e prima ancora da H.L. Dreyfus (1972). Quest'ultimo, in una prospettiva fenomenologico-ermeneutica e wittgensteiniana, aveva segnalato i limiti del programma dell'IA sulla base del costitutivo radicamento dell'esperienza umana da un lato nella corporeità, dall'altro in contesti culturali che sono alla base di pratiche, conoscenze implicite, attività cognitive e di comprensione le cui caratteristiche non possono essere riprodotte in modo algoritmico e formalizzato da nessun programma per calcolatore (si noti, comunque, come sia stata proprio l'esigenza di dare una plausibile soluzione a questo tipo di problemi semantici e pragmatici a motivare la frame theory di Minsky). Searle ha d'altro canto sottolineato l'implausibilità di quella che considera la concezione "forte" dell'IA in quanto contrapposta a quella "debole": mentre per la prima i programmi computazionali implementabili su calcolatori digitali costituirebbero non solo una simulazione, ma una vera e propria riproduzione dei processi cognitivi umani, per l'altra essi non sono che strumenti tecnologici in grado di formulare e verificare ipotesi e modelli relativi ai processi cognitivi, senza che ciò implichi in alcun modo che l'intelligenza naturale possa essere identificata con programmi artificiali. I programmi per calcolatori, ha

notato Searle, non riescono infatti a catturare la specificità dei fenomeni mentali, la loro intrinseca intenzionalità (v. in questa Appendice), cioè il loro essere provvisti di una semantica, il loro riferirsi a contenuti di significato e a entità extramentali, caratteristiche che nessun programma, basato per definizione su manipolazioni puramente sintattiche e formali di simboli e stringhe di simboli, è in grado di replicare. Del pari, ha ancora osservato Searle, la concezione cognitivista della mente come sistema di elaborazione di informazioni può essere un utile modello, non diversamente dal modello, datato, del cervello come centralino telefonico, ma non dovrebbe essere preso troppo sul serio, dato che l'ipotesi dell'esistenza di calcoli inconsci su simboli astratti non può prendere il posto dello studio biologico del cervello e delle attività neurali.

Costituiscono o meno posizioni di retroguardia, queste tesi possono comunque a loro volta apparire eccessive se si tiene conto che, fra le tante proposte funzionaliste e cognitiviste, vi è anche quella per la quale il paradigma dell'attività cognitiva come manipolazione di simboli non deve necessariamente impegnarsi a identificare tale attività con quella tipicamente realizzata dai calcolatori digitali con architettura di Von Neumann: per quel che ne sappiamo, l'architettura giusta potrebbe essere anche diversa da quella di Von Neumann, la sua individuazione essendo subordinata all'ampliamento delle conoscenze neurobiologiche (Pylyshyn 1984; Bechtel 1988).

Non dovrebbe nemmeno essere trascurato, d'altronde, quello che Gardner (1985; trad. it. 1988, pp. 430-35) ha chiamato il "paradosso computazionale" della s. c., che proprio attraverso l'elaborazione di sofisticati modelli computazionali ha spesso dovuto constatare, sul piano dei controlli empirici, la distanza che separa i processi cognitivi, strategici e decisionali umani da quei modelli. In realtà, il pensiero e l'azione umana appaiono spesso caratterizzati, oltre che da un'organizzazione ed elaborazione altamente olistica delle informazioni (e quindi poco strutturabile secondo precise regole), da fattori ambientali, emotivi e idiosincratici, da preferenze intransitive ed euristiche subrazionali, da errori sistematici o irrazionale perseveranza in credenze false, da inferenze gratuite e oscuri meccanismi di autoinganno e wishful thinking che difficilmente risultano replicabili anche dai più 'deboli' modelli implementabili su calcolatore. D'altra parte, se molti dati empirici sulle prestazioni cognitive umane (su cui si vedano soprattutto *Judgement under uncertainty*, 1983; Nisbett, Ross 1980) appaiono poco confortanti, non solo per le concezioni della razionalità elaborate in sede filosofica e di teoria economica, ma anche per le teorie cognitiviste, ciò non toglie, come ha osservato Gardner, che essi potrebbero in linea di principio non risultare del tutto intrattabili sul piano della ricostruzione formale. Cionondimeno, essi pongono vincoli non trascurabili all'elaborazione di teorie e modelli volti a conseguire un'autentica comprensione del funzionamento della mente umana.

Neuroscienze e nuovi orientamenti

Se la controversia tra programma di simulazione delle attività cerebrali e programma di simulazione di quelle cognitive si era conclusa a favore di quest'ultimo, grazie al grande sviluppo delle ricerche di IA e alle sempre più strette connessioni fra tali ricerche e la psicologia cognitiva, un problema con cui l'orientamento tipicamente mentalista e funzionalista della s. c. si è trovato a confrontarsi è il rapporto con le neuroscienze (v. in questa Appendice). Nell'atto costitutivo della s. c. le neuroscienze vengono considerate a pieno titolo come facenti parte di questa nuova scienza; tuttavia è difficile dire quanto i due livelli d'indagine - quello simbolico-computazionale e quello strettamente neuroscientifico - siano integrati o integrabili: se il paradigma della s. c. è costituito dall'assunzione che le attività cognitive siano essenzialmente attività computazionali indipendenti dall'hardware su cui possono essere implementate, allora la rilevanza delle neuroscienze per la s. c. appare quanto meno dubbia, dato che esse si occupano esattamente di un particolare sostrato di implementazione, quello neurobiologico, che la s. c. ritiene non direttamente pertinente alle proprie ricerche (Tabossi 1998). Inoltre, sebbene spesso alle neuroscienze si demandi il compito di fornire i vincoli neurobiologici che la s. c. dovrebbe rispettare, va notato come sia stata soprattutto la s. c. a porre un vincolo alle neuroscienze: il vincolo, cioè, di individuare gli adeguati processi neuronali correlati alle rappresentazioni interne e alle funzioni cognitive che su queste opererebbero. Ma l'esistenza di tali rappresentazioni, paradossalmente, viene talvolta messa in discussione nello stesso ambito cognitivo proprio su basi neuroscientifiche e biologiche, con conseguenze che appaiono ben poco promettenti per l'auspicata integrazione: si pensi allo strumentalismo di Dennett sull'intenzionalità e, più generalmente, al cosiddetto eliminativismo (rappresentato vigorosamente dai coniugi Churchland: P.S. Churchland 1986; P.M. Churchland 1989), che considera le rappresentazioni mentali alla stregua di vaghe ed erronee metafore radicate negli usi linguistici e destinate a svanire con l'incremento delle conoscenze neuroscientifiche, per essere soppiantate dal più adeguato livello di descrizione e spiegazione dei fenomeni mentali che tali conoscenze sarebbero in grado di conseguire.

Quanto alle analogie tra calcolatore e cervello, se hanno goduto di una certa fortuna tra gli anni Quaranta e Cinquanta, non sempre hanno successivamente incontrato il favore dei neuroscienziati: il "darwinismo neurale" di G. Edelman, per es., è una teoria esplicitamente biologica che, pur utilizzando tra i suoi metodi sperimentali la simulazione al calcolatore, non può essere considerata rientrante nel paradigma simbolico-computazionale cognitivista (v. mente: Neuroscienze e modelli della mente, App. V). Considerazioni analoghe valgono per la teoria della coscienza del neuroscienziato F. Crick. La simulazione al calcolatore, del resto, è oggi uno strumento di sperimentazione e predizione di cui si avvalgono numerose discipline scientifiche, senza che ciò comporti la natura computazionale dei fenomeni studiati (Searle 1984; Parisi 1989). E in larga

misura essa viene così utilizzata da parte della "neuroscienza cognitiva" (espressione coniata dal neuropsicologo M.S. Gazzaniga), cioè l'insieme delle discipline neuroscientifiche che - soprattutto attraverso l'individuazione di correlazioni tra deficit cognitivi e danni cerebrali - mira a localizzare e descrivere le aree e le attività del cervello deputate all'espletamento delle funzioni cognitive superiori (memoria, linguaggio, ragionamento, azione volontaria).

Le sempre più avvertite esigenze di teorie cognitiviste fornite di plausibilità dal punto di vista neuroscientifico hanno condotto, in tempi relativamente recenti, alla nascita di un nuovo approccio alle attività intelligenti, basato su presupposti alquanto divergenti da quelli radicalmente funzionalisti della s. c. e dell'IA classica e per molti versi affini a quelli della cibernetica. Tale approccio è noto con il nome di connessionismo (o modello a reti neurali o Parallel Distributed Processing, "elaborazione parallela distribuita") e le sue idee fondamentali risalgono ad alcune ipotesi avanzate verso la fine degli anni Quaranta da D.O. Hebb e sul finire dei Cinquanta da F. Rosenblatt (v. mente: Neuroscienze e modelli della mente, App. V).

Il connessionismo - tra i cui maggiori esponenti possiamo qui ricordare P. Smolensky, D.E. Rumelhart, J.L. McClelland, G.E. Hinton, T.R. Sejnowski - rappresenta, almeno dalla metà degli anni Ottanta, il più articolato programma di ricerca volto a conseguire una spiegazione dei processi cognitivi in grado di rispettare rigorosi vincoli neurologici; a tale fine esso utilizza come modello della mente non le istruzioni codificate in un software per calcolatore, ma la stessa struttura neurale del cervello. In tale prospettiva il modello ampiamente utilizzato è quello delle reti neurali (v. App. V; v. anche psicolinguistica, App. V), concepite come una plausibile rappresentazione (benché alquanto semplificata) delle connessioni sinaptiche tra i neuroni, le cui attività eccitatorie e inibitorie sono considerate congiuntamente sufficienti per la produzione della percezione, del pensiero, del linguaggio e della memoria. Anche il connessionismo, come l'IA, fa ampio ricorso alla simulazione al calcolatore: il comportamento delle reti neurali è infatti ritenuto analogo a (o, quanto meno, simulabile da) quello di un calcolatore ad architettura parallela, caratterizzato da un numero elevato di operazioni che avvengono simultaneamente; tuttavia c'è attualmente disaccordo sulla sua collocazione nel panorama della s. c., potendo nel medesimo tempo essere considerato sia la versione più aggiornata dell'IA (e presumibilmente di una IA 'debole' nel senso di Searle) sia un approccio del tutto diverso che, rinunciando esplicitamente al paradigma rappresentazionalista dei sistemi simbolici fisici a favore di un paradigma "subsimbolico" (Parisi 1989), conserva solo quello computazionale, benché a livello di hardware piuttosto che di software.

Sviluppatesi e consolidatesi in esplicito contrasto con il riduzionismo, la s. c. si trova così oggi a dover mediare fra le esigenze più autenticamente cognitive, caratterizzate da un'impressionante mole di ricerche teoriche, computazionali e sperimentali, e quelle più radicalmente riduzioniste, che, nonostante i limiti tradizionali (primo fra tutti il disinteresse per l'influenza dei contesti socio-culturali sullo sviluppo e l'espletamento dell'intelligenza umana), sembrano riproporsi con il connessionismo. Le unilateralità di entrambe le prospettive impongono in ogni caso l'osservanza di un principio di tolleranza che, prima di ambire al conseguimento di un'ancora lontana integrazione, salvaguardi soprattutto le specificità dei diversi livelli d'indagine.

COMUNICAZIONE E COGNIZIONE

XXI Secolo (2009)

di Stefano Gensini

Comunicazione e cognizione

Il modello corrente della comunicazione

Chi, verso la fine del primo decennio del 21° sec., provi a interrogare Internet, dando come chiave il termine comunicazione, si troverà davanti centinaia di migliaia di link che portano verso i più diversi campi della conoscenza e della pratica sociale: dalle tecnologie della comunicazione all'intelligenza artificiale, dal management del personale alle tecniche giornalistiche, dalle strategie pubblicitarie agli effetti sul pubblico dei programmi televisivi, dalla gestione dei processi didattici alle situazioni di interazione di gruppi provenienti da culture differenti (comunicazione 'interculturale'), risulta con estrema chiarezza come il tema della comunicazione si sia guadagnato un posto centrale nell'organizzazione della cultura e più in generale negli stili di vita del mondo d'oggi. Si tratta di settori di ricerca e di esperienza strutturati in modo autonomo, ciascuno con tradizioni metodologiche più o meno stratificate e con apparati terminologici peculiari, accomunati però dal riferimento prevalente a una idea della comunicazione di matrice ingegneristica, quale fu concepita e formalizzata nel 1948 dal celebre matematico statunitense Claude Shannon (A mathematical theory of communication): l'idea, cioè, che la comunicazione consista essenzialmente nel processo che porta un mittente e un destinatario alla condivisione di un pacchetto di informazioni (un 'messaggio') mediante un 'codice', ovvero un sistema di corrispondenze fra certi segnali fisicamente percepibili e il loro valore convenuto (per es., determinate quantità), per mezzo delle quali il mittente 'codifica' il messaggio e il

ricevente lo 'decodifica'. Sembra pertanto di poter sottoscrivere l'affermazione, abbastanza paradossale ma confortata dai dati, che «c'è a tutt'oggi una sola teoria della comunicazione che meriti propriamente il nome di teoria, quella di Shannon (e Weaver)» (Gambarara 2005, p. 191). Essa, non a caso, ha un posto centrale anche nella teoria linguistica più accreditata: quella che, nelle sue varie versioni, prende il nome dal linguista statunitense Noam Chomsky.

Secondo questo schema, la comunicazione non avrebbe a che fare con l'elaborazione di certi significati (linguistici o d'altra natura), quanto con l'efficacia o meno della loro veicolazione, e, semmai, con l'indagine degli effetti raggiunti a carico del destinatario (umano, animale non umano o macchina che sia). Elaborazione dei significati e loro comunicazione, o, per usare i noti termini morrisiani, semantica e pragmatica, apparterrebbero dunque a fasi logicamente distinte: separazione perfettamente legittima entro la concezione originaria della teoria, finalizzata a ottimizzare processi ingegneristici, che coerentemente prescindeva dalle interpretazioni semantiche dei simboli (cioè dal loro riferimento a unità fisiche o concettuali), e ovviamente dai contesti circostanziali della comunicazione, contentandosi di «riprodurre in un certo punto, in modo esatto o approssimativamente esatto, un messaggio selezionato in un altro punto» (C. Shannon, *The mathematical theory of communication*, 1949, p. 1); ma altamente problematica non appena la teoria venga allargata a sistemi di comunicazione complessi, in primo luogo le lingue storico-naturali.

L'estrapolazione della teoria di Shannon e Weaver dal suo contesto originario è avvenuta nel clima epistemologico degli anni Cinquanta-Sessanta del 20° sec., caratterizzato dallo sforzo di modellare le scienze umane in base allo schema cibernetico, ed esemplarmente rappresentato dal lavoro di psicologi come George A. Miller (al cui libro del 1951, *Language and communication*, si deve la prima generalizzazione della teoria) e di linguisti come Roman Jakobson (che in una celebre conferenza del 1960, *Linguistics and poetics*, arricchì il modello introducendovi la nozione di 'contesto' e associando a ciascuno dei componenti del processo, a seconda della posizione di salienza volta per volta assunta, una specifica 'funzione': 'emotiva' nel caso del mittente, 'conativa' nel caso del destinatario, 'metalinguistica' nel caso del codice e così via). Il grande successo, fin dall'inizio degli anni Sessanta, della linguistica chomskyana, ambito specifico e insieme punta di diamante della rivoluzione cognitiva, facilitò l'assimilazione del modello della comunicazione, così ristrutturato, in settori-chiave cui il cognitivismo proponeva un approccio unificato (linguistica, psicologia, intelligenza artificiale), facendo leva su due presupposti teorici: il carattere eminentemente sintattico-combinatorio del linguaggio, espresso nei termini di una capacità generativa innata (grammatica universale), per cui gli umani sono in grado di fare uso infinito di mezzi finiti secondo certe regole ricorsivamente applicabili; la dissociazione tra il processo linguistico-comunicativo e l'elaborazione semantica, che

apparterrebbe a un momento distinto della vita mentale e consisterebbe nella messa in corrispondenza dei significati linguistici con significati profondi, sostanzialmente innati, codificati in un 'linguaggio del pensiero' (secondo la celebre teoria di Jerry A. Fodor espressa nel libro *The language of thought*, 1975). Il risultato di questa lettura del rapporto fra linguaggio e comunicazione consiste nella riduzione del primo a un processo di 'pura traduzione'. «Se questa visione è corretta – ha scritto di recente un fiero critico della concezione chomskyana-fodoria-na – allora il linguaggio che incontriamo (che sia parola scritta o parlata) serve soltanto ad attivare complessi di stati o rappresentazioni interne che sono i veri cavalli da lavoro cognitivi» (Clark 2006, p. 370).

Numerosi critici, tuttavia, mettono oggi in dubbio che il rapporto fra linguaggio, comunicazione e conoscenza possa essere visto in questi termini. La discussione della teoria tradizionale della comunicazione ha assunto in anni recenti la forma di una riflessione sull'intreccio fra comunicazione e cognizione e sul ruolo giocato dal linguaggio (come facoltà semiotica generale e come lingua/e concretamente appresa/e) nei processi cognitivi. Tale riflessione, variamente sviluppata in ambiti come la psicologia, la filosofia e l'antropologia, ma anche l'intelligenza artificiale e la zoosemiotica, e ovviamente la linguistica, caratterizza in modo specifico il primo decennio del secolo che si è aperto.

Critiche e ambiti disciplinari coinvolti

Il ripensamento oggi in corso del modello tradizionale (cosiddetto lineare) della comunicazione è stato anticipato, nell'ultimo ventennio del Novecento, da linee di ricerca provenienti sia dalla linguistica e dalla psicologia sia dalla filosofia. Al modello sono stati volta a volta imputati i seguenti limiti:

- a) una concezione rigida del codice, entità non riducibile a un elenco di corrispondenze fra significanti e significati, quale si dà solo nel caso di linguaggi elementari insensibili al contesto (per es., i sistemi di allarme, i semafori ecc.);
- b) una visione omologante e astratta del rapporto fra mittente e destinatario, che solo in casi limite (o, che è lo stesso, casualmente) condividono esattamente lo stesso codice e comunque lo gestiscono in maniera asimmetrica, secondo strategie semiotiche non sovrapponibili (di qui l'imputazione di linearità);
- c) l'incapacità di dare conto di fenomeni linguistici specifici come l'ironia e la metafora;

d) l'incapacità di dare conto della interpretazione come parte normale, non deviante, del processo comunicativo, con particolare riferimento alla pratica dell'inferenza;

e) l'incapacità, quindi, di collocare la mente all'interno del processo, rendendo in ultima analisi il modello inadeguato a dar conto della comunicazione umana, strutturalmente diversa non solo dalla interazione fra sistemi artificiali ma anche da quella di specie animali, pur evolute, differenti da *Homo sapiens sapiens*.

A linguisti generali e semiotici come Tullio De Mauro e Umberto Eco, ma anche a sociolinguisti ed etnolinguisti come Dell Hymes, Michael A.K. Halliday o Giorgio R. Cardona, si devono obiezioni di tipo (a)-(b); a filosofi come Paul Grice si deve l'obiezione (d), sviluppata da psicologi e linguisti come Dan Sperber e Deirdre Wilson nell'obiezione (e); mentre alla semantica cognitiva detta incarnata (*embodied*) riferibile a George Lakoff e Mark Johnson si deve l'obiezione (c) portata, per vie proprie, a conferma e rinforzo dei punti (a)-(b). Il ruolo giocato da fattori di tipo cognitivo nei processi di comunicazione, e più in generale dal rapporto comunicazione-mente, è pertanto in questi anni il punto su cui si gioca la partita della teoria della comunicazione nel suo insieme: ed è centrale la domanda di un modello integrato e polidimensionale che riesca a soddisfare le diverse esigenze teoriche.

Per molti versi è all'incontro fra teoria della comunicazione e filosofia che si deve la curvatura più interessante della discussione in corso. L'introduzione della nozione di mente è stata il catalizzatore che ha, fino a un certo punto almeno, unificato i vari filoni di ricerca coinvolti: a partire dalla revisione griceana delle dinamiche inferenziali che intervengono nello scambio comunicativo (sicché il significato letterale degli enunciati sarebbe solo la sponda della ricerca del 'significato del parlante', e la comunicazione procederebbe per mosse cooperative), è stata messa a punto una teoria della comunicazione come ricerca della 'pertinenza', quest'ultima intesa «come un tratto basilare della cognizione umana, che la comunicazione può sfruttare», elaborando in base al contesto e alle assunzioni disponibili gli input ricevuti (un suono, una luce, un enunciato, un ricordo), fino a ricavarne, con una sorta di legge del minimo sforzo, «un effetto cognitivo positivo» (Wilson, Sperber 2004, pp. 2-3, della versione on-line). Se in una prima fase, con il famoso volume del 1986, *Relevance*, gli autori di questa teoria hanno inteso caratterizzare in termini generali il meccanismo cognitivo della pertinenza, distinguendolo da quello, più generico, dell'inferenza, nei primi anni del Duemila l'agenda di ricerca include per un verso la ricerca di un'architettura della mente che sia compatibile con il funzionamento effettivo del meccanismo, per un altro lo sforzo di chiarirne la storia evolutiva.

Una dinamica per certi aspetti analoga si è osservata nei dibattiti circa le capacità cognitive degli animali non umani (in specie i primati). Mentre nel lavoro scientifico degli anni Sessanta-Settanta il focus era rivolto all'accertamento dell'esistenza e del funzionamento di sistemi di comunicazione in varie specie animali, con particolare attenzione alla possibilità per gli scimpanzé di apprendere in cattività, mediante un training altamente specifico, forme simil-umane di comunicazione (come nel caso di Washoe, addestrata da Allen e Beatrice Gardner all'apprendimento dell'American sign language), a partire dai tardi anni Settanta il problema centrale era la possibilità di attribuire a talune specie non umane una 'teoria della mente' (theory of mind), ovvero la capacità, sia pure embrionale, di leggere il comportamento altrui in termini di 'stati intenzionali' (credenze, desideri, intenzioni). Al famoso articolo apripista, e all'interrogativo, di David Premack e Guy Woodruff *Does the chimpanzee have a theory of mind?* («Behavioral and brain science», 1978, 4, pp. 515-26) fa in certo senso contrappunto il libro di Savage-Rumbaugh, Shanker, Taylor (1998, 20012) che, vent'anni dopo, al termine di una lunga esperienza di ricerca sui bonobo (una specie di primati, diversa dagli scimpanzé, che ha rivelato inattese capacità di apprendimento spontaneo e di adattabilità), dà una risposta positiva, nel senso dell'attribuzione ai bonobo di facoltà mentali e della capacità medesima di comprendere (anche se non di produrre) il linguaggio verbale. L'etologia cognitiva (inaugurata da Donald R. Griffin e debitrice del contributo teorico del filosofo Daniel C. Dennett) si muove dunque, anche se con riserve e problemi, verso una revisione del modello tradizionale della comunicazione, che viene normalmente utilizzato come riferimento (Dalla comunicazione al linguaggio, 2002) rendendo tuttavia più flessibile il concetto di codice (si pensi al rilievo dato alle strategie di 'inganno' rivelate allo stato di natura da parte di certe specie) e incorporandovi una sensibilità al contesto (in chiave spaziale e temporale: presenza di 'dialetti' animali e di tenui dinamiche evolutive) estranea alla formulazione originale. La psicologia (cognitiva e dello sviluppo) è il terzo settore strategico interessato alla svolta mentalista della teoria. Se la messa in gioco da parte dei filosofi di una nozione di mente, per così dire, senza aggettivi evocava uno scenario postcartesiano inteso a cogliere il quid dell'umano, la mente degli psicologi è anzitutto quella naïf del comportamento quotidiano, inteso a leggere le mosse altrui in chiave finalistico/intenzionale (nel senso della theory of mind). La concezione della 'psicologia ingenua' assume una fisionomia precisa nella nozione di mindreading (introdotta da Andrew Whiten nel 1991 nel testo da lui curato *Natural theories of mind. Evolution, development and simulation of everyday mindreading*) e soprattutto nella 'teoria del meccanismo della mente' (o TOMM, Theory of Mind Mechanism) discussa dallo psicologo inglese Alan M. Leslie in un saggio del 1994 e successivamente rielaborata (Leslie, Friedman, German 2004; per un quadro aggiornato di impostazione analitica cfr. Rainone 2005). L'idea è che gli umani siano dotati di un meccanismo innato inteso alla 'metarappresentazione', ovvero alla rappresentazione di rappresentazioni (altrui: del tipo A 'crede che' B 'voglia' mangiare la mela): tale meccanismo, non specificamente linguistico, dipenderebbe da un 'modulo'

cognitivo (di tipo fodoriano: v. oltre) evolutosi selettivamente in *Homo sapiens sapiens*. La sussistenza di questo meccanismo viene testata nei bambini di età prescolare mediante esperimenti ad hoc, con risultati che inducono a collocare l'attivazione intorno ai tre-quattro anni. A questa età il bambino è capace di fare anche giochi di finzione che sospendono i vincoli di referenza, di verità/falsità e di esistenza fra simboli e mondo, tutti caratteri ritenuti impraticabili per altre specie animali, anche molto evolute. In sintesi, «concetti altamente astratti di teoria della mente fanno la loro comparsa molto presto nel corso della vita, quando la conoscenza generale e le capacità di ragionamento sono ancora molto limitate. Essi sono il risultato di meccanismi di elaborazione specializzati al fine di stabilire e mantenere il riferimento dei concetti. I processi modulari che promuovono l'attenzione agli stati mentali e favoriscono l'apprendimento attorno a essi appaiono molto presto e si sviluppano rapidamente. Tuttavia i processi euristici che selezionano i contenuti appropriati per gli stati mentali hanno uno sviluppo molto lento e subiscono cambiamenti di grossa mole» (Leslie, Friedman, German 2004, p. 532). Il carattere innato di questi meccanismi sarebbe confermato sia dall'assenza di capacità di metarappresentazione in soggetti autistici sia dai limiti che essa presenta nel caso di patologie di minore entità.

L'importanza di questi argomenti per la teoria della comunicazione è evidente. Già l'apprendimento delle parole (suggerisce Bloom 2004) non si risolve in un processo imitativo-associativo, ma presuppone la capacità di metarappresentarsi le intenzioni del parlante, focalizzandone gli stati mentali. Si può dunque pensare che la comunicazione dipenda dall'attivazione di un modulo di comprensione delle menti, di cui la TOMM potrebbe costituire un modello adeguato.

Verso una nuova idea di comunicazione

L'annessione del tema della comunicazione al mentale procede dunque da settori di ricerca diversi e con argomenti qua e là convergenti. Tuttavia, la natura del rapporto comunicazione-cognizione muta profondamente a seconda del modello di mente utilizzato e più in generale dell'opzione fra una teoria prevalentemente innatista e una che per semplicità definiremo di tipo culturalista. Oggi l'idea che si va facendo spazio è che si debba uscire dall'alternativa secca del 'prima' e del 'poi', puntando sulla possibilità di una 'coevoluzione' fra cognizione e comunicazione, da collocare sullo sfondo di uno sviluppo filogenetico del cervello umano che sembra fare della semiosi (e quindi non solo del linguaggio verbale) per un verso il prodotto, per un altro la concausa del suo straordinario accrescimento in volume e complessità (T.W. Deacon, *The symbolic species*, 1997). Ma il profilarsi di una risposta complessiva abbastanza condivisa non esclude profonde differenze sia nelle strategie argomentative sia nell'impostazione stessa del problema.

Le ragioni del dibattito

Va osservato preliminarmente che l'esistenza stessa di un acceso dibattito intorno alla priorità del cognitivo rispetto al linguistico o viceversa è dovuta all'accettazione, da gran parte degli scienziati cognitivi, della concezione modularista della mente (elaborata da J.A. Fodor, *The modularity of mind*, 1983), secondo la quale il linguaggio sarebbe essenzialmente un modulo 'informazionalmente incapsulato', capace di accedere solo a un tipo particolare di informazioni: sarebbe insomma un sistema di input/output per il trasferimento di pensieri, e non parteciperebbe dei processi centrali della cognizione (Carruthers 2002). Il sodalizio fra questa teoria della mente e la vocazione asemantica della grammatica generativa ha come logica conseguenza il primato (sia in termini logici sia in termini evolutivi) del mentale sul linguistico e il rifiuto dell'idea che la cultura (quindi le dinamiche dell'apprendimento linguistico, i contesti socioculturali, le differenze sociopragmatiche ecc.) possa mediare in modo significativo l'accesso alla realtà. Gli effetti della cultura si scaricherebbero su livelli in definitiva superficiali del processo conoscitivo.

Di qui la rivendicazione di una natura, come suol dirsi, ricca e articolata della mente (prelinguistica) e la diffidenza verso ogni teoria che ne ridimensioni il ruolo (sia questa la dottrina whorfiana secondo cui a lingue differenti corrisponderebbero sistemi di conoscenza profondamente diversi nel tempo e nello spazio, sia la più moderata dottrina vygotskijana che affida al linguaggio la mediazione storico-culturale del pensiero: Bloom, Keil 2001). Fuori dall'orizzonte cognitivista resta pertanto l'imponente tradizione filosofico-linguistica centro-europea, riconducibile alla linea Humboldt-Saussure-Hjelmslev, che senza peraltro abdicare a un'idea ricca della mente (quale discendeva dalla comune matrice kantiana), e senza chiudersi al dialogo con la psicologia, aveva elaborato una concezione della lingua come sistema (storicamente costruito) di ritagliamento 'radicalmente arbitrario' sia della sostanza fonico-acustica sia della sostanza concettuale (lingua come 'forma'). Sicché momento cognitivo e momento comunicativo (si ricordi lo schema saussuriano del 'circuitto della parole') risultavano dialetticamente connessi da un punto di vista sia evolutivo sia fenomenologico. Di questa tradizione giunge al cognitivismo solo la versione estremizzata e spesso amatoriale di Benjamin Lee Whorf (presentata in celebri saggi degli anni Trenta), mentre Lev S. Vygotskij è oggetto di una veloce liquidazione (da parte di Fodor in uno dei primi numeri di «Cognition») sulla base di una conoscenza limitatissima del suo pensiero (ricavata da un collage di testi edito sotto il titolo *Thought and language*, 1962).

Sviluppi della dottrina della pertinenza

La teoria di Sperber e Wilson, oggi considerata dai più la migliore alternativa alla teoria standard della comunicazione, cerca di chiarire il lavoro che la mente compie elaborando le informazioni disponibili nel corso dell'interazione comunicativa. Questa elaborazione è affidata a una procedura in larga misura automatica, dipendente da moduli specializzati di processamento degli input. La suddetta procedura si riduce a due passaggi essenziali: «a. Segui la via del minimo sforzo nel calcolare gli effetti cognitivi: metti alla prova le ipotesi (disambiguazioni, risoluzioni del riferimento, implicature ecc.) in ordine di accessibilità; b. fermati quando la tua aspettativa di pertinenza è soddisfatta» (Wilson, Sperber 2004, p. 9 della versione on-line). Ogni informazione accessibile nel contesto dato (di tipo percettivo, segnaletico, memoriale ecc.) è soggetta a questo tipo di elaborazione, che la mente compie in modo automatico, perché è naturalmente strutturata per farlo. Vengono in tal modo costruite ipotesi di comprensione a partire sia dai dati linguistici, sia dalle più realistiche assunzioni di sfondo e implicazioni contestuali del locutore: quando l'ipotesi raggiunge un grado soddisfacente di integrazione tra le informazioni utilizzate (il che ovviamente non significa un risultato ottimale, e tanto meno giusto), il processo di pertinentizzazione si ferma. Come si vede, lo schema proposto ha il vantaggio di arricchire in chiave mentalista il modello tradizionale della comunicazione, incorporandovi un elemento dinamico che rimaneva estraneo alla nozione di codice; condivide, tuttavia, con quel modello e con la teoria chomskyana in genere, l'orizzonte di un parlante-ascoltatore 'ideale', del tutto sganciato da ogni qualificazione storico-sociale e culturale, evidentemente ritenuta non significativa.

L'idea ulteriore (Sperber 2005) è che ai processi di comprensione e comunicazione linguistici (detti ostensivo-inferenziali) presieda un micromodulo specializzato, evolutosi all'interno della più ampia capacità di costruire metarappresentazioni tipica degli umani. In nessun modo, dunque, la dottrina della pertinenza abdica alla concezione modularista della mente, che anzi viene sottoscritta nella sua variante radicale per cui sarebbe lecito ipotizzare (almeno in linea di principio) che ciascuna funzione specializzata sia implementabile in un programma per computer. Si tratta ora di comprendere in che modo una mente 'massivamente modulare' (che tende, cioè, a ridurre al minimo il peso dell'elaborazione centrale) possa essere flessibile e sensibile al contesto in modo da armonizzarsi con le modalità di funzionamento della pertinentizzazione. Anche se al raggiungimento di questo obiettivo vengono per adesso consegnate ipotesi «vaghe e speculative» (Sperber), esso andrebbe tenuto fermo in quanto basato sulla migliore concezione dell'architettura della mente a oggi disponibile.

Tomasello: una dottrina culturalista del linguaggio e della comunicazione

Se il modello Sperber-Wilson può essere ritenuto tipico di un'analisi del rapporto mente-comunicazione in un'ottica cognitivista radicale, negli ultimi quindici, venti anni molto è stato fatto per saldare le più generali istanze cognitive con una presa in carico dei processi storici e culturali che mediano l'origine e il funzionamento della mente, sia in ottica filogenetica sia dal punto di vista dei meccanismi di apprendimento e adattamento. Esemplare in questo quadro è il lavoro di Michael Tomasello (1999), volto a comprendere, in chiave comparativa rispetto agli altri primati, «le origini culturali della cognizione umana». Aderendo come la maggior parte degli scienziati cognitivi alla dottrina evuzionistica darwiniana, Tomasello suggerisce che il tratto differenziale della nostra specie, l'adattamento evolutivo essenziale che ne ha determinato il vorticoso sviluppo, sia consistito nella capacità di rendere stabili gli apprendimenti e trasmetterli tramite la cultura. La cultura rappresenta quindi il 'dente di arresto' della conoscenza: essa consente alla generazione successiva di non ripartire da zero, muovendo dal sapere incorporato negli artefatti umani, e quindi fra l'altro nei simboli linguistici. Come l'invenzione delle forbici ha consentito di risolvere una volta per sempre il problema di tagliare certi tipi di oggetti, così le forme linguistiche codificate immettono i piccoli della specie nel patrimonio di conoscenze e di esperienze che la società ha accumulato nel corso della storia, mediando dunque in modo significativo lo sviluppo delle facoltà mentali. Formulazioni di questo genere per un verso rivelano la ripresa delle idee di Vygotskij intorno all'intreccio storico-culturale tra forme di pensiero e apprendimenti linguistici, secondo una linea di analisi sociale della mente che si è affermata negli Stati Uniti a partire dagli anni Ottanta del 20° sec. e che presenta analogie con certa ricerca filosofico-linguistica e pedagogica continentale; dall'altro dialogano con il filone degli studi cognitivisti che teorizza una relativa priorità del linguaggio rispetto al mentale, vale a dire con la dottrina secondo cui le lingue e in generale i simboli comunicativi, con la loro carica semantica istituzionalizzata, funzionerebbero da supporto esterno alla mente (scaffolding), stimolandone lo sviluppo ontogenetico e alleggerendone il carico cognitivo con importanti conseguenze nei processi di astrazione. Il lavoro di filosofi come Dennett (*Kinds of minds*, 1996) e Andy Clark (*Being there*, 1997; Clark 2006) è evidentemente una sponda costante per l'elaborazione di questa problematica.

Tomasello vede dunque la comunicazione come il teatro sociale in cui si dispiega a fondo la capacità umana di comprendere gli altri come «agenti intenzionali al pari del Sé, agenti le cui relazioni con le realtà esterne possono essere riprodotte, orientate o condivise» (Tomasello 1999; trad. it. 2005, p. 83). Questa capacità a suo modo metarappresentazionale si accende nel piccolo umano dai nove mesi e si sviluppa in età prescolare mediante situazioni di 'attenzione congiunta' nelle quali il bambino apprende interagendo 'triadicamente' con l'adulto e con i referenti esterni presenti nello spazio ambientale. Come molte ricerche degli anni Ottanta-Novanta illustrano, anche altri primati (come gli scimpanzé) sono capaci di socializzare in modo significativo,

ma la loro resterebbe una comunicazione diadica, inetta alla necessaria, continua sponda fra l' 'altro' e il mondo esterno, e quindi a una vera comprensione esternalizzata del Sé e dell'altro come agenti dotati di desideri, credenze, intenzioni. L'intenzionalità condivisa (shared intentionality) è quindi il nocciolo della pratica comunicativa.

L'idea è che l'apprendimento del linguaggio sia profondamente radicato in dinamiche di questo tipo. Dietro il proferimento e l'elaborazione comunicativa di un enunciato (per es.: «Dai, apriamo la scatola!») operano numerosi presupposti: a) la comprensione dell'altro come agente intenzionale; b) la partecipazione a una situazione di attenzione congiunta che definisca lo sfondo sociale e cognitivo delle parole utilizzate; c) la comprensione delle specifiche intenzionalità comunicative coinvolte nella situazione; d) la capacità di scambiare la propria prospettiva con quella dell'altro, vedendo i simboli linguistici come il luogo stesso del patto sociale che ha luogo. La natura prospettica dei segni linguistici (il loro offrirsi a entrambi i partner come snodo della intenzionalità condivisa) spiega perché la concezione tradizionale della comunicazione sia banale e fuorviante: gli enunciati non si limitano a funzionare da trasmettitori di pensieri, ma sono dispositivi che favoriscono e mediano la formazione e la stabilizzazione delle conoscenze. D'accordo con Ludwig Wittgenstein (*Philosophische Untersuchungen*, 1953) e con le dottrine di Jerome Bruner, Tomasello ritiene quindi che il linguaggio abbia a che fare con i format interattivi (o, se si preferisce, con le 'forme di vita', *Lebensformen*) in cui esso viene utilizzato e appreso. Da una parte, dunque, esso non azzerà né sacrifica il ruolo della mente (perché, come si è visto, presuppone l'attivazione di capacità di mentalizzazione dell'esperienza), dall'altro non si esaurisce in compiti di trasmissione di concetti (perché si forma in, e reagisce su, spazi socioculturali volta a volta determinati).

La comunicazione dal punto di vista evolutivo

L'origine del linguaggio

Collocare la comunicazione nello scenario darwiniano della selezione naturale sembra oggi una mossa normale per la maggioranza degli scienziati cognitivi, nell'area dell'etologia e della psicologia comparata. Complessa è l'agenda teorica e sperimentale che ne discende: la discussione delle possibili cause che hanno portato la specie umana allo sviluppo di tale capacità (se la comunicazione sia stato un vero e proprio adattamento specie-specifico, come sostenuto da Steven Pinker e Paul Bloom in *Natural language and natural selection*, 1990, o se esso sia il frutto di storie evolutive complesse che hanno portato alla rifunzionalizzazione per il linguaggio di organi e capacità originariamente rivolti ad altri fini: si parlerà allora, con Stephen J.

Gould, di exaptation); l'indagine delle affinità fra la comunicazione negli umani e in altre specie animali, in base alla presenza di questa o quella caratteristica (per es., l'espressività o la referenzialità); la ricerca intorno ai sistemi di comunicazione degli animali non umani e al loro possibile radicamento in un background cognitivo specifico; lo studio dei deficit cognitivo-comunicazionali negli umani, dovuti a handicap più o meno gravi, che sembrano illustrare il punto di confine fra i comportamenti comunicativi della nostra specie e quelli di specie diverse. Talvolta si riassume sotto l'etichetta di origine del linguaggio (non sempre però distinguendo con la dovuta chiarezza fra language e speech) l'insieme di queste ricerche, riabilitando così in maniera definitiva un tema che nel 1875 la Société linguistique de Paris aveva estromesso d'autorità dagli studi linguistici. Questa direzione di ricerca, avviata dalla zoosemiotica degli anni Cinquanta-Sessanta e promossa dal celebre convegno della New York academy of sciences su *Origins and evolution of language and speech* (1975), conosce dunque tra la fine del 20° sec. e il primo decennio del 21° uno sviluppo straordinario nel segno della interdisciplinarietà (Language evolution, 2003; Johansson 2005). Non a caso N. Chomsky, in alcuni lavori degli ultimi anni scritti in collaborazione con specialisti della comunicazione animale (Hauser, Chomsky, Fitch 2002; Fitch, Hauser, Chomsky 2005), ha scorporato le diverse componenti sensomotorie, logiche e computazionali che di solito si confondono nell'accezione di language utilizzata nella scienza cognitiva. Risultato di questo sforzo, una più chiara distinzione, ma anche un accorciamento di distanze, fra la componente (ipoteticamente) specie-specifica del linguaggio umano, il suo congegno computazionale-ricorsivo (FLN, Faculty of Language in Narrow sense) e le diverse componenti che costituiscono la facoltà del linguaggio in senso ampio (broad sense), fra cui al primo posto la capacità di comunicare e una almeno limitata capacità di mentalizzazione, condivise, come appare dalle ricerche in corso, da molte altre specie animali.

Gli altri animali 'comunicano'?

È molto probabile che questa nuova fase di studi porti a una riformulazione della nozione stessa di comunicazione, termine-ombrello, come si è visto, sotto il quale vengono presentati fenomeni molto differenti fra di loro. Un buon punto d'avvio sono alcune risultanze della ricerca sui sistemi di comunicazione degli animali non umani. Stimolati dalle incursioni di Dorothy L. Cheney e Robert M. Seyfarth «dentro la mente di un'altra specie» (*How monkeys see the world. Inside the mind of another species*, 1990), gli studi più recenti hanno approfondito le nostre conoscenze sui comportamenti comunicativi di numerose specie: a parte scimpanzé e bonobo, che hanno riservato le maggiori sorprese, non poco di nuovo si è appreso sulle capacità combinatorie nella produzione di segnali da parte di certe specie di uccelli e di balene, capacità che si accompagnano, negli uccelli, all'esistenza di vere e proprie varietà locali di canto, trasmissibili mediante

apprendimento (ma già Aristotele, *Historia animalium* IV 9, si era accorto di ciò); e una componente protoculturale sembra sussistere anche nel caso del canto delle balene. Se specie che appaiono promettenti a fini etologico-cognitivi, come i delfini, rappresentano un campo di studio ancora allo stato iniziale (Johansson 2005), di altre specie, come i pinguini, si è imparato a riconoscere e descrivere le qualità fonico-acustiche che consentono l'identificazione parentale all'interno di branchi di migliaia di individui, come pure i rituali codificati che presiedono all'accoppiamento e alla riproduzione. La ricerca di Irene Pepperberg (cfr. la sintesi offerta in *Dalla comunicazione al linguaggio*, 2002, pp. 68-73) ha persino riabilitato le capacità cognitive-comunicative dei pappagalli, uno dei quali, sotto addestramento, ha rivelato rudimentali attitudini a dare senso referenziale alle proprie produzioni simil-linguistiche; e la circostanza merita rilievo, perché il pappagallo ha rappresentato per millenni, dagli stoici a una influentissima pagina del *Discours de la méthode* (1637) di René Descartes, l'esempio prediletto per argomentare l'insussistenza di capacità mentali e/o di semantizzazione nel mondo animale.

Chi, dunque, rielaborasse oggi la tavola dei 'tratti costitutivi' (design features) dei vari linguaggi, proposta nel 1968 da Charles Francis Hockett e Stuart A. Altmann (*A note on design features*, in *Animal communication*, ed. Th. A. Sebeok), potrebbe selezionare le caselle riservate a parecchie caratteristiche semiotiche (perfino la creatività 'regolare') un tempo ritenute esclusive degli umani. Ma l'avvento dell'approccio cognitivista e l'insorgenza di domande di natura filosofico-mentalista imporrebbero non solo una riorganizzazione del sistema classificatorio, ma più a fondo una discussione sul senso da dare a ciascun risultato scientifico. Ecco qualche esempio attinto dal dibattito in corso.

La nozione di sistema di comunicazione viene utilizzata ora per identificare un dispositivo importante della vita cognitiva umana, ora per spiegare certi comportamenti di specie enormemente meno complesse, poniamo, la segnaletica ormonale dei tritoni o quella olfattiva di roditori e canidi. È lecito usare lo stesso termine – comunicazione, appunto – per situazioni così differenti? È chiaro che l'assunzione di uno schema inferenzialista (à-la Grice o à-la Sperber-Wilson) indurrebbe a rispondere di no, e a riservare il termine per attività cognitive superiori. Per dirla con Daniele Gambarara, «la comunicazione non verbale [di queste e altre specie animali] non è una 'prassi' in senso pieno, non ha una sua autonomia. La comunicazione è inserita in un insieme di azioni [...] che mirano a qualche aspetto della sopravvivenza, e da cui non può essere staccata. Essa è un aspetto di un più complesso comportamento ambientale» (2005, p. 197). Un altro esempio: i pinguini in occasione del corteggiamento e dello stabilirsi di una 'famiglia' di specie esibiscono una interessantissima serie di mosse, ciascuna delle quali sembra avere una precisa valenza semantica all'interno della situazione sociale codificata (P. Jouventin, T. Aubin, A. Searby, *Il pinguino: un modello di*

comunicazione, in Dalla comunicazione al linguaggio, 2002, p. 59). Segni di questa natura smentiscono, probabilmente in maniera definitiva, l'idea tradizionale e darwiniana che gli animali condividano del linguaggio umano solo la funzione 'espressiva', volta alla manifestazione di stati emozionali (paura, collera ecc.). Naturalmente è tutto da verificare che tali segni siano spiegabili nei termini di un comportamento semiotico volontario: non siamo piuttosto in presenza di mosse obbligate, per quanto complesse, dettate cioè dall'istruzione genetica all'interno di un bagaglio semiotico vincolato alle esigenze della sopravvivenza/perpetuazione, e conseguentemente 'chiuso'? Dunque, o si scioglie la nozione di segno in componenti differenti, e pertanto si ridefinisce lo status semiotico della comunicazione nei pinguini, oppure – di nuovo – la qualifica di comunicazione scricchiola per la sua genericità. E infine un'obiezione molto generale: tutto il dibattito sembra ruotare intorno a una nozione antropocentrica di mente, modellata su capacità di tipo umano, rispetto alla quale anche le specie animali più evolute appaiono deficitarie. Occorrerebbe dunque storicizzare questo concetto e il metalinguaggio scientifico che ne consegue, alleggerendo la discussione dai presupposti più o meno cartesiani che l'hanno contraddistinta, e liberalizzando o meglio relativizzando il dominio del mentale. (È questa la strada scelta, fin dal titolo, in Altre menti, da Vallortigara 2000). Correlativamente, anche la nozione di sistema di comunicazione non solo andrebbe resa più elastica, ma anche ripensata nel suo insieme come un continuum articolato di opportunità, anziché come un repertorio chiuso di ruoli e meccanismi rispetto al quale i soggetti si situino in una logica sì/no.

Fra intelligenza machiavellica e neuroni specchio

Lo studio dei nostri più vicini parenti nell'universo animale, i primati, ha ancora nell'ultimo decennio la posizione più rilevante. Le linee di ricerca attuali ruotano intorno a tre indirizzi principali: a) lo studio dei comportamenti sociali che sembrano rivelare un'intelligenza 'machiavellica' (secondo la fortunata espressione introdotta da R.W. Whiten e A. Byrne nel 1988), insomma la capacità di relazionarsi agli altri mediante strategie di manipolazione, inganno ecc.; b) lo studio delle capacità semiotiche, anticipato dalle sperimentazioni su scimpanzé dei coniugi Gardner e di Premack, e ora portato avanti soprattutto su esemplari di bonobo; c) lo studio delle contiguità cerebrali fra primati superiori e umani, già avviato da tempo, ma divenuto di straordinaria attualità dopo la scoperta, da parte dell'équipe diretta da Giacomo Rizzolatti, dei 'neuroni specchio'.

Quanto al primo punto, una svolta è stata impressa agli studi con il passaggio da una sperimentazione in cattività a una osservazione del comportamento in the wild, cioè in natura, senza alcun intervento umano. Gli studi del primatologo inglese Robin Dunbar (Grooming, gossip and the evolution of language, 1996) hanno

illustrato i meccanismi di socializzazione/comunicazione non verbale (in particolare la pulizia reciproca della pelliccia) che presiedono alla formazione e al consolidamento dei gruppi di scimmie, e persino l'ampiezza numerica delle relazioni (fino a 50-55) che ciascun individuo potrebbe intrattenere: da una parte, dunque, lo sviluppo cerebrale dei primati (notoriamente anomalo in rapporto al peso corporeo) troverebbe giustificazione nella necessità di governare un numero di rapporti sociali così alto; dall'altra la logica del gruppo e le sue tradizioni comunicative (dal grooming alle vocalizzazioni in coro) consentirebbero di identificare un precedente reale allo sviluppo del linguaggio umano in quanto linguaggio verbale, illustrando sia la prevalenza data al canale fonico-acustico sia la naturale tendenza (spesso trascurata in questo genere di studi) alla diversificazione in 'dialetti' (Language evolution, 2003, pp. 229-31). Comportamenti evoluti come quelli indagati da Dunbar formano il punto di partenza di quasi tutti gli studi di settore. È tuttavia controverso il senso ultimo da dar loro in termini di capacità cognitive. Una delle équipes più autorevoli, quella diretta da Daniel Povinelli presso l'Università della Louisiana a Lafayette, propende per una ipotesi restrittiva, la cosiddetta ipotesi dell'astrazione comportamentale: certamente gli scimpanzé «(a) costruiscono categorie astratte di comportamento, (b) fanno predizioni circa i comportamenti futuri che conseguono dai comportamenti tenuti in passato, (c) modificano conformemente a ciò i comportamenti propri» (Povinelli, Vonk 2003, p. 157); ma questo rappresenterebbe solo la fase evolutiva iniziale di una facoltà di rappresentazione del comportamento altrui, fase ovviamente presente anche negli umani. Nei quali ultimi si aggiungerebbe una decisiva facoltà di mentalizzazione di secondo ordine, corrispondente alla capacità di attribuire agli altri individui «la stessa abilità di attribuire stati mentali a sé stessi e agli altri» (p. 158). Un punto di vista differente è proposto da Tomasello e collaboratori. Senza ricadere in un puro continuismo della gradualità, il gruppo lipsiense ritiene provato che i primati superiori non umani possiedano «la capacità di comprendere l'azione intenzionale in termini di scopi e percezioni» (Tomasello, Carpenter, Call et al. 2004, p. 684), esibendo atteggiamenti verso i comportamenti altrui simili a quelli di bambini di 9-12 mesi; tuttavia, la loro attitudine a inserirsi in situazioni di intenzionalità condivisa (tipicamente triadici) appare enormemente inferiore rispetto già a bambini di 18 mesi, il che induce a fissare un limite preciso all'area operativa delle loro capacità mentali. Il caso dei bambini autistici (nei quali l'apprezzamento dell'altro in termini di attribuzioni di intenzionalità è compromesso) rappresenterebbe un analogon dello schema evolutivo ipotizzato: a una embrionale capacità di leggere il comportamento come intenzionale non corrisponde, in questi bambini come nei primati non umani, quella di collaborare con l'altro in situazioni sia protoconversazionali (interazioni diadiche) sia di impegni condivisi (triadiche).

Le capacità propriamente semiolinguistiche dei primati non umani hanno trovato sviluppo nei lavori di S. Savage-Rumbaugh e dei suoi collaboratori, che, diversamente dai tentativi degli anni Sessanta di insegnare a

scimmie allevate in modo simil-umano una lingua segnata, hanno concentrato i loro sforzi sulla comprensione del linguaggio verbale. Il celebre piccolo di bonobo protagonista di questi esperimenti, Kanzi, è divenuto oggetto di sperimentazione dopo aver rivelato la comprensione spontanea di dispositivi simbolici al cui uso aveva solo assistito (in occasione del training della madre). Kanzi ha così mostrato la capacità di identificare correttamente su una tastiera i simboli degli oggetti cui le parole pronunciate dallo sperimentatore si riferivano, ma anche quella di utilizzare tali simboli per comunicare attivamente; ha correttamente compreso richieste formulate con parole e frasi (del tipo «Metti la bottiglia nel frigo») e si è comportato di conseguenza; ha rivelato la capacità di comprendere anche frasi sintatticamente non elementari, valicando una soglia – quella della sintassi, appunto – che il prevalente paradigma generativo ha sempre ritenuto una peculiarità umana. In sostanza, una parte rilevante del meccanismo simbolico di base sul quale è fondato il linguaggio umano appare alla portata di Kanzi, ed è particolarmente interessante che il focus della ricerca si sia concentrato sul momento della comprensione, evidentemente di grande importanza sia dal punto di vista intenzionalistico-mentalista di cui si è ampiamente discusso sia dal punto di vista specificamente semiotico, dove è canonico il riferimento alla asimmetria fra comprensione e produzione di segni (tanto più che qui si parla di comunicazione interspecifica, fra un umano e un primate anatomicamente impossibilitato a produrre verbalità). La ricchezza della vita non solo comunicativa, ma più generalmente affettiva e cognitiva di Kanzi (ricchezza che include la capacità di informare gli altri, quella di partecipare a giochi di finzione ecc.) ha indotto Savage-Rumbaugh, Shanker e Taylor (1998, 20012) a proporre una tesi fortemente continuista: dal modo in cui Kanzi ha mostrato di poter «passare la soglia» del linguaggio verbale e della capacità mentali di tipo umano, sembra giusto concludere che gli umani «non sono la sola specie che può acquisire il linguaggio [verbale] se viene esposta a esso nella prima età» (1998, 20012, p. 74) e che, più in generale, la teoria della mente, la teoria di cosa davvero significhi cognizione, va liberata dai presupposti antropocentrici che l'hanno finora contraddistinta.

In direzione di una ipotesi continuista vanno oggi anche evidenze ottenute nello studio comparato dell'architettura cerebrale e di brain imaging sul cervello umano. Il caso dei neuroni specchio rappresenta da una decina di anni un punto di riferimento per la discussione, in chiave sia evolutiva sia comparata, anche a proposito della comunicazione. La scoperta (risalente ai primi anni Novanta) che nel cervello dei macachi un'area della corteccia premotoria (area F5) produce scariche neuronali sia quando la scimmia afferra qualcosa sia quando vede eseguire un'azione uguale o simile da un'altra scimmia, ha non solo dato basi nuove alla nozione di 'imitazione', con le connesse valutazioni di tipo mentalista, ma ha anche suggerito di verificare se negli umani esistano strutture evolutivamente corrispondenti che formino la base neuronale dei processi di comunicazione. Gli studi di brain imaging degli ultimi anni hanno rivelato che nell'emisfero sinistro del

cervello umano c'è un'area che scarica – analogamente all'area F5 dei macachi – sia quando il soggetto afferra un oggetto sia quando vede altri fare ciò: si tratta dell'area di Broca, decisiva per la produzione del linguaggio. A partire da questa ulteriore scoperta, G. Rizzolatti, M. Arbib e collaboratori hanno disegnato uno schema evolutivo per la comunicazione che ipotizza il suo sviluppo interattivamente con successive ristrutturazioni della corteccia motoria: si può dunque assumere che l'antenato che abbiamo in comune con le scimmie (vissuto forse 20 milioni di anni fa) già possedesse un sistema di neuroni specchio che gli permetteva di eseguire e riconoscere atti di prensione; che il nostro più recente antenato in comune con lo scimpanzé (5-6 milioni di anni fa) disponesse di un sistema di neuroni specchio attrezzato per l'imitazione; che tale sistema si sia infine successivamente modificato nelle varie specie ominidi, in linea con le ristrutturazioni delle circonvoluzioni cerebrali attestate dai fossili, formando in ultima analisi «il substrato neurale per la formazione di quella 'cultura mimica' [...] che avrebbe trovato piena espressione con la comparsa del Homo erectus» (da 1,5 milioni a 300.000 anni fa; Rizzolatti, Sinigaglia 2006, p. 155).

L'idea è quindi che Homo sapiens (250.000 anni fa) via via raffinasse il suo patrimonio motorio fino ad asservirlo a funzioni di vera e propria comunicazione. Il linguaggio (in senso ampio: la 'semiosi') nascerebbe dunque – come è stato sostenuto per altre vie da Michael C. Corballis (2002; trad. it. 2008) – come linguaggio gestuale, sviluppandosi successivamente nell'appoggio alla vocalizzazione, finché questa non è risultata selettivamente più efficace (possibilità di essere utilizzata in assenza di luce e anche in presenza di ostacoli fisici fra i partner). In sintesi, gli studi comparati rinverdirebbero oggi, con il supporto di importanti risultanze neurologiche, la stagionata teoria delle origini non verbali della comunicazione, radicata nel movimento del corpo, nel gesto, insomma nell'«azione» (come si esprimeva Étienne Bonnot de Condillac nel suo *Essai sur l'origine des connaissances humaines*, 1746). Comprensibilmente, inoltre, studi del genere si intersecano e si danno luce reciproca con quell'importante filone della ricerca semiotica contemporanea che verte sulle lingue segnate degli umani. Radicate nelle stesse aree cerebrali della verbalità, equivalenti a queste per potenziale semantico, contraddistinte da identiche proprietà di specificazione culturale e di articolazione in dialetti, in senso sia diatopico sia diacronico, le lingue segnate, acquisite agli studi linguistici e psicologici da pochi decenni, sono oggi un campo di ricerca assai promettente, anche nella direzione comparatistica di cui si diceva (Russo, Volterra 2007). L'ipotesi delle origini gestuali del linguaggio, per quanto seducente, non è tuttavia esente da critiche severe: come mostrano le citate osservazioni di Dunbar o quelle, concentrate sul problema dei neuroni specchio, di James Hurford (2004).

I dibattiti odierni e la storia della filosofia

Il dibattito su comunicazione e cognizione, per quanto strutturalmente aperto alla collaborazione interdisciplinare, ha mostrato finora una modesta capacità di ancorare i propri temi (anche solo per differenziarsi in modo radicale) a tradizioni di pensiero spesso plurisecolari, o di storicizzare le proprie assunzioni di principio e il proprio metalinguaggio. Intanto, la stessa opposizione di un approccio ‘cognitivo’ a uno ‘comunicativo’ ha la sua (inconsapevole?) radice nella critica rivolta da Gottfried Leibniz a Descartes e alle cosiddette lingue universali della metà del Seicento. E a Leibniz e a Condillac si devono le prime indicazioni circa la capacità del linguaggio di supportare, grazie alla sua simbolicità, i limiti operativi della mente. Più in generale, colpisce l’uso spesso aporetico della nozione di mente, fatto entro un quadro di presupposti rigidamente cartesiani il quale non solo occulta la varietà di opportunità teoriche che la ricerca sul mentale ha reso storicamente disponibili, ma mistifica la stessa concezione di Descartes, svincolandola dal suo contesto culturale e appiattendola su una sola delle sue dimensioni (cfr. al proposito i contributi raccolti in *Per una storia del concetto di mente, 2005-2007*). Un ulteriore esempio viene dal campo della ricerca comparata, normalmente poco attenta (a parte i rituali riferimenti, in questo caso polemici, a Descartes, o, positivi, a Condillac e ovviamente a Charles Darwin) alla enorme tradizione di osservazione e analisi filosofica dei linguaggi animali, che da Aristotele e i grandi naturalisti della tarda antichità porta ai pionieristici studi anatomici sulla produzione della voce di fine Cinquecento, alle ricerche sul sordomutismo, all’ampia messe di studi di taglio ‘continuistico’ che precede e segue il lavoro di Darwin. Un attento confronto diacronico consentirebbe, presumibilmente, non soltanto di dare profondità storica ai dibattiti in corso, ma anche di modulare in maniera migliore, da un punto di vista critico, le nozioni in gioco: anzitutto quelle di ‘segno’ e di comunicazione.

La semiotica generale e la filosofia del linguaggio, per loro natura discipline filosofiche, intese però all’analisi di oggetti empirici, i linguaggi, in questo contesto dovrebbero e potrebbero rappresentare un ponte fra gli ambiti di ricerca e le competenze che concorrono allo studio del rapporto fra comunicazione e cognizione. La vaghezza e talvolta l’ingenuità con cui viene correntemente utilizzata la nozione di language (termine che copre ambigualmente una quantità di livelli differenti, tutti estremamente delicati, lessicalizzati diversamente nelle diverse lingue) è il miglior esempio dell’urgenza di una ‘iniezione’ di teoria semiotica nei dibattiti qui presentati. Tuttavia le due discipline menzionate, nei loro orientamenti prevalenti, sembrano oggi solo moderatamente interessate alla dimensione evolutiva e comparativa dei linguaggi, ovvero al tema di confine che forma l’asse di molta ricerca di settore. Che il richiamo all’esigenza di una saldatura interdisciplinare sia venuto pochi anni fa non da un semiotico, ma da uno studioso di antropologia biologica, il citato Deacon (*The symbolic species, 1997*), è molto significativo.

È dunque auspicabile che le discipline che hanno istituzionalmente a che fare con i linguaggi (umani e delle specie animali diverse dall'uomo) cooperino più attivamente, grazie all'apporto delle loro insostituibili competenze, a una integrazione degli orizzonti scientifici, in vista di quell'obiettivo di una nuova e meglio articolata definizione del concetto di comunicazione che lo stato attuale della ricerca sembra non soltanto richiedere, ma anche rendere metodologicamente e tecnicamente possibile.

La Coscienza e i suoi fondamenti biologici

XXI Secolo (2010)

di Mario Manfredi

Per la neurologia clinica, la coscienza è un parametro semeiotico obiettivabile e misurabile, definibile come la consapevolezza di sé e dell'ambiente circostante. In questo saggio saranno discusse le basi neurali della coscienza e le sue alterazioni patologiche (il coma). Verrà esaminato inoltre il problema che si agita al fondo di ogni discussione sulla coscienza umana, ossia come un tessuto biologico possa mostrare consapevolezza di sé.

Organizzazione funzionale della coscienza

Nella coscienza, quale viene valutata dagli esami neurologici, si possono distinguere differenti aspetti.

Il livello di vigilanza, ossia lo stato generale di attenzione che sottende e con il quale vengono vissute le attività psichiche; si può essere attenti o distratti pur essendo ugualmente vigili; si può essere sonnolenti e torpidi, per motivi fisiologici come la stanchezza, la carenza di sonno o un risveglio improvviso; si può essere addormentati pur mantenendo un certo grado di vigilanza e di contatto con l'ambiente e con sé stessi, tanto che un rumore inusuale subito ci risveglia e ci ricordiamo dei sogni; si può essere in coma, cioè non (o difficilmente) risvegliabili.

I correlati periferici della coscienza, ovvero le modificazioni somatiche che accompagnano il fluttuare della vigilanza. Essi riguardano in special modo, per la semplicità di rilevazione e l'importanza che attengono alla

valutazione dello stato neurologico, i movimenti palpebrali e oculari, le pupille e in generale il tono vegetativo, la motilità corporea spontanea e riflessa, il tono muscolare e il respiro.

L'attività elettrica cerebrale, espressione strumentale del livello funzionale della corteccia cerebrale. Questa dimensione richiede la registrazione dell'elettroencefalogramma (EEG), possibile anche in maniera continua e associata al controllo video della motilità (monitorizzazione video-EEG).

I contenuti di coscienza, ossia la somma delle attività mentali (percezioni, pensieri, sentimenti, attività onirica ecc.) che occupano in un dato momento la mente. Per rilevare questo aspetto è necessario interrogare il paziente e valutare criticamente le sue risposte, ma l'osservazione può rivelare alcuni contenuti, specie se dotati di valenza affettiva (per es., l'espressione spaurita, attonita o infastidita che il soggetto confuso o con un disturbo psichiatrico assume quando si cerca di colloquiare o di interagire con lui, o se un'allucinazione s'inserisce nel flusso del pensiero).

La memoria di sé, cioè il continuo raffronto fra esperienze sensoriali in arrivo, esperienze passate e percezione della propria identità. È questa la coscienza dell'io, tema favorito e fonte di interminabili discussioni per filosofi e per alcune scuole di pensiero psichiatriche. Il biologo vede questa dimensione iscritta nei circuiti nervosi che registrano il fluire quotidiano dell'esistenza e che inseriscono il vissuto del momento nel contesto della propria storia psichica, cogliendone immediatamente l'appartenenza a sé.

L'attenzione selettiva, ossia la concentrazione dell'attività mentale su un determinato contenuto. Può essere il risultato inconsapevole di uno stimolo pregnante che richiama l'attenzione (per es., un pericolo inatteso o un improvviso rumore) o la scelta volontaria di un campo di interesse, come il particolare di un abito, il volto di una persona nota fra la folla o un problema matematico da risolvere.

A queste diverse dimensioni della funzione 'coscienza' corrispondono differenti strutture anatomofunzionali, e precisamente: a) la formazione reticolare del tronco encefalico; b) le proiezioni discendenti della reticolare; c) le proiezioni ascendenti della reticolare; d) la corteccia cerebrale associativa; e) l'insieme costituito da ippocampo, corteccia temporale mediale e aree associative sensoriali; f) le zone corticali associative parietale posteriore, temporale basale e prefrontale.

a) La formazione reticolare (fig. 1), responsabile del livello di vigilanza, consiste in un aggregato di neuroni fortemente connessi fra di loro e con l'intero sistema nervoso centrale. È posta nella regione mediana del

tronco encefalico, vale a dire nella porzione caudale dell'encefalo, fra il cervello propriamente detto e il midollo spinale. Si estende dal bulbo al diencefalo, occupando la porzione tegmentale mediana del tronco, e riceve informazioni sensoriali attraverso fasci sensitivi propri e diramazioni collaterali dei fasci sensitivi che ascendono dalla periferia verso il cervello e il cervelletto. È dotata di proiezioni discendenti che si connettono alle strutture vegetative e motorie dei nervi cranici e spinali, e di proiezioni ascendenti che raggiungono, attraverso i nuclei talamici, la corteccia cerebrale. È la struttura responsabile delle fluttuazioni del livello di vigilanza.

b) Le proiezioni discendenti dalla formazione reticolare (fig. 2) sono deputate alle manifestazioni somatiche e vegetative che accompagnano il fluttuare della coscienza, e sono costituite da fasci di fibre che provengono dalle strutture motorie del tronco (fasci reticolo-spinali, tetto-spinali e vestibolo-spinali). Assieme al fascio piramidale, che proviene dalle aree motorie corticali ed è collegato alla reticolare attraverso collaterali che terminano nei gangli della base e del tronco, modulano il tono muscolare e la postura, ossia l'atteggiamento motorio prevalente della specie (nell'uomo la postura eretta sugli arti inferiori, nei quadrupedi la postura delle quattro zampe, nei rettili la postura attorcigliata). Inoltre, attraverso connessioni provenienti dall'ipotalamo e dai nuclei vegetativi del tronco (tratto solitario-spinale), modulano, in rapporto ai differenti livelli di vigilanza (veglia rilassata, veglia attenta, sonno), l'attività vegetativa periferica.

c) Le proiezioni reticolari ascendenti (fig. 2) sono responsabili del livello di allerta e della modulazione dell'attività elettrica cerebrale. Costituiscono una potente proiezione che raggiunge la corteccia cerebrale, facendo tappa nei nuclei intralaminari del talamo (cosiddetti aspecifici poiché non partecipano, come i nuclei sensitivi specifici, alla trasmissione delle sensibilità coscienti dalla periferia alla corteccia sensoriale). Si distribuiscono in maniera estensiva su vaste zone del mantello corticale, peculiarità che le rende adatte a modulare in modo globale il livello funzionale della corteccia.

In un esperimento del 1949, divenuto storico, il fisiologo italiano Giuseppe Moruzzi e l'anatomista statunitense Horace W. Magoun inserirono un elettrodo nel tronco encefalico di un gatto e osservarono che la stimolazione della formazione reticolare provocava un'immediata modificazione dell'EEG (la cosiddetta reazione di arresto), accompagnata dal risveglio dell'animale, mentre la distruzione della reticolare faceva comparire attività elettriche tipiche del sonno e determinava uno stato di coma.

La reazione di arresto si osserva nel soggetto normale a riposo durante la registrazione dell'EEG: basta un improvviso rumore per rendere più rapida (desincronizzare) l'attività elettrica cerebrale mentre il livello di

attenzione del soggetto viene riattivato. Le proiezioni reticolari ascendenti sono perciò responsabili delle oscillazioni dei ritmi elettrici cerebrali, dall'attività rapida che accompagna l'EEG di veglia all'attività lenta del sonno profondo e a quella rapida 'paradossale' del sonno con movimenti oculari (sonno REM, Rapid Eye Movement), ossia la fase di sonno ove ha luogo la massima parte dei sogni. Registrando l'EEG si può perciò desumere il livello funzionale della corteccia cerebrale e valutare, nel soggetto normale, gli stadi del sonno e, nel paziente con disturbi della coscienza, il grado di depressione della vigilanza. Anche se l'osservazione di Moruzzi e Magoun conserva il suo valore, la formazione reticolare e le regioni che mantengono la veglia non vengono più concepite come un complesso neuronale relativamente compatto e uniforme. I confini si sono allargati a includere l'ipotalamo e le porzioni basali del cervello anteriore; soprattutto si sono riconosciute nella reticolare propria porzioni funzionalmente differenti e con mediatori chimici specifici. Le componenti principali sono i nuclei noradrenergici pontini (in particolare il locus coeruleus) con le proiezioni dopaminergiche dalla sostanza grigia periacqueduttale, che mantengono la veglia; i nuclei colinergici della porzione superiore del tronco (nuclei tegmentale laterodorsale e peduncolo-pontino) che inducono il sonno REM; le proiezioni serotoninergiche dalla reticolare pontina (nuclei del rafe) e le proiezioni istaminergiche dall'ipotalamo, coinvolte nell'induzione del sonno 'lento'. Queste strutture hanno anche rilevanza in altre funzioni quali l'umore, le motivazioni, l'apprendimento e la motilità.

d) La corteccia cerebrale è la sede delle attività mentali e dei contenuti di coscienza. In generale, le aree corticali si possono schematicamente dividere in due tipi, specifiche e associative. Le aree specifiche si occupano di funzioni elementari (per quanto sia riduttivo definire elementare qualunque evento corticale): sul versante sensitivo sono deputate alla ricezione delle informazioni sensoriali, e consentono quindi di avvertire se un oggetto è liscio o rugoso, di colore bianco o nero, se fa rumore quando si muove ecc.; sul versante motorio sono responsabili dell'esecuzione di un movimento, e consentono quindi di stringere il pugno o di sollevare la gamba. Le aree associative stabiliscono connessioni fra le differenti porzioni della corteccia e svolgono funzioni di tipo integrativo: per es., elaborano le informazioni sensoriali e sono responsabili del riconoscimento degli oggetti («quell'oggetto liscio, appiattito, che tintinna quando viene mosso è proprio il portamonete che mi è scivolato dalla tasca finendo sotto il sofà»); elaborano le strategie motorie («devo alzarmi, fare tre passi, aprire la libreria con la mano sinistra e afferrare con la destra nel terzo scaffale il libro di neurologia per proseguire questo saggio della Treccani»). Le aree associative che circondano la corteccia sensoriale specifica (somatica, uditiva, visiva) provvedono all'elaborazione delle sensazioni fino a creare 'l'idea' degli oggetti; quelle adiacenti alla corteccia motoria organizzano i movimenti complessi e, a sinistra, elaborano i piani del movimento. Le aree associative della giunzione frontotemporoparietale provvedono,

quasi sempre a sinistra, alla decifrazione del linguaggio parlato e scritto, alla strutturazione della parola, della frase e del discorso.

Salendo via via sempre più in alto nella scala delle attività integrate si giunge alle aree frontali che, bilateralmente, partecipano alla regolazione del comportamento, alla previsione delle conseguenze di un atto, al ragionamento, alla critica, al pensiero astratto. È nelle aree corticali associative, ove avviene un continuo scambio di informazioni fra zona e zona dell'emisfero, fra le zone simmetriche dei due emisferi e fra corteccia e strutture sottocorticali, che ha sede l'attività mentale, quando siamo vigili e coscienti e anche quando dormiamo e sogniamo, come dimostrano i danni cognitivi che conseguono alla distruzione della corteccia associativa. E il primo segno del cattivo funzionamento dei meccanismi che governano la coscienza è proprio l'incoordinazione ideativa, denominata stato confusionale.

e) L'ippocampo, la corteccia temporale mediale e le aree associative sensoriali (fig. 3) sono re-sponsabili del deposito e del reperimento dei ricordi, e fungono da 'interfaccia' fra mondo esterno e ricordi esperienziali. Si distinguono due fasi nella registrazione dei ricordi, dette memoria a breve termine e memoria a lungo termine. La memoria a breve termine è quanto si ricorda immediatamente, per qualche minuto, per es. un numero telefonico appena reperito dall'elenco: è fedele ma di capacità limitata, e se il ricordo non viene trasferito nel deposito a lungo termine non ne restano tracce o ne restano solo poche. La memoria a lungo termine è quanto viene ricordato dopo i primi minuti: è infedele, poiché solo gli elementi salienti vengono registrati, ma di capacità illimitata. L'apprendimento consiste nel trasferimento del ricordo nel circuito a lungo termine; la rievocazione nel riportare alla luce dell'attenzione i ricordi depositati. Essa può avvenire spontaneamente, attraverso le associazioni logiche, fonetiche, visive ecc. stabilite fra i ricordi; o volontariamente, come quando si recita una poesia.

I ricordi sono fissati secondo ordini logici (la preparazione di un esame) e cronologici (i fatti degli ultimi mesi o anni rispetto ai ricordi infantili), e questo diviene evidente in alcune sindromi amnesiche come l'amnesia posttraumatica o l'amnesia globale transitoria, in cui vengono perduti i ricordi più recenti.

La corteccia associativa è sede della memoria, sia a breve termine – in cui i circuiti riverberanti continuano a fare circolare l'informazione, probabilmente senza modificare la struttura fisica delle sinapsi – sia a lungo termine – in cui le tracce mnesiche, sotto forma di percorsi sinaptici potenziati, stabiliscono linee di connessione permanentemente facilitate. I ricordi specializzati, come le immagini degli oggetti o la loro denominazione, utilizzano aree corticali relativamente circoscritte, la cui lesione determina la perdita selettiva

di una categoria di ricordi, come nel caso dell'agnosia visiva per lesione delle aree occipitali paramediane, che impedisce il riconoscimento di un oggetto per via visiva (ma non quando lo si prende in mano) o dell'afasia di Wernicke, in cui una lesione della regione perisilviana posteriore compromette la comprensione del linguaggio parlato.

I ricordi generali, come l'esperienza del flusso dell'esistenza, il ricordo dell'infanzia ecc., sono diffusamente distribuiti nel cervello, tanto che anche dopo estese distruzioni corticali è possibile ricostruire e rielaborare la conoscenza della propria identità. L'ippocampo e la regione temporale mediale (corteccia entorinale, peririnale e paraippocampale) sono cruciali per il passaggio dal circuito a breve termine al deposito a lungo termine, e per il successivo reperimento dei ricordi. Stabiliscono connessioni funzionali fra zone di arrivo e zone di deposito dei ricordi e possiedono le 'chiavi di accesso' ai ricordi. Con il consolidamento dei ricordi il ruolo dell'ippocampo si riduce, ed essi vengono distribuiti in un'estesa rete neocorticale. Ricordi molto antichi possono riapparire anche senza l'intervento dell'ippocampo, che resta comunque necessario per la costruzione della coscienza della propria identità (come dimostra il senso di irrealtà che accompagna le crisi epilettiche temporali mesiali) e per la ricostruzione degli ultimi anni dell'esistenza.

f) Le zone corticali associative parietale posteriore, temporale basale e prefrontale sono responsabili dell'attenzione selettiva. Quando uno stimolo con elevato quoziente di interesse viene raccolto dagli organi di senso, l'informazione viene trasmessa alle aree corticali specifiche e, attraverso i circuiti della memoria, comparata con le esperienze passate e depositata nelle aree di 'stoccaggio' dei ricordi. Nello stesso tempo, attraverso le proiezioni reticolari, l'evento provoca su tutta la corteccia una reazione di risveglio o di allerta (attenzione tonica); la corteccia associativa seleziona, fra i vari stimoli che eccedono la soglia, quello che deve occupare il fuoco dell'attenzione (attenzione selettiva o fasica); la zona cruciale per quest'ultima funzione sembra essere la corteccia parietale inferiore e temporale superiore, più nell'emisfero destro che nel sinistro. Questo dipende probabilmente dal fatto che mentre l'emisfero sinistro è stato pervaso dalle funzioni del linguaggio, l'emisfero destro è stato maggiormente coinvolto nelle funzioni di orientamento e consapevolezza dell'ambiente e quindi nell'organizzazione dello spazio esterno, di sinistra ma in minor grado anche di destra.

Il correlato neurologico di questa condizione è che i disturbi dell'attenzione visiva sono assai più frequenti nei cerebrolesi destri che sinistri, e che nei cerebrolesi destri l'emidisattenzione spaziale riguarda maggiormente lo spazio di sinistra: può accadere che il paziente prenda solo il cibo posto nella parte destra del piatto, si faccia la barba solo a destra e quando cammina giri solo verso destra. Non si deve comunque immaginare la corteccia parietotemporale destra come depositaria dei meccanismi dell'attenzione, ma piuttosto come un

punto nodale di una vasta rete neurale che coinvolge strutture corticali e sottocorticali. Una risposta comportamentale adeguata richiede infatti la valutazione della situazione esperienziale e, attraverso il raffronto con le esperienze passate e con il programma in corso di realizzazione, l'identificazione dello stimolo più rilevante e l'elaborazione della strategia motoria più adeguata; necessita quindi della messa in gioco di tutte le strutture che costituiscono il substrato biologico della coscienza (oltre che, naturalmente, dei canali motori per motilità corporea per il linguaggio). Si pensi, per es., al comportamento motorio e verbale di un guidatore che nel traffico si trova improvvisamente di fronte un'auto che non ha rispettato il segnale di stop: anche se distratto dalla radio, sterza, frena e lancia magari qualche insulto. La capacità di spostare rapidamente l'attenzione dall'uno all'altro aspetto saliente della realtà ambientale è invece sostenuta maggiormente dalla corteccia prefrontale e la sua compromissione è responsabile della sindrome disecutiva, in cui il soggetto non riesce a effettuare rapide scelte (per es., nominare una serie di parole che iniziano con la lettera 's') o a inibire alcune risposte (per es., «batta la mano sul tavolo quando io la batto, ma non quando io la batto due volte»).

Lo sforzo di identificare strutture e funzioni separate per le varie dimensioni cliniche della coscienza è utile per la comprensione dell'organizzazione circuitale come per la valutazione clinica di un paziente, ma è chiaro che i sei strumenti ora descritti suonano assieme, e questo garantisce l'aderenza del comportamento alle richieste ambientali.

Ci si può chiedere quanto l'attività cerebrale inconscia giochi nel comportamento. Senza scomodare la psicoanalisi, è evidente che l'inconscio costituisce uno dei sostegni strutturali del comportamento. Per investigare le profondità della psiche (la sede ove avvengono la rimozione, la censura e dove gli psicoanalisti tengono i loro strumenti), il biologo usa i termini di archipallio (ossia la corteccia filogeneticamente antica), cervello rettiliano, istinto, attività riflessa condizionata, modificazioni umorali che accompagnano le emozioni, controllo degli impulsi e inibizione delle risposte. Anche queste attività hanno una localizzazione circuitale, ed è verosimilmente nei circuiti che sottendono le emozioni (cingolo, insula e corteccia parietale circostante; A.R. Damasio, *Descartes' error. Emotion, reason, and the human brain*, 1994, 20062; trad. it. 1995, 2009) che vanno ricercate le rappresentazioni neurali dell'inconscio. Del resto, Sigmund Freud non ha mai negato basi biologiche alle profondità della psiche.

Perturbazioni del livello di coscienza: il coma

Le basi biologiche della coscienza non possono essere dimostrate in modo convincente se non si esaminano le conseguenze che le alterazioni morbose di queste strutture hanno sul livello di coscienza.

Le perturbazioni del livello di coscienza sono denominate con il termine onnicomprensivo di coma, che è quindi definibile come una compromissione della consapevolezza di sé e dell'ambiente circostante dovuta a sofferenze metaboliche o strutturali dell'encefalo. Vi sono differenti gradi di coma, misurabili tramite varie scale. La più usata è la scala di Glasgow, che utilizza tre parametri di facile quantificazione: a) apertura degli occhi (punteggio: apertura spontanea 4, apertura alla parola 3, apertura al dolore 2, nessuna apertura 1); b) risposta verbale (normale 5, conversazione confusa 4, parole frammentarie 3, suoni incomprensibili 2, nessuna risposta 1); c) risposta motoria (normale esecuzione di ordini 6, localizzazione di uno stimolo doloroso 5, retrazione del segmento stimolato 4, risposta posturale flessoria al dolore 3, risposta posturale estensoria al dolore 2, nessuna risposta 1). Sommando le tre risposte migliori si ottiene un punteggio da 15 (coscienza normale) a 3 (coma profondo).

Lo stato di coma mostra differenti possibilità di recupero, dalla ripresa rapida e piena (come avviene dopo un knockout sul ring o una crisi convulsiva) fino al coma persistente e irreversibile; e vi sono anche differenti aspetti qualitativi, per es. la rottura del contatto delle crisi epilettiche temporali, così come condizioni che simulano il coma, vedi alcuni disturbi psichiatrici, o la sindrome da de-efferentazione delle lesioni pontine (v. oltre).

L'eziologia del coma è assai varia. Fattori generali di rischio per i disturbi di coscienza sono: la localizzazione della lesione nelle strutture maggiormente coinvolte nel mantenimento della vigilanza; l'estensione della lesione e, soprattutto, la rapidità con cui essa si instaura. Se il danno progredisce lentamente (come nel caso di un'insufficienza epatica o di un ematoma subdurale in lenta espansione), si può assistere alla compromissione progressiva e sempre più grave della coscienza, che inizia con un lieve stato confusionale con rallentamento delle risposte, disorientamento temporospaziale e difficoltà a mantenere l'attenzione, e progredisce fino al coma profondo. Se invece la lesione interviene improvvisamente (come nel caso dell'occlusione dell'arteria basilare o di un arresto cardiaco), il soggetto passa brutalmente dalla veglia al coma profondo. L'effetto dell'acuzie delle lesioni aggiunge al danno della struttura l'improvvisa disconnessione fra zone lese e zone sane, che determina uno squilibrio funzionale (diaschisi; v. oltre). Nelle crisi epilettiche il disturbo di coscienza è improvviso, ma avviene in maniera transitoria e reversibile, con modalità diverse a seconda del tipo di crisi.

Le numerose patologie riguardanti le strutture che mantengono la coscienza possono, in linea generale, essere suddivise in danni metabolici e danni strutturali. I primi sono costituiti da condizioni che interferiscono con il metabolismo energetico delle cellule nervose (per es., l'ipoglicemia). Fino a un dato livello la sofferenza è solo funzionale e reversibile; oltre un certo grado le cellule nervose sono lese in modo irreversibile e il danno si trasforma da funzionale in strutturale. I danni strutturali sono costituiti da alterazioni che fin dall'inizio interessano la compagine anatomica del tessuto nervoso (per es., un'emorragia cerebrale o la necrosi del tessuto per anossia o ischemia).

Nell'epilessia la coscienza è compromessa quando la scarica convulsiva coinvolge e mette fuori funzione, in maniera improvvisa, i circuiti della memoria (rottura del contatto nelle aree temporomesiali), le aree associative cerebrali (stato confusionale con attività motorie automatiche nelle crisi bitemporali) o le strutture corticoreticolari che mantengono la veglia (coma profondo nelle crisi convulsive generalizzate). Il disturbo è funzionale, ma può divenire strutturale se la scarica epilettogena prosegue per ore, come avviene, per es., nello stato di male epilettico.

Patogenesi del coma

Il mantenimento della coscienza dipende da: normale funzionamento delle strutture reticolari dei due terzi rostrali del ponte, del mesencefalo e del talamo; connessione delle strutture reticolari con la corteccia attraverso il sistema a proiezione diffusa reticolo-talamo-corticale; presenza di un mantello corticale normalmente funzionante; funzionamento dei circuiti della memoria. Le lesioni encefaliche che disturbano la coscienza interessano una oppure più delle seguenti quattro strutture: la formazione reticolare, le vie di proiezione reticolo-talamo-corticali, la corteccia cerebrale e i circuiti della memoria.

La formazione reticolare è una struttura relativamente compatta, ed è sufficiente una lesione di estensione limitata per provocare disturbi gravi della coscienza. La zona critica è il tegmento ponto-mesencefalico, soprattutto nella porzione rostrale del ponte, in corrispondenza dei nuclei reticolare del rafe, locus coeruleus, tegmentale laterodorsale, peduncolo-pontino orale e parabrachiale, cioè delle zone di origine delle proiezioni monoaminergiche (Parvizi, Damasio 2003). Gli eventi più comuni sono le lesioni ischemiche nel territorio di distribuzione dell'arteria basilare e dei suoi rami o i versamenti emorragici nel tronco o nel cervelletto (che comprimono acutamente il tronco), di solito consecutivi alla rottura di una malformazione vascolare, come un aneurisma oppure un angioma, le encefaliti, l'encefalopatia di Wernicke, la mielinolisi pontina centrale. Un'altra frequente causa di alterazione della formazione reticolare sono le ernie intracerebrali in corso di

ipertensione endocranica. È questo il meccanismo che determina il coma nelle patologie in rapida espansione degli emisferi cerebrali, come le emorragie intracerebrali, gli ematomi intracranici postraumatici, i tumori cerebrali, eventi usualmente accompagnati da edema perilesionale, che determina un peggioramento dell'effetto massa. L'aumento di volume del contenuto della cavità cranica anteriore (una scatola chiusa che può incrementare di poco la sua capacità) disloca il tessuto ed esercita una spinta verso i forami naturali, soprattutto verso il forame del tentorio (la membrana che divide la fossa anteriore dalla fossa posteriore del cranio) e verso il forame occipitale (posto in corrispondenza del punto di passaggio dal cranio alla colonna vertebrale). Il tessuto cerebrale, spinto in basso, forma un'ernia attraverso il tentorio, comprimendo il tronco, ove può determinare danni ischemici. Un'altra origine di ernie è la porzione mediale del lobo temporale, che comprime il mesencefalo. L'effetto della ipertensione endocranica è tanto più grave quanto più acuta è la lesione, poiché i meccanismi di compenso sono meno validi.

Le vie di proiezione reticolo-talamo-corticali decorrono estesamente nella sostanza bianca degli emisferi. La coscienza è disturbata solo quando sono interessate in maniera diffusa o molto ampia. Questo accade nelle leucodistrofie, ove le vie di connessione fra le varie parti della corteccia e fra le strutture sottocorticali e la corteccia vanno incontro a un processo di progressiva destrutturazione, e nelle lesioni multifocali della sostanza bianca, come le encefaliti parainfettive, le vasculiti, gli infarti multipli sottocorticali, la leucoencefalopatia multifocale progressiva, una complicanza dell'AIDS. Anche il coma postraumatico, esemplificato dal knockout del pugile, è dovuto a una sofferenza acuta delle vie di connessione reticolo-talamo-corticali. La torsione acuta che la massa encefalica subisce in occasione dell'impatto stira e mette fuori funzione gli assoni, che risalgono dal tronco e dal talamo verso la corteccia (danno assonale diffuso), e provoca un'immediata perdita di coscienza. Il coma può essere fugace e transitorio oppure prolungato, fino a divenire irreversibile, a seconda dell'entità del trauma (e quindi del danno assonale) e delle altre complicanze contusive o emorragiche che avvengono al momento dell'impatto o nelle ore e nei giorni successivi.

La corteccia cerebrale associativa è estesa, e le lesioni determinano disturbi di coscienza quando occupano una zona corticale ampia. Gli eventi più frequenti sono gli infarti corticali ischemici nel territorio di un ramo arterioso maggiore (tipicamente la cerebrale media), le lesioni infiammatorie diffuse e la sofferenza metabolica della corteccia. Gli infarti cerebrali sono eventi acuti, e al danno locale del tessuto si aggiunge l'improvvisa sospensione delle connessioni fra zona e zona dell'encefalo che crea una perturbazione funzionale anche nelle aree corticali sane (è il meccanismo già menzionato della diaschisi). Le infiammazioni non sono frequenti, ma in alcuni casi appaiono devastanti, come nell'encefalite da herpes virus, ove vaste zone della corteccia temporale e frontale sono invase dal virus, o nelle meningiti batteriche e nelle emorragie

subaracnoidee, ove la corteccia partecipa alla congestione infiammatoria acuta delle meningi. Le sofferenze metaboliche sono frequenti, poiché il funzionamento delle cellule cerebrali è dipendente da un continuo apporto di ossigeno e glucosio, mentre le membrane dei neuroni richiedono un preciso equilibrio idrosalino. Gli stati confusionali fino al coma profondo sono perciò una delle prime manifestazioni dell'anossia, dell'ipoglicemia e dei disturbi elettrolitici e metabolici che accompagnano l'insufficienza epatica, il diabete scompensato, l'insufficienza renale, gli squilibri elettrolitici, le intossicazioni acute da alcol e oppiacei. L'arresto cardiaco, ma anche una improvvisa caduta della pressione arteriosa, come avviene nelle sincopi vagali da emozione o da stress, lasciano il cervello privo di sangue e provocano l'immediata perdita di coscienza, che diventa un coma persistente se l'arresto circolatorio dura più di 4-5 minuti (nelle sincopi vagali è sufficiente la caduta a terra o l'assunzione della posizione coricata per ristabilire il circolo cerebrale).

Infine, i circuiti della memoria sono replicati nei due emisferi, e uno solo è sufficiente per garantire deposito e reperimento dei ricordi; tuttavia, la disfunzione improvvisa del circuito di un lato può provocare una transitoria alterazione dello stato di coscienza, esemplificata da alcune crisi epilettiche della regione temporale mesiale di un lato. In questo caso è come se il cervello fosse temporaneamente bloccato dall'iperfunzione acuta dei meccanismi della memoria, che impediscono all'attenzione di staccarsi dalla strana esperienza cognitiva di un ricordo che invade in maniera irresistibile i circuiti che sottendono la consapevolezza di sé.

Le crisi epilettiche disturbano spesso la coscienza. La scarica epilettica è costituita infatti da un'iperattivazione parossistica dei neuroni che interferisce con il loro normale funzionamento. Nelle crisi dei lobi temporali la scarica invade le aree associative temporomesiali dei due lati, provocando uno stato confusionale, mentre nelle crisi generalizzate sono coinvolti i circuiti ascendenti reticolo-talamo-corticali e l'intera corteccia, con sospensione improvvisa e totale della coscienza, caduta a terra e convulsioni tonico-cloniche. Dopo la convulsione una turba metabolica da iperconsumo energetico prolunga il coma per parecchi minuti.

Quadri clinici particolari

Esistono alcune situazioni cliniche particolari che rappresentano la conseguenza della peculiare distribuzione delle lesioni e delle tecniche rianimatorie, le quali consentono sopravvivenze prolungate.

La sindrome di de-efferentazione (locked-in syndrome) è una condizione che simula molto da vicino lo stato vegetativo e che è fondamentale escludere nella diagnostica dei disturbi di coscienza. In questi casi una lesione intrinseca della porzione basale del ponte (infarti, emorragie, gliomi infiltranti o danni metabolici come la

mielinolisi pontina centrale) interrompe le vie motorie discendenti e impedisce al paziente di comunicare attraverso la parola, la mimica o il movimento. Risparmia la reticolare ascendente, lasciando persistere la coscienza, e risparmia le vie motorie per i nuclei del 3° nervo cranico, posti nella porzione dorsale del mesencefalo, consentendo i movimenti volontari delle palpebre e degli occhi (talora solo i movimenti verticali). Il paziente può trasmettere messaggi ed esprimere la propria volontà solo attraverso battiti di palpebre.

Al contrario della precedente, il mutismo acinetico è una condizione di apparente vigilanza, con cicli spontanei di chiusura e apertura degli occhi, ma nessuna evidente manifestazione di attività psichica e una scarsa e stereotipata motilità spontanea. Tuttavia, i segni obiettivi di danno delle vie motorie sono limitati, e gli occhi danno l'impressione di seguire oggetti e persone in movimento. Se intensamente stimolato, il paziente può produrre risposte motorie coordinate e pronunciare qualche parola, mostrando quindi che esistono ancora barlumi di un'attività psichica co-sciente. La condizione può essere definita come uno stato di estrema abulia e indifferenza. Conseguenza a lesioni corticali o sottocorticali estese, soprattutto a lesioni bilaterali della corteccia frontale o delle connessioni fra corteccia frontale e diencefalo (tumori del 3° ventricolo, come nel caso originariamente delineato nel 1952 da Hugh Cairns, danni vascolari o traumatici, idrocefalo, intossicazioni da ossido di carbonio). Nella letteratura medica tedesca è stata descritta, dopo lesioni corticali diffuse, con il termine di apallische Syndrom (E. Kretschmer, Das apallische Syndrom, «Zeitschrift für die gesamte Neurologie und Psychiatrie», 1940, 161, 1, pp. 576-79), ossia sindrome apallica.

Lo stato vegetativo persistente rappresenta il quadro estremo della condizione precedente, ed è una condizione artificiale che si sviluppa dopo un coma profondo e prolungato, in un soggetto mantenuto in vita dagli interventi di rianimazione e respirazione assistita. Il paziente riprende a ventilare, gli occhi possono aprirsi; a volte sembra dormire con gli occhi chiusi; altre volte sembra sveglio, con gli occhi aperti; le pupille reagiscono, i riflessi del tronco e spinali persistono, le funzioni cardiovascolari, gastrointestinali e renali sono conservate, ma non vi è alcun segno di attività psichica e di partecipazione all'ambiente, e le uniche risposte motorie riflesse consistono in una ridistribuzione del tono muscolare ('stato decorticato' con gli arti in flessione, e 'stato decerebrato', con gli arti in quadruplice estensione). Talora sono presenti, senza alcuno stimolo, movimenti spontanei automatici (masticazione, deglutizione, ma anche sorrisi o smorfie di pianto). L'EEG può mostrare una residua attività elettrica corticale. Conseguenza alla totale distruzione della corteccia o delle connessioni corticodiencefaliche, mentre il tronco encefalico sopravvive e resta parzialmente funzionante. I principali reperti neuropatologici sono necrosi laminare della corteccia cerebrale, il danno

diffuso delle vie sottocorticali o la necrosi bilaterale del talamo, ove originano le proiezioni reticolari per la corteccia. Le cause sono, come per il mutismo acinetico, patologie di natura traumatica, ischemica o anossica.

L'essenza dello stato vegetativo, come descritto da Bryan Jennett e Fred Plum (Persistent vegetative state after brain damage. A syndrome in search of a name, «The lancet», 1972, 1, 7753, pp. 734-37), è la mancanza di ogni risposta adattativa all'ambiente esterno, l'assenza di qualsiasi segno che sia indizio di una mente che riceve e proietta informazioni, in un paziente che mostra prolungati periodi di veglia. Esclude la diagnosi di stato vegetativo la presenza di segni anche minimi di percezione cosciente o di motilità volontaria, come una risposta riproducibile a un comando verbale o gestuale, anche limitata al semplice battito degli occhi.

Sempre secondo Jennett e Plum, e revisioni successive (The multi-society task force on PVS, Medical aspects of the persistent vegetative state, «The New England journal of medicine», 1994, 330, 21, pp. 1499-508, e 22, pp. 1572-79), lo stato vegetativo può essere definito persistente quando la condizione si è protratta per almeno un mese. È oggetto di discussione la durata del periodo di coma prima che la condizione possa essere considerata irreversibile e quindi definita permanente. Criteri prudenziali consigliano un'osservazione prolungata, di almeno 6 mesi se il danno è stato di natura anossica, e di almeno un anno se di natura traumatica. Una commissione istituita per un caso specifico dal ministro della Sanità nel dicembre 2000 (Commissione Oleari/Veronesi, Bioetica 2, 2001) ha raccomandato per i casi postraumatici, in cui il danno riguarda prevalentemente i sistemi di fibre afferenti alla corteccia, un'osservazione fino a 2 anni. L'uso del termine permanente presuppone comunque che il paziente non possa recuperare (Zeman 1997), con comportamenti assistenziali differenti a seconda della cultura etica dominante e dei conseguenti dispositivi di legge.

Non vi è dubbio che lo stato vegetativo permanente, a causa della conservazione dei riflessi del tronco, non rientra nei criteri prescritti dalla legislazione italiana per la certificazione di morte cerebrale, e quindi la sospensione di presidi medici (anche l'alimentazione e l'idratazione) necessita di un intervento giudiziario ed è fonte per un sanitario di contenzioso medico-legale e giudiziario, a parte ogni scelta etica.

Resta il fatto che nei pazienti in cui si è certi che lo stato vegetativo è permanente, non sarà mai più possibile un'attività psichica, ed è andata perduta definitivamente la funzione che più di ogni altra identifica l'essenza umana. Questi pazienti (così come il feto prima del terzo mese, prima cioè dello sviluppo di un sistema nervoso funzionante, o il bambino nato anencefalico, capace solo di respirare e di movimenti riflessi degli

arti) sono esseri puramente vegetativi, la cui sopravvivenza (ammesso che di vita si tratti) è affidata ai presidi che parenti e società sono capaci o disposti a fornire.

La morte del tronco dell'encefalo è caratterizzata da un danno strutturale irreversibile del tronco, che taglia ogni comunicazione e disattiva la corteccia cerebrale. È identificata dalla perdita del riflesso pupillare alla luce, del riflesso corneale, dei riflessi vestibolo-oculari in risposta alla rotazione passiva del capo, o all'irrigazione dell'orecchio con acqua ghiacciata, del riflesso della tosse per stimolazione della trachea, delle risposte mimiche alla stimolazione dolorifica del volto o degli arti. A differenza dello stato vegetativo il paziente non respira malgrado un livello di CO₂ nel sangue superiore a 50 mmHg. Si effettua questa dimostrazione mantenendo il paziente staccato dal respiratore per alcuni minuti (al massimo 10); per evitare ulteriori danni il paziente viene preventivamente iperossigenato con ossigeno puro per almeno 10 minuti, e i polmoni vengono tenuti ossigenati tramite una cannula tracheale. Secondo Christopher Pallis (ABC of brain stem death. From brain death to brain stem death, «British medical journal», 1982, 285, 6353, pp. 1487-90), che ha descritto ripetutamente questa condizione, l'accertamento della morte del tronco è sufficiente per decretare la morte dell'encefalo, anche in presenza di una residua attività elettrica cerebrale nell'EEG, e in Gran Bretagna questa condizione rende legittimo il prelievo di organi (Zeman 2001).

Infine, la morte dell'encefalo, in cui sia gli emisferi cerebrali sia il tronco encefalico sono distrutti. È anch'essa una condizione artificiale, permessa dalla ventilazione assistita, in cui il battito cardiaco prosegue ma la respirazione spontanea è cessata e i polmoni sono ventilati artificialmente. È scomparso ogni segno di attività encefalica, sia centrale sia troncale, mentre possono persistere alcuni riflessi spinali.

Secondo la legislazione italiana (l. 29 dic. 1993 n. 578 e l'ultimo suo aggiornamento apportato dal decreto 11 aprile 2008, pubblicato sulla GU del 12 giugno 2008), la morte dell'encefalo si identifica con la cessazione irreversibile di tutte le sue funzioni, e include l'assenza dei riflessi del tronco, del respiro spontaneo e dell'attività elettrica cerebrale misurata con l'EEG. La condizione va verificata per almeno 6 ore (che diventano 12 ore per i bambini fra 1 e 5 anni di età, e 24 ore per quelli di età inferiore a un anno), e consente il prelievo di organi per il trapianto.

La natura della coscienza di sé

L'identificazione delle strutture che sottendono la coscienza consente di conoscere, nel soggetto normale, i meccanismi neurali alla base delle fluttuazioni di vigilanza, e nel paziente in coma la causa e la localizzazione

della lesioni. Non fornisce alcuna indicazione sulla natura della coscienza in termini di 'consapevolezza della consapevolezza', cioè di come una struttura biologica possa essere cosciente di sé. È questo uno dei maggiori problemi della conoscenza, paragonabile al quesito sull'origine dell'universo: come può la materia divenire cosciente?

Se si procede nel tessuto nervoso in direzione del 'sempre più piccolo', si arriva a cellule, a molecole e infine atomi di carbonio, azoto, ossigeno ecc., che non sono diversi da molecole e atomi presenti negli altri tessuti di un organismo biologico e della materia inorganica. Si ripete quindi, con identico risultato, l'esperimento mentale proposto nel 1714 da Gottfried Wilhelm von Leibniz nella *Monadologie*: penetrando nel sempre più piccolo di una macchina costruita per sentire e pensare (una calcolatrice al tempo di Leibniz non sentiva, ma 'pensava': riceveva ordini ed elaborava risposte; un robot ai nostri giorni sembra anche 'sentire', perché evita gli ostacoli prima di rispondere) si troveranno ruote, pulegge e viti ma nulla che presupponga la coscienza. Infatti, una calcolatrice o un robot non sono coscienti di sé. È opportuno fermarsi a Leibniz e rinunciare ad affrontare questo problema in termini biologici, lasciandolo alla filosofia?

Un assioma della biologia è che ogni evento biologico ha una spiegazione, più facile o più difficile ma comunque perseguibile con la convinzione che la spiegazione esiste, e che si tratta solo di trovarla. La coscienza con tutte le sue implicazioni, inclusa la 'consapevolezza della consapevolezza', è un evento che ha luogo nel sistema nervoso centrale: è quindi in un attributo biologico del sistema nervoso, e la biologia non può rinunciare a cercarne la natura.

Per un approccio razionale, è necessario partire da alcuni dati di fatto di ordine puramente biologico. In primo luogo, la coscienza di sé è presente nell'uomo: è l'introspezione a dircelo. In secondo luogo, la co-scienza di sé è presente nei mammiferi. Chiunque abbia osservato il proprio cane non può che convenirne: l'animale prova affetto e sente dolore, due qualità che implicano inevitabilmente la coscienza di sé. Si può smontare a cuor leggero una calcolatrice, ma non si smonterebbe a cuor leggero un cane.

La coscienza di sé deve essere inevitabilmente presente anche nei gradi inferiori della scala evolutiva: i primati (la scala sta salendo) mostrano molti comportamenti gratuitamente malvagi (umano, troppo umano); i canidi (la scala scende) possiedono il principio del capobranco, e quindi elaborano il concetto di autorità (umano, troppo umano). Possiamo negare la coscienza ai felini solo perché sono dei cacciatori solitari?

La coscienza di sé evolve quindi nella scala biologica assieme alle altre funzioni neurali, e appare strettamente legata allo sviluppo del sistema nervoso. La coscienza di sé compare in effetti a un certo punto nell'evoluzione: si tratta solo di accettare che questo punto è più un pendio che un gradino, e che sta molto più in basso di noi nella scala evolutiva.

In realtà, non sembra insensato dire (come già Charles Darwin aveva proposto, e a partire dal lombrico) che la coscienza di sé appare come un potente fattore evolutivo: l'essere dotato di coscienza di sé è in grado di fare dei confronti, di modificare in base all'esperienza le risposte mediate dagli istinti e di pianificare meglio il suo futuro, immediato e lontano, per ciò che riguarda per es. la difesa dalle aggressioni, la custodia della tana, la ricerca del cibo e dell'accoppiamento, fattori evolutivi cruciali.

Molte funzioni biologiche di ordine mentale mostrano nodi circuitali localizzabili con una certa precisione nel cervello, a partire dalle emozioni fino alle decisioni morali (cervello mesolimbico, corteccia orbitofrontale; Moll, Krueger, Zahn et al. 2006) e al libero arbitrio (corteccia frontomediale dorsale di sinistra; Brass, Haggard 2007), per non parlare poi della coscienza degli altri o teoria della mente (capire ciò che gli altri pensano), che potrebbe essere basata su una struttura neurale identificabile, i neuroni specchio (Rizzolatti, Craighero 2004). Questa struttura è stata dimostrata nei primati non umani, che comprendono assai bene quello che gli altri animali e l'uomo stanno facendo. Non sembra perciò logico separare nettamente i comportamenti ragionati (co-scienti), che consideriamo una prerogativa umana, da quelli istintivi (automatici), considerati l'unica dotazione dei viventi subumani. Una quota istintiva appare in ogni comportamento, ed è solo la complicazione del circuito che fa apparire la ragione.

Infine, e per quanto detto finora, è difficile negare che anche la coscienza di sé, così come le altre funzioni neurali evolutive (inclusi gli istinti), debba risiedere nel cervello, e che lì vada cercata. Concediamoci un altro esperimento mentale: come sarebbe la coscienza di un umano in cui per successivi trapianti tutti i neuroni fossero sostituiti da neuroni di un primate subumano? Soltanto la biologia può permettersi di prospettare risposte verificabili; e l'esperimento non è forzatamente 'mentale', se la ricerca sull'ingegneria genetica e sui cloni procederà con il ritmo e secondo le regole attuali.

Accettate queste premesse, ci si trova di fronte a un dilemma apparentemente insolubile: da un lato, la coscienza di sé è presente, sia pure in gradi diversi, negli esseri dotati di sistema nervoso; dall'altro, il sistema nervoso è costituito da atomi e molecole che non appaiono dotati di coscienza. Le due soluzioni estreme, ambedue difficili da accettare per il biologo, sono dualismo (materia e spirito coabitano come entità separate)

e pansichismo (una delle varianti del panteismo, per cui tutta la materia è dotata di attività mentale). Nel dualismo (che ha avuto il più illustre sostenitore in Cartesio, secondo il quale gli animali erano macchine) resta contraddittoria l'azione dello spirito sugli atomi di carbonio e ossigeno della materia (come può un'entità immateriale rispettare il secondo principio di termodinamica?). Nel pansichismo resta contraddittoria l'elaborazione immateriale da parte di strutture materiali e obbedienti alle leggi della fisica come gli atomi di carbonio e di ossigeno (per le due soluzioni estreme l'obiezione è quindi la stessa, l'incomprensibile interazione immateriale/materiale).

Eppure una soluzione deve esserci, e sarà una soluzione compatibile con le categorie della ragione (a sua volta una funzione biologica: come diceva Georg Wilhelm Friedrich Hegel «ciò che è razionale è reale; e ciò che è reale è razionale»), poiché la biologia non va in cerca di soluzioni irrazionali. Per ora appare difficile anche congetturare una soluzione comprensibile, che sembra debba inevitabilmente cadere nella stessa contraddittoria interazione materiale/immateriale appena rimproverata a dualismo e pansichismo. Alcuni sospettano che la spinta evolutiva sul cervello umano non sia stata sufficiente per permetterci di giungere alla comprensione di alcuni quesiti, come l'origine dell'universo e l'autocoscienza della materia. Ma è stata anche avanzata l'ipotesi che il secondo principio di termodinamica non sia sempre valido. Di tutto si può dubitare, anche della velocità della luce.

Tuttavia, il comportamento dinamico di strutture complesse (come uno stormo di stornelli o una colonia di api) fornisce molti esempi di insiemi il cui totale è superiore alla somma delle singole parti. La locusta del deserto (*Schistocerca gregaria*), quando il numero degli individui supera un certo livello, cambia comportamento, si trasforma in un altro animale, e da stanziale diventa parte di uno sciame migrante. La coscienza di sé può essere un prodotto dell'interazione fra più parti di un sistema molto complesso: nell'uomo, i cento miliardi di neuroni del cervello, 10¹¹, con altrettante cellule gliali, e i 100 trilioni, 10¹⁴, di connessioni sinaptiche (R.W. Williams, K. Herrup, The control of neuron number, «The annual review of neuroscience», 1988, 11, pp. 423-53); ma anche 300.000 neuroni nella *Drosophila melanogaster* e 21 milioni nel ratto. La coscienza di sé sarebbe quindi, come dicono i connessionisti, una proprietà emergente del sistema (Accornero, Capozza 2009). Il problema è al centro dell'attenzione di cultori dell'intelligenza artificiale e delle reti neurali, di neurofisiologi, di genetisti (e anche di fisici della materia, visto che la meccanica quantistica mostra sistemi che non sono la semplice somma delle parti), e nuove proposte continueranno a emergere. La ragione resta pur sempre per gli umani l'unica strada percorribile. Certo, potrebbe diventare inevitabile ammettere che anche una struttura artificiale fatta di cento miliardi di unità possa mostrare un comportamento cosciente.

Neuroscienze. Basi biologiche dei processi mentali

Enciclopedia della Scienza e della Tecnica (2007)

di Alberto Oliverio

Lo studio della mente, dei suoi processi e dei suoi prodotti (idee, ricordi, emozioni e comportamenti) per lungo tempo è stato appannaggio quasi esclusivo dei filosofi. Alla fine del XIX sec., la nascita della psicologia sperimentale ha permesso di studiare in laboratorio, e con metodi rigorosi, i processi mentali aggiungendo chiarezza e dimostrazioni empiriche alla speculazione filosofica. È soltanto da pochi decenni che un nuovo gruppo di discipline, definite collettivamente 'neuroscienze', ha iniziato a studiare le basi biologiche della mente e del comportamento partendo da funzioni separate più per semplicità metodologica che per effettiva indipendenza tra l'una e l'altra: attenzione, sensazione, percezione, sonno, memoria, apprendimento, emozioni sono alcune delle funzioni cerebrali che vengono analizzate, collegate a circuiti e strutture nervose e interpretate alla luce delle conoscenze via via fornite da una scienza in continuo e rapido sviluppo.

Sia pure con qualche approssimazione, è possibile affermare che poco più di cinquant'anni fa la mente e il comportamento umano erano ancora appannaggio esclusivo della filosofia e della psicologia, mentre si riteneva che la biologia e la medicina fossero in grado di fornire risposte circoscritte esclusivamente alla patologia, ai casi di malattie e alle lesioni del sistema nervoso. In realtà, l'interesse per i rapporti tra cervello e comportamento è molto antico e risale al momento in cui, alcuni secoli addietro, gli studiosi di anatomia comparata, i naturalisti, gli evoluzionisti cominciarono a porsi le prime domande sulle radici biologiche del comportamento umano. Sin dalla metà del XIX sec., per esempio, Charles Darwin aveva sostenuto che il cervello umano ha alle sue spalle una lunga storia naturale, mentre contemporaneamente i neurologi avevano rilevato che le lesioni di alcune parti della corteccia cerebrale alterano profondamente il linguaggio, la memoria, il comportamento.

Tuttavia, malgrado queste conoscenze e teorie, il cervello restava un continente inesplorato e ignoto ai più e, soprattutto, era opinione comune che la scienza, in particolare la medicina, potesse chiarire alcuni aspetti della patologia, ma non della fisiologia cerebrale. Si ammetteva, per esempio, che il comportamento potesse disgregarsi a causa di un ictus o della sifilide, ma non si riteneva che la scienza potesse esplorare le caratteristiche della memoria, dell'emozione, del sogno e, più in generale, della vita mentale. Oggi, invece, la situazione è profondamente cambiata: guardiamo alla mente in modo nuovo, in quanto le neuroscienze hanno riassunto i metodi e i risultati di discipline diverse che vanno dalla psicologia cognitiva alla neurofisiologia e

alla biologia molecolare; inoltre, le neuroscienze hanno messo a punto numerose tecniche e strategie che hanno consentito di inquadrare e conoscere molti aspetti dei rapporti tra sistema nervoso e processi mentali, sia dal punto di vista fisiologico che patologico; in particolare, le neuroscienze hanno dato un fondamentale contributo alla conoscenza delle basi biologiche della memoria e dell'apprendimento, ai correlati neurobiologici dell'emozione, ai sistemi implicati nella motivazione e nell'umore. È quindi a questi tre aspetti della mente che verrà dedicata particolare attenzione.

Sommario

1. Memoria. 2. Emozioni. 3. Motivazione.

1. Memoria

Memoria e apprendimento possono essere presi in considerazione a diversi livelli descrittivi: quello neurobiologico, che riguarda le modificazioni dei circuiti nervosi determinate dall'esperienza; quello neuropsicologico, che riguarda le strutture cerebrali responsabili della memoria e dell'oblio; e, ovviamente, quello psicologico, legato ai significati, alle connotazioni emotive e alle interpretazioni cognitive del ricordo. La conoscenza di questi meccanismi e processi può apparire ben poco significativa a quanti guardano alla mente come a un vissuto personale, un fatto privato: eppure in diverse situazioni legate a danni e alterazioni della funzione nervosa, l'interpretazione della neuropsicologia – una delle discipline che fanno parte delle neuroscienze – è essenziale per comprendere cosa si verifichi nella nostra mente, come vengano ristrutturati i ricordi, come sopravvenga l'oblio.

La storia delle ricerche sulle basi biologiche della memoria, in particolare quella associativa, è fortemente legata al modello proposto all'inizio degli anni Cinquanta del XX sec. dal neurofisiologo Donald Hebb (1949), cui si deve la cosiddetta 'ipotesi della doppia traccia', secondo la quale, un'esperienza modifica l'attività elettrica di un circuito nervoso responsabile di una codificazione a breve termine (cioè della durata di pochi secondi o minuti); a tale codificazione dell'informazione in forma precaria e instabile subentra una codificazione stabile, la memoria a lungo termine (della durata di mesi o anni), che è legata a modifiche durature della struttura dei neuroni o dei circuiti nervosi (consolidamento della memoria). Nell'ipotesi di Hebb, pertanto, i due tipi di memoria fanno capo, rispettivamente, a modifiche funzionali delle sinapsi nervose (memoria a breve termine) e a modifiche strutturali o permanenti a carico sia delle sinapsi che dei neuroni (memoria a lungo termine). Pertanto, la memoria a breve termine sarebbe il risultato di un assemblamento funzionale temporaneo di cellule nervose che stabiliscono connessioni reciproche. Nel caso in cui l'attivazione dell'assemblamento cellulare persista abbastanza a lungo, potrebbe verificarsi un 'processo di crescita' basato

sulla produzione di nuove sinapsi, e quindi di nuove connessioni stabili tra neuroni (la memoria a lungo termine). La prima fase della memoria, ancora fragile, dipenderebbe quindi da fenomeni elettrici e circuiti 'riverberanti' (l'informazione circola a lungo in una rete), mentre la seconda fase, robusta e duratura, dipenderebbe dalla stabilizzazione di uno o più circuiti (fig. 2). Ciò implica che i neuroni mostrino plasticità, siano in grado cioè di reagire a stimoli di varia natura grazie ad alterazioni della loro funzione o struttura, tali da comportare una ristrutturazione delle reti nervose. Questo aspetto della funzione neuronale, postulato in via teorica da Hebb circa mezzo secolo fa, ha ricevuto oggi numerose conferme sperimentali.

Le attuali ricerche sulle basi neurobiologiche della memoria si basano in gran parte sull'analisi delle alterazioni dell'attività elettrica dei neuroni e delle sinapsi, e in particolare del cosiddetto LTP (Long-term potentiation) dell'attività sinaptica. Nel corso dell'LTP, in seguito a uno stimolo che si ripete nel tempo o è particolarmente intenso, una sinapsi esibisce un livello superiore di risposta (attività potenziata), cosicché la sua efficienza aumenta fino a due volte e mezzo. Questo incremento dell'attività elettrica sinaptica si sviluppa entro pochi minuti dallo stimolo iniziale e rimane relativamente stabile per lungo tempo, in alcune condizioni per varie settimane. In sostanza, quando uno stimolo di un qualche rilievo viene recepito da un neurone – come avviene nel caso degli stimoli che si susseguono ripetutamente nel corso del processo di sensibilizzazione o di condizionamento – si può verificare un aumento dell'efficienza delle sue sinapsi. Col tempo, si possono formare nuove sinapsi che contribuiscono a connettere tra loro i neuroni in un nuovo circuito, il cosiddetto 'circuito locale', responsabile della codificazione di una specifica esperienza o memoria. Da un'iniziale alterazione di tipo funzionale (l'attività elettrica legata a modifiche degli ioni, tra cui il calcio) i neuroni vanno così incontro a modifiche di tipo strutturale provocate da alterazioni di alcuni enzimi e dalla sintesi di proteine che alterano il citoscheletro neuronale stimolando la formazione di sinapsi e la loro interconnessione. Le variazioni delle caratteristiche del circuito nervoso permettono così di registrare l'informazione all'interno di reti neurali capaci di modificarsi per adattarsi a un ambiente sempre mutevole. Erik Kandel e collaboratori (1991) hanno dimostrato che negli invertebrati (ma anche nei Vertebrati superiori) la registrazione di un'esperienza fa capo ai meccanismi dell'LTP e della formazione di sinapsi. In particolare, quando un neurone viene eccitato, libera il neurotrasmettitore glutammato, il quale modifica l'attività dei recettori NMDA (N-metil-d-aspartato); questi recettori, a loro volta, attivano una serie di eventi intracellulari a cascata che dipendono da fondamentali proteine chiamate proteina-chinasi, le quali attivano proteine e geni che inducono un aumento della sintesi proteica, utile per la formazione di nuove sinapsi e per la stabilizzazione dei circuiti nervosi. Gran parte delle ricerche di Kandel sono state svolte su una lumaca marina, *Aplysia californica*, che reagisce a uno stimolo tattile con un comportamento autoprotettivo, cioè ritraendo la branchia. Se però gli stimoli continuano con cadenza regolare, *Aplysia* si abitua e la sua risposta resta a lungo nella sua memoria: un solo stimolo è sufficiente, dopo diversi giorni, a indurre il riflesso. Kandel

ha notato che il comportamento di sensibilizzazione di *Aplysia* perdura nel tempo (memoria a lungo termine), in quanto si sono verificati cambiamenti a livello dei circuiti nervosi: le sinapsi tra il neurone sensitivo (che reagisce allo stimolo tattile) e quello motorio (che attiva i muscoli della branchia) diventano più stabili e comunicano più facilmente a mezzo dei messaggeri nervosi poiché l'esperienza è stata consolidata.

Gli esperimenti di Kandel hanno dimostrato in modo inequivocabile che la formazione di nuove sinapsi e nuovi circuiti porta a una codificazione dell'esperienza in termini fisici: oltre a questa ristrutturazione di un circuito, l'esperienza deve però causare anche l'eliminazione differenziale di circuiti labili, connessioni multiple in eccesso che vengono perdute quando vengono rafforzate quelle che nel circuito locale codificano l'esperienza. Le memorie di tipo cognitivo sono peraltro ben più complesse e ricche di quelle che si riferiscono alla registrazione di stimoli ripetitivi (la sensibilizzazione) e delle memorie di tipo associativo, in cui uno stimolo è associato a un rinforzo o due stimoli sono associati tra loro. D'altronde, è la stessa biologia della memoria a indicare come il ricordare non implichi una semplice fotografia o codifica delle esperienze: la memoria, infatti, viene modulata anche da un insieme di altri importantissimi fattori, in primo luogo l'emozione, che contribuiscono a rafforzare o attenuare i processi di consolidamento. Così, per esempio, James McGaugh (1989) ha dimostrato che negli animali sottoposti a esperienze ricche di componenti emotive la memorizzazione viene potenziata in quanto i nervi (le fibre afferenti del nervo vago) indicano al cervello che a livello periferico sono state liberate sostanze tipiche degli stati emotivi (per es., l'adrenalina, prodotta dalle ghiandole surrenali). Si verifica in tal modo un processo circolare: quando la mente reagisce a determinate situazioni con un'emozione, il cervello, attraverso i nervi efferenti, agisce sul corpo inducendolo a produrre sostanze (come l'adrenalina) in grado di adattare l'organismo alle situazioni di stress, emozioni comprese. L'adrenalina, a sua volta, stimola dei recettori nervosi i quali, attraverso il nervo vago, inducono il cervello a produrre mediatori nervosi che modulano i processi della memoria.

Una delle caratteristiche delle tracce di memoria è quella di andare incontro all'oblio, evolvere nel tempo, ristrutturarsi ed essere contaminate da altre esperienze e ricordi. Memoria e oblio sono due processi opposti e complementari: se è vero che la memoria è una funzione presente in tutto il regno animale – in quanto conferisce un vantaggio – e che le attribuiamo un valore positivo apparentemente in opposizione al ruolo negativo dell'oblio, è anche vero che se non dimenticassimo, o perlomeno se non fossimo in grado di contrastare precedenti memorie e apprendimenti, non potremmo apprendere nulla di nuovo, correggere i nostri errori, modificare vecchi schemi. I ricordi, inoltre, non sono stabili, ma vengono continuamente ristrutturati. La mutevolezza dei ricordi nel tempo risulta evidente sia dalle ricerche sperimentali che da quelle cliniche. Le prime partono dagli studi condotti da Larry R. Squire e Stuart Zola-Morgan (1985) e perfezionati da Squire e Alberto Oliverio (1991) sull'elettroshock, un trattamento ancora usato dagli psichiatri in casi di grave depressione nervosa che ha un effetto negativo sulla memoria umana e animale. Se esso viene somministrato

subito dopo un'esperienza, prima cioè che la memoria a breve termine si consolidi trasformandosi in memoria a lungo termine, si verifica un'amnesia retrograda, viene cioè cancellato il ricordo di quell'esperienza in quanto l'elettroshock disturba i fenomeni elettrici che caratterizzano la memoria a breve termine impedendone il consolidamento. Squire ha però indicato anche che l'elettroshock non agisce soltanto sul processo di consolidamento della memoria, ma anche sulle memorie già consolidate. Il fatto che l'elettroshock agisca anche a distanza di mesi sia su memorie di tipo associativo sia su vere e proprie memorie di tipo cognitivo, cancellando parte dei ricordi già registrati, indica che la memoria è suscettibile di continui rimaneggiamenti e rielaborazioni: a distanza di tempo, lo stesso evento viene narrato in modo diverso, i particolari cambiano, muta il suo stesso significato, come se la memoria, anziché corrispondere a una precisa fotografia della realtà, fosse piuttosto un pezzo di plastilina che gradualmente assume forme diverse.

La complessità della memoria richiede un intricato sistema di strutture e nuclei nervosi che ne codificano i diversi aspetti. Il celebre caso clinico, riportato da William B. Scoville e Brenda Milner (1965), di un paziente noto con le iniziali H.M. getta luce sulla molteplicità dei sistemi neurali responsabili delle diverse dimensioni della memoria. Per tentare di curare una rara forma di epilessia non trattabile farmacologicamente, H.M. venne sottoposto a un intervento chirurgico per eliminare il tessuto cerebrale malato dal lobo temporale mediale; in seguito all'operazione, la sua capacità di percepire, di ragionare, di parlare, di ricordare gli eventi più antichi rimase normale e anche la sua memoria semantica fu in parte preservata. Risultò invece compromessa la capacità di ricordare gli eventi che si erano verificati poco prima dell'operazione e, purtroppo, anche tutti quelli successivi. L'amnesia di tipo episodico di H.M. era quindi sia retrograda (il passato) che anterograda (le esperienze successive). Il vuoto di memoria non riguardava però l'intero arco della sua vita: gli anni scomparsi erano all'incirca una decina, quelli più recenti, mentre era molto meno grave quando il giovane cercava di rievocare gli anni dell'infanzia o della prima adolescenza. La regione temporale mediale che era stata asportata dal cervello di H.M. non doveva essere, evidentemente, la sede della memoria, altrimenti accanto al blocco della formazione di nuovi ricordi sarebbero dovuti scomparire anche tutti i ricordi del passato. H.M. conservava invece i ricordi più antichi e più consolidati, che il lobo temporale mediale (ippocampo, amigdala e corteccia temporale) distribuisce nelle varie regioni della corteccia cerebrale dopo un periodo di ore, mesi o anche anni durante il quale le esperienze vengono codificate, scomposte in categorie, associate per analogia e connotate sulla base del loro significato. Se una lesione di qualunque natura colpisce il lobo temporale mediale (soprattutto l'ippocampo), il cervello diventa incapace di archiviare a lungo le nuove esperienze, di trasformarle da fragili memorie di lavoro in memorie durature e di svolgere un minuzioso lavoro di classificazione, confronto, generalizzazione. Dopo una lesione temporale mediale, forse i ricordi sono depositati in qualche parte del cervello, ma diventano inaccessibili. Restano invece a disposizione della mente

le memorie più antiche, quelle ormai catalogate in forma molto stabile e chiaramente accessibili nei circuiti corticali.

Gli studi neuropsicologici sulle amnesie, a partire dal caso di H.M., hanno dimostrato che la regione temporale è connessa col sistema limbico (amigdala e ippocampo) e quest'ultimo con il talamo tramite il fornice: regione temporale, sistema limbico e talamo formano una specie di circuito della memoria di cui, ovviamente, fa parte l'intera corteccia cerebrale, che è connessa con quella temporale. Tutte queste strutture nervose svolgono il loro ruolo nella cosiddetta 'memoria esplicita', che implica il riconoscimento cosciente delle esperienze vissute. Sensazioni o esperienze, per essere trasformate in memorie esplicite, devono passare attraverso una sorta di imbuto, la regione temporale; da questa, passando attraverso l'ippocampo e l'amigdala (in cui vengono connotate per caratteristiche spaziali, emotive, ecc.), devono raggiungere il diencefalo (talamo), dove vengono assemblate e registrate nei circuiti del cervello sotto forma di memorie stabili. È il circuito della memoria definito 'corteccia temporale-ippocampo-diencefalo' che consente di connettere tra loro le diverse esperienze della vita quotidiana (sensazioni, immagini mentali, emozioni, valutazioni della realtà) per trasformarle in memoria episodica, in eventi della nostra storia individuale. Queste strutture nervose giocano anche un ruolo nella memoria semantica, quella preposta all'apprendimento di nuovi nomi e vocaboli, alla memorizzazione di numeri di telefono, e così via.

2. Emozioni

Le emozioni possono essere viste, da un lato, come un'attività legata a specifiche strutture del cervello, correlata a modifiche chimiche e presente anche in altre specie animali; dall'altro, è necessario riconoscere che esse sono caratterizzate da una fondamentale componente soggettiva, la quale è difficilmente riconducibile alla sua sola natura biologica.

I neuroscienziati, che sostengono la possibilità di studiare le basi biologiche delle emozioni, adottano una posizione di tipo evolutivo e interpretano l'emozione alla luce del suo significato darwiniano, cioè della sua utilità per l'economia dell'organismo e della sua capacità di comunicare ad altri individui la presenza di pericoli o di situazioni positive. Secondo questa visione, le diverse emozioni sarebbero iscritte nei circuiti del cervello, pronte a entrare in funzione quando l'ambiente, la situazione o l'interpretazione che ne dà la nostra mente ci forniscono stimoli che innescano reazioni quasi automatiche, pacchetti di informazione custoditi in alcune strutture cerebrali. A particolari situazioni sarebbero quindi correlate alcune espressioni facciali, risposte ormonali e del sistema nervoso autonomo, le quali sono tutte integrate tra loro: per esempio, una situazione di pericolo può scatenare l'emozione della paura, caratterizzata da particolari espressioni facciali e da risposte di fuga o di blocco. Si potrebbe pertanto sostenere che l'emozione sia uno stato dell'organismo in

cui un programma innato scatena una serie di reazioni stereotipate. Alcuni psicologi evolutivi, tra cui Robert Plutchik (1983), sostengono che le diverse emozioni hanno origine da un ristretto nucleo di emozioni primitive e innate da cui, con l'esperienza, si differenziano altri stati emotivi, positivi o negativi.

Se alcuni aspetti delle emozioni hanno un carattere innato, quali sono le loro basi nervose, da quali meccanismi cerebrali dipendono e dove possono essere localizzati? Una teoria dell'emozione che ha avuto notevole popolarità è quella proposta negli anni Settanta da Paul D. MacLean (1973), ispirata alle teorie di James Papez sul sistema limbico e alle ricerche di Walter Rudolf Hess, il quale aveva notato come la stimolazione di alcuni siti dell'ipotalamo, una struttura sottocorticale che fa parte del sistema limbico, inducesse una serie di reazioni emotive anche violente: per esempio, nel gatto la stimolazione elettrica dell'ipotalamo ventrale si traduceva in reazioni di rabbia definite 'falsa rabbia', perché avvenivano anche in assenza di un oggetto che potesse scatenarle. Secondo MacLean, le strutture più recenti in termini evolutivi, vale a dire la corteccia, sono prevalentemente implicate nelle attività cognitive, mentre le strutture sottocorticali, e in particolare il sistema limbico, sarebbero responsabili di comportamenti specie-specifici (cosiddetti 'istinti') che sono connotati da una coloritura emotiva, a differenza dei comportamenti più stereotipati, come i riflessi spinali, che sono privi di componenti emotive. MacLean afferma che le attività sottocorticali – governate dal cosiddetto 'paleoencefalo', o cervello antico in termini evolutivi – sono in buona parte predeterminate, frutto di un lungo processo di selezione naturale che ha fatto sì che le emozioni fossero legate a regole naturali, iscritte nel patrimonio genetico.

Negli ultimi anni questa tesi ha trovato ulteriori conferme nei risultati di diversi esperimenti effettuati sul sistema limbico e sul corpo striato, un insieme di centri nervosi coinvolti nell'organizzazione di risposte motorie. Per esempio, Joseph E. LeDoux (1996) sostiene che nelle risposte di paura vi sia un forte coinvolgimento dell'amigdala, un nucleo del sistema limbico formato da neuroni che in prevalenza utilizzano il neurotrasmettitore noradrenalina. LeDoux ha sottoposto degli animali al cosiddetto 'condizionamento alla paura': gli animali ricevono una punizione o devono fronteggiare una situazione ansiogena in un ambiente ben connotato e quindi facilmente riconoscibile che continuerà a suscitare reazioni di paura anche in assenza di punizioni o stimoli ansiogeni, in quanto l'animale ha associato la punizione e l'ansia a quel contesto ambientale. LeDoux ha dimostrato che uno stimolo ansiogeno viene convogliato verso il talamo e da qui verso la corteccia sensoriale (che lo registra nei suoi dettagli) e verso l'ippocampo, una struttura del sistema limbico che gioca un ruolo critico nella memorizzazione di molte esperienze. Queste tre strutture inviano proiezioni nervose verso il nucleo laterale dell'amigdala che, a sua volta, ha connessioni con tre diverse regioni cerebrali, ognuna delle quali è coinvolta in un diverso aspetto dell'emozione: in particolare, l'amigdala stimola l'ipotalamo, che come abbiamo visto è responsabile di diverse risposte somatiche e vegetative tipiche di alcune emozioni. Perciò, secondo LeDoux, emozioni come la paura sono gestite da alcuni nuclei nervosi che ne

coordinano le diverse componenti (motorie, vegetative, cognitive); esse non avrebbero origine nella corteccia, sede di gran parte delle esperienze e apprendimenti, bensì nelle strutture sottocorticali e, pur essendo modellate secondo programmi precostituiti e automatismi, conferirebbero una dimensione fondamentale alla nostra mente e alla nostra coscienza.

A sostegno dell'esistenza delle basi biologiche delle emozioni, vale a dire la dipendenza di queste ultime da programmi e strutture nervose, sono stati condotti recentemente anche studi di tipo clinico. Per esempio, Boulos-Paul Bejjani e collaboratori hanno notato che la stimolazione della substantia nigra può indurre sia espressioni facciali che sensazioni di tristezza. Nel corso di una serie di interventi neurochirurgici finalizzati a contrastare i sintomi del morbo di Parkinson attraverso la stimolazione di alcuni nuclei dei gangli della base (cui appartiene il corpo striato, responsabile delle turbe motorie proprie del Parkinson), questi ricercatori francesi hanno rilevato che, se per errore gli elettrodi venivano inseriti nella substantia nigra (anziché nel globo pallido, la cui stimolazione elettrica comporta un beneficio per i pazienti), i pazienti manifestavano improvvise crisi di pianto e disperazione pur non riferendo specifiche motivazioni soggettive di tristezza. Le crisi (espressioni facciali tipiche dell'infelicità e dell'afflizione, scoppi di pianto immotivato, sensazioni di profonda melanconia) si verificavano pochi secondi dopo la stimolazione elettrica della substantia nigra e cessavano non appena essa veniva interrotta, suggerendo perciò l'esistenza di un rapporto di causa ed effetto tra l'attivazione di alcune strutture nervose, da un lato, e la manifestazione motoria e il coinvolgimento emotivo tipico di una particolare emozione, nel caso specifico la tristezza, dall'altro.

Altri studi in linea con questa ipotesi indicano che il sentirsi felici, o almeno provare emozioni positive, si accompagna a un'attivazione della corteccia frontale: per esempio, le ricerche effettuate da Richard J. Davidson e Steve K. Sutton (1995) e attraverso l'uso di tecniche elettroencefalografiche computerizzate o della risonanza magnetica funzionale – che rivela quali strutture cerebrali siano più attive in un particolare momento – sembrerebbero dimostrare che nei soggetti che contemplano immagini rilassanti o in grado di suscitare emozioni positive vi sia un coinvolgimento della corteccia frontale. Questi risultati indicherebbero quindi che alcuni stati mentali, nella fattispecie alcune emozioni, possono essere ricondotti a determinati stati cerebrali e, più in particolare, che una specifica emozione dipende dal coinvolgimento di una particolare struttura nervosa che attiva un pacchetto di reazioni motorie e vegetative associate a quella precisa sensazione o esperienza soggettiva.

Tuttavia, questi esperimenti fanno anche pensare che la mente potrebbe essere 'sviata' dai segnali somatici o da frammenti di sequenze motorie facciali che non sono integrati in un'emozione organizzata dipendente dal contesto, come si verifica in situazioni più reali, e che se il corpo si atteggia alla gioia o alla tristezza ci siano motivi per ritenere di vivere una situazione di gioia o tristezza. In tal senso sono indicativi i classici esperimenti effettuati da Paul Ekman e Wallace V. Friesen (1989) in un contesto neutro, vale a dire in una

situazione priva di valenze emotive: in questo caso, il semplice atteggiare il volto a un'espressione di gioia o di tristezza può indurre alterazioni somatiche (ritmo cardiaco, attivazione di strutture cerebrali, modifiche della pressione arteriosa) tipiche di quello stato emotivo. La maschera facciale di un'emozione, anche se recitata, implica la tensione o il rilassamento dei diversi muscoli: da questi originano segnali che, arrivando al cervello, convincono la mente che il corpo sta vivendo una situazione di gioia o di tristezza. Ciò significa, tra l'altro, che non è soltanto il centro, cioè il cervello-mente, a influenzare la periferia, cioè il corpo e i suoi muscoli, ma che si verifica anche il contrario.

L'intreccio tra biologia ed esperienza soggettiva è d'altronde ben evidente nei disturbi dell'umore: indipendentemente da quali possano essere le cause di un disturbo depressivo o di ansia, è ben evidente che alcuni farmaci che alterano la chimica del cervello possono agire anche sugli stati mentali e alterare il vissuto di una persona. Perciò, una teoria dell'emozione che concili le posizioni di tipo biologico con quelle più aperte all'esperienza e alle sue connotazioni individuali deve tenere conto sia delle radici biologiche, e quindi delle componenti stereotipate dei diversi stati emotivi, sia delle componenti individuali delle singole esperienze. Le prime – tipicamente le espressioni facciali, le alterazioni umorali e somatiche – sono il risultato di un processo selettivo che ha conferito loro una valenza transculturale: esse dipendono da programmi motori e da componenti vegetative che fanno capo all'ipotalamo, ad alcuni nuclei dell'amigdala e dello striato. Questi schemi motori, memorie che codificano l'espressione delle singole emozioni, sono in gran parte legati ai gangli della base da cui dipendono memorie ed esperienze ricorrenti, cioè alle strutture che codificano programmi che si ripetono nel tempo, come le espressioni stereotipate o le sensazioni di benessere o malessere tipiche della vita emotiva. La seconda componente dell'emozione rimanda invece ai significati dell'esperienza, all'esistenza di schemi e concezioni generali che le conferiscono unitarietà inserendola nell'ambito di un più vasto schema o visione del mondo: tale componente dipende dalla corteccia cerebrale e in particolare da quella frontale. Come avviene per altri aspetti del comportamento, i gangli della base sono implicati nelle situazioni ripetitive e controllano memorie ricorrenti associate a rinforzi, a eventi positivi o negativi; la corteccia frontale entra invece in funzione quando vengono apprese nuove regole ed esperienze, quando viene fatta una valutazione del significato di una nuova realtà, cognitiva o emotiva che sia. Un modo più realistico per guardare all'emozione è quindi quello che tiene conto sia dei suoi caratteri adattivi, cioè del suo significato comune alle diverse specie animali, sia dei suoi aspetti fenomenologici.

3. Motivazione

Uno dei temi oggi più studiati dalle neuroscienze riguarda la motivazione, ossia quei comportamenti che implicano il soddisfacimento di alcuni bisogni e pulsioni, o la valutazione della realtà in modo positivo o

negativo. Per affrontare questo argomento si può partire dallo studio degli istinti, ossia dei comportamenti comuni ai diversi membri di una specie animale che si trasmettono per via ereditaria e non dipendono da forme di apprendimento. Gli studi in questo settore, da quelli condotti dagli etologi sul campo a quelli effettuati dai fisiologi in laboratorio, hanno indicato che alla base degli istinti c'è una pulsione, uno stato interno che dev'essere soddisfatto attraverso un 'atto di consumazione' che procura una gratificazione: per esempio, la pulsione alimentare dipende da uno stato interno legato a un basso livello di glucidi e può essere soddisfatta attraverso un atto di consumazione (il mangiare) che si associa a una sensazione gratificante. In modo simile, la sete dipende da un aumento della concentrazione salina dei liquidi dell'organismo e viene soddisfatta dal bere, associato anch'esso a una sensazione di rinforzo. La stessa pulsione sessuale dipende prevalentemente da uno stato interno, il livello di ormoni sessuali, e il suo soddisfacimento comporta sensazioni gratificanti.

La ricerca sugli istinti ha consentito di comprendere alcuni aspetti della gratificazione e di delinearne le componenti centrali e periferiche. Nel caso della pulsione alimentare, per esempio, è stato valutato il ruolo dei recettori gustativi, dei recettori che nello stomaco indicano lo stato di distensione dell'organo e dei recettori che a livello cerebrale registrano le variazioni di glucidi circolanti: queste ricerche hanno dimostrato che per soddisfare la fame, cioè per produrre una sensazione gratificante, i recettori periferici esercitano un ruolo secondario rispetto a quelli centrali. Per esempio, una soluzione di saccarina, dolce ma sprovvista di valore nutritivo, stimola i recettori gustativi ma non fa passare la sensazione di fame, se non momentaneamente; similmente, la distensione delle pareti dello stomaco, ottenuta attraverso l'immissione di sostanze voluminose ma prive di valore alimentare, blocca soltanto per qualche tempo i morsi della fame; al contrario, la somministrazione di zuccheri, anche se effettuata per via gastrica o endovenosa, cioè senza coinvolgimento dei recettori gustativi della bocca, induce una sensazione di sazietà. Tuttavia, malgrado la prevalenza dei fattori centrali – come nel caso della soluzione di zucchero somministrata per fleboclisi – i fattori periferici esercitano un ruolo non trascurabile, e il gusto è un elemento importante: in che modo valutiamo se un cibo è piacevole e, più in generale, se una determinata situazione è positiva o negativa?

Un primo aspetto da considerare è quello dei meccanismi alla base della gratificazione e delle sensazioni di piacere. Le ricerche sulle basi nervose di tali fenomeni hanno origine dagli esperimenti di James Olds e Peter Milner (1954) sulla cosiddetta 'autostimolazione cerebrale'. Questi ricercatori, studiando le basi biologiche della memoria, osservarono che se si faceva percorrere un labirinto a un animale (un ratto) al quale era stato impiantato un elettrodo nel cervello e se il ratto, una volta trovata la via d'uscita, riceveva una blanda stimolazione elettrica attraverso l'elettrodo, allora l'animale ricercava attivamente il luogo in cui aveva ricevuto la stimolazione elettrica cerebrale, come se esso fosse associato a una situazione piacevole, gratificante. Per approfondire questa osservazione, venne messo a punto un apparato in cui l'animale premendo una leva

attivava un meccanismo che induceva una stimolazione elettrica del cervello. Fu riscontrato che gli animali, dopo aver scoperto l'uso della leva, la premevano sempre più spesso; inoltre, se si impediva agli animali di stimolarsi dopo che si erano abituati agli effetti dell'autostimolazione e successivamente si dava loro la possibilità di farlo nuovamente, le autostimolazioni erano effettuate a un ritmo superiore all'usuale, come se dovessero recuperare quelle perdute.

Studi successivi indicarono che gli effetti gratificanti per l'animale dipendevano dall'attivazione di quello che venne definito 'sistema di ricompensa (o incentivante) cerebrale'. Tale sistema è costituito da un insieme di neuroni localizzati in un'area cerebrale chiamata 'ponte' e nei gangli della base, le cui fibre giungono sino alla corteccia cerebrale. Questi neuroni sono di tipo dopamminergico (utilizzano il trasmettitore dopamina) e possono anche essere attivati da una serie di droghe – anfetamina, cocaina, morfina – che inducono sensazioni di piacere o gratificanti. Oggi gli psicobiologi ritengono che numerosi tipi di gratificazione (alimentare, sessuale, da sostanze d'abuso, ecc.) siano mediati dallo stesso sistema di rinforzo, cioè dal sistema dopamminergico.

Un altro aspetto dei sistemi di rinforzo e di valutazione della realtà riguarda la sensazione di benessere e il tono dell'umore dell'individuo. Il sentirsi a proprio agio e soddisfatti, o insoddisfatti e depressi, deriva anche da un complesso bilancio tra lo stato interno e il modo in cui vengono valutati gli eventi che ci riguardano: da questo punto di vista sembra esistere una notevole differenza tra le posizioni della psicologia dinamica e quelle delle neuroscienze o della psichiatria biologica. Le teorie psicanalitiche sostengono infatti che esiste un nesso tra le pulsioni primarie e le gratificazioni – o la mancanza di gratificazioni – infantili (di qui l'importanza delle esperienze precoci, dei rapporti con la madre, ecc.) e le caratteristiche dell'umore di un adulto, la sua maggiore o minore propensione a valutare positivamente o negativamente i vari aspetti della propria esistenza, ecc. La psicologia biologica ritiene invece che il tono dell'umore, ed eventualmente lo stato depressivo di un individuo, siano legati prevalentemente all'efficienza del sistema di rinforzo cerebrale (i neuroni dopamminergici) e alla funzionalità del sistema serotoninergico (neuroni che utilizzano il mediatore nervoso serotonina) cerebrale. A sostegno delle proprie tesi, gli psicologi e psichiatri biologici indicano come il sentirsi felici e/o gratificati dipenda da fattori genetici, come dimostra l'alta correlazione nella valutazione del proprio benessere o disagio umorale riscontrata nelle coppie di gemelli monozygotici, e da fattori neurochimici, come dimostrato dal fatto che i farmaci che agiscono sulle ammine cerebrali (serotonina, dopamina, ecc.) esercitano un effetto antidepressivo. Tuttavia, numerosi neuroscienziati, tra cui lo stesso Kandel (1998), ipotizzano che possa esistere un ponte tra neuroscienze e psicologia dinamica, in quanto l'esperienza potrebbe ristrutturare le reti neurali implicate nei sistemi motivazionali e gli stessi significati dei vissuti individuali.

Nelle diverse situazioni cui abbiamo accennato – dai rinforzi alimentari o sessuali agli stati dell'umore e alla valutazione della realtà – il sistema dopaminergico esercita un ruolo critico non soltanto attraverso i meccanismi di rinforzo, ma anche facendo sì che venga prestata attenzione ad alcuni stimoli piuttosto che ad altri, agendo da filtro sulle diverse componenti della realtà ed 'etichettandola' a seconda delle situazioni. Questa attenzione selettiva caratterizza, per esempio, il comportamento delle persone depresse, le quali interpretano molte situazioni in modo negativo anche quando queste sono neutre o potenzialmente positive. I gangli della base non si limitano quindi a governare la motivazione attraverso il meccanismo della gratificazione, ma filtrano in modo molto raffinato stimoli e input provenienti dal mondo esterno, contribuendo in tal modo a determinare il tipo di realtà con cui un individuo può entrare in contatto. L'azione dei gangli della base, in particolare lo striato e il nucleus accumbens, si esplica attraverso un effetto esercitato sul talamo, la sede alla quale pervengono tutte le informazioni sensoriali. Il talamo, però, non recepisce in modo neutro ogni tipo di stimolo e sensazione: l'incremento del livello di dopamina nello striato, infatti, fa sì che il 'filtro' del talamo si allarghi lasciando passare una maggiore quantità di input. Quest'azione di filtro non riguarda soltanto l'informazione di tipo cognitivo, ma anche altri aspetti del comportamento, dalla motricità all'emozione. Allo striato ventrale giungono infatti informazioni dalla corteccia frontale e dal sistema limbico (cioè da amigdala, ippocampo, corteccia prefrontale ed entorinale), cosicché esso è un crocevia tra funzioni cognitive, motorie e motivazionali. Lo striato ventrale è quindi al centro sia dei comportamenti motivati rivolti verso un fine, sia del trattamento di informazioni relative al contesto, basate su complesse associazioni tra stimoli diversi. Esso ha un ruolo critico nella vita mentale, in quanto contribuisce all'intreccio pressoché inestricabile dei prodotti della coscienza primaria e della coscienza di ordine superiore, legata ai significati fondati sul linguaggio.

Neuroscienze. Basi biologiche dell'intelligenza

Enciclopedia della Scienza e della Tecnica (2007)

di Carlo Caltagirone

L'intelligenza è uno dei costrutti psicologici più ardui da definire e sintetizzare. Una definizione operativamente valida la descrive come un set di processi cognitivi, schemi logici e schemi comportamentali atti a cogliere gli aspetti rilevanti dei fenomeni e a elaborarli per il conseguimento di un fine specifico, come l'adattamento all'ambiente o la soluzione creativa dei problemi. L'intelligenza sembra configurarsi non come

una capacità unitaria e indifferenziata, ma come un insieme di funzioni e abilità necessarie alla sopravvivenza. I modelli cognitivi che ne hanno esaminato la struttura hanno posto l'accento, a seconda delle metodologie di analisi utilizzate, sull'esistenza di un 'fattore generale' e di un certo numero di 'abilità specifiche', oppure sull'esistenza di diverse abilità mentali 'primarie', correlate tra loro ma indipendenti dall'abilità generale.

Tali prospettive sono estremamente rilevanti dal punto di vista neuropsicologico, poiché suggeriscono un coinvolgimento diverso delle strutture cerebrali: nel primo caso, le varie regioni corticali sarebbero equipotenziali per quanto riguarda l'elaborazione della 'capacità generale', o in alternativa quest'ultima sarebbe modulata da una regione cerebrale specifica; nel secondo caso, ogni singola regione corticale rappresenterebbe il substrato neurologico di ogni singola funzione intellettuale. Recenti lavori di neuroimaging hanno fornito ulteriori apporti allo studio dei disturbi intellettivi e delle difficoltà di apprendimento, evidenziando alterazioni metaboliche di diverse aree cerebrali.

Passando all'esame delle determinanti genetiche e ambientali, la consueta dicotomia tra eredità e ambiente appare priva di fondamento, essendo ormai chiaro che allo sviluppo dell'intelligenza concorrono entrambi i fattori. L'approccio sperimentale ha infatti consentito di superare la concezione tradizionale, che riconduceva le differenze intellettive unicamente a un'ipotetica diversità biologica e genetica senza prendere in considerazione la moltitudine di variabili di altra natura che ne caratterizzano lo sviluppo. L'effetto di tale concezione è stato in molti casi quello di favorire una discriminazione di gruppi sociali o razziali culturalmente svantaggiati, in quanto l'ipotesi dell'esistenza di differenze intellettive di tipo costituzionale, e dunque immodificabili e irreversibili, non può che rafforzare lo sviluppo di simili pregiudizi.

Inoltre, se il livello intellettuale fosse espressione del solo potenziale ereditario, esso dovrebbe rimanere immutato per l'intera vita di una persona. Oggi, invece, la ricerca sperimentale riconosce all'intelligenza una natura estremamente complessa e dinamica, che varia non soltanto da persona a persona ma anche nell'arco della vita di uno stesso individuo. Se da un lato è vero che il suo livello tende a stabilizzarsi in corrispondenza di un certo stadio dello sviluppo, dall'altro la concezione per cui l'invecchiamento ne comporta necessariamente un impoverimento è ampiamente superata. Oggi le capacità intellettive vengono infatti suddivise in due categorie, a seconda che subiscano (per es., capacità di acquisire nuove conoscenze, rapidità nei tempi di risposta e memoria a breve termine) oppure non subiscano (per es., memoria a lungo termine e performance alle prove di vocabolario e informazione) un decadimento o deterioramento dovuto all'età.

Per quanto riguarda infine gli strumenti di valutazione dell'intelligenza, ci limitiamo a osservare che, nonostante l'ampia popolarità di cui essi godono e la disponibilità di ottimi valori normativi, gli studi psicometrici utilizzano sempre meno le batterie tradizionali del Wechsler-Bellevue e della WAIS. Ciò è dovuto alle difficoltà di interpretazione dei risultati ottenuti, vista l'attuale tendenza a considerare l'intelligenza non più come una funzione unitaria, e in quanto tale esprimibile tramite un quoziente intellettuale, bensì come una variabile complessa, il cui studio richiede un approccio combinato che utilizzi prove specificamente mirate a indagare aspetti intellettivi distinti. 1. Definizioni dell'intelligenza. 2. Intelligenza ed eredità. 3. Basi neurologiche dell'intelligenza. 1. Definizioni dell'intelligenza

Intelligenza e adattamento

L'intelligenza è da sempre un costrutto difficilmente inquadrabile in modo univoco all'interno di una tradizione scientifica che deve basarsi su definizioni ampiamente condivise e su adeguate metodologie d'indagine. In termini generali, essa può essere definita come un set di procedure volte a cogliere tratti rilevanti nei fenomeni e a elaborarli per il conseguimento di un fine specifico (Spinnler 1996). Al pari di altre funzioni cognitive, infatti, l'intelligenza non viene più considerata una funzione unitaria, consistente in un'unica abilità o facoltà mentale (come ritenevano i sostenitori del cosiddetto 'fattore generale') che spiegherebbe da sola i risultati dei più diversi test; al contrario, la concettualizzazione moderna comprende un insieme di schemi comportamentali astratti, utili per elaborare le informazioni al fine di risolvere compiti diversi. In tal senso, per esempio, Daniel N. Stern definisce l'intelligenza come la capacità generale di adattare pensiero e condotta a condizioni nuove, identificandola con la plasticità degli schemi logici e comportamentali.

L'intelligenza rappresenta dunque un insieme variegato di capacità, non riconducibili al comportamento istintivo o abitudinario, finalizzate all'adattamento all'ambiente. Ogni tipo di adattamento biologico implica un rapporto tra organismo e ambiente esterno e da esso deriva da un lato una trasformazione dell'organismo in funzione dell'ambiente, definita da Jean Piaget (1952) 'accomodazione', dall'altro un'incorporazione dell'ambiente nelle strutture cognitive e fisiche preesistenti dell'organismo, chiamata 'assimilazione'. Per Piaget, l'intelligenza consiste nelle operazioni che l'individuo effettua, prima su dati materiali (gli oggetti) e poi su simboli (per es., le parole che li rappresentano), al fine di potersi adattare alla realtà in modo efficace. Se l'adattamento è un processo dialettico di equilibrio tra accomodazione e assimilazione, la funzione dell'intelligenza è quella di regolare tale equilibrio. Operando inizialmente a livello dei processi sensomotori e

in seguito di quelli interiorizzati o 'mentalizzati', essa mantiene e regola l'equilibrio dinamico tra condizioni ambientali nuove e schemi di condotta precedentemente acquisiti.

L'intelligenza consiste dunque nel creare nuovi modi per coordinare le azioni. Le azioni interiorizzate (operazioni) sono coordinate in sistemi o strutture d'insieme e hanno la caratteristica della reversibilità. Il carattere peculiare dell'intelligenza è per Piaget proprio questa reversibilità costitutiva delle operazioni: per esempio, nel caso del pensiero matematico, l'addizione e la sottrazione sono reversibili, poiché si tratta della stessa azione orientabile in sensi inversi. Al contrario, processi come la percezione, la memoria, le associazioni o l'abitudine sono irreversibili: per esempio, la capacità di scrivere da sinistra a destra non implica quella di scrivere da destra a sinistra. La reversibilità dell'intelligenza è sinonimo di flessibilità cognitiva ed è legata a una proprietà fondamentale di equilibrio dinamico, reversibile per sua stessa natura.

Problem solving e creatività

La nozione di intelligenza comprende molteplici capacità, come le abilità mnestiche e di apprendimento (→ apprendimento: basi biologiche e apprendimento: basi molecolari) e quelle di problem solving che, pur non potendosi identificare tout court con essa, ne costituiscono indubbiamente i prerequisiti. L'insieme dei processi cognitivi e delle condotte che concorrono al comportamento di soluzione dei problemi è dunque uno degli elementi intrinseci alla definizione di intelligenza. Secondo Edouard Claparède, l'intelligenza è la capacità di risolvere problemi con l'aiuto del pensiero, e ciò richiede creatività, ovvero la capacità di costruire schemi originali e regole nuove e flessibili. Per Guilford e Hoepfner, il pensiero creativo consiste in un processo di assimilazione e di modifica della struttura logica di un problema che passa attraverso varie tappe: sensibilità alle dinamiche centrali del problema, fluidità ideativa, flessibilità nella manipolazione delle immagini mentali e originalità. Secondo Ulric Neisser, l'intelligenza permette di ristrutturare i dati di un problema attraverso processi sintetici, intuitivi e creativi, oltre che di tipo logico-analitico. Secondo la teoria strutturalista della Gestalt, infine, si può parlare di una 'intelligenza creativa', che permette di riorganizzare in modo alternativo una percezione a partire da una visione sintetica delle proprietà dell'oggetto; a essa si contrappone una 'intelligenza logica di tipo astratto', che permette di esaminare un evento in modo analitico.

L'intelligenza implica quindi un uso produttivo del pensiero e determina un'innovazione comportamentale che si oppone alla tendenza a riproporre in modo meccanico gli schemi già appresi in precedenza. Nell'attività di problem solving si attuano processi di autoorganizzazione e ristrutturazione del problema che modificano il rapporto tra soggetto e oggetto. Per esempio, il procedimento per insight studiato da Wolfgang Köhler consiste

in operazioni mentali di riorganizzazione cognitiva del 'campo percettivo' che rendono possibile l'acquisizione immediata della consapevolezza di una nuova relazione tra gli elementi del campo stesso. Una volta superati alcuni step fondamentali la soluzione arriva rapidamente, a meno che non intervenga una 'fissazione funzionale', o effetto Einstellung, nel qual caso la ristrutturazione produttiva viene ostacolata da una distorsione funzionale, dovuta a sua volta a fattori come l'esperienza passata o la complessità del problema.

Il comportamento manifesto di problem solving è stato studiato anche da parte delle teorie comportamentiste, con particolare riguardo ai processi analitici di soluzione di problemi mediante procedimento 'per prove ed errori'. Tale procedimento, caratterizzato da buone probabilità di successo rapido, si contrappone a quello per insight, che ha tempi di soluzione estremamente variabili. Il cognitivismo, integrando le tradizioni del comportamentismo e dello strutturalismo, ha inserito all'interno del nesso deterministico stimolo-risposta il ruolo dei processi di elaborazione delle informazioni, per cui la soluzione di un problema è vista come l'esito di complessi processi cognitivi. I primi tentativi di elaborare modelli per schematizzare i processi di elaborazione cognitiva nelle attività di problem solving sono stati quelli di Allen Newell e Herbert A. Simon. Essi hanno condotto negli anni Ottanta allo sviluppo di tentativi di descrivere le attività cognitive complesse nell'ambito della modellistica e della simulazione e una serie di ricerche sull'intelligenza artificiale. L'insoddisfazione dovuta ai limiti intrinseci all'analogia mente-computer ha portato infine al fiorire di ricerche maggiormente incentrate sul ruolo della logica soggettiva nel procedimento di problem solving, all'uso dell'autoosservazione nella formulazione delle ipotesi e alla considerazione del legame tra gli aspetti cognitivi e quelli affettivi, motivazionali ed emozionali.

2. Intelligenza ed eredità

Numerosi studi hanno cercato di chiarire quali siano le basi genetiche dell'intelligenza. Secondo la moderna prospettiva biologica, essa è una sorta di 'costruzione' operata dall'individuo sulla base del suo patrimonio genetico, ma con il continuo apporto dall'ambiente circostante. Se è assodato che i fattori ereditari e quelli ambientali concorrono nel determinare lo sviluppo dell'intelligenza, occorre ancora chiarire in che misura vadano attribuite agli uni o agli altri le differenze intellettive tra individui. È opportuno precisare che per 'ambiente' si intende un insieme di fattori estremamente diversi, che hanno in comune la caratteristica di non essere trasmessi geneticamente. Al contrario, per eredità la biologia moderna intende il patrimonio trasmesso dai genitori ai figli attraverso i geni, e più precisamente attraverso le molecole di acido desossiribonucleico (DNA) contenute nei cromosomi. Per quanto riguarda le variabili psicologiche, occorre specificare che non si può parlare di 'eredità psicologica' o 'intellettuale', in quanto a essere ereditati non sono comportamenti od

oggetti psichici ma determinanti genetiche. L'influenza dei fattori ereditari si esplica attraverso le strutture e gli apparati fisiologici, che sono però modellati dai fattori ambientali.

Alcuni studi hanno cercato di individuare 'indici di ereditabilità', ossia di calcolare le 'quote' di eredità e di ambiente, attraverso lo studio del rapporto tra grado di parentela e grado di somiglianza psichica. I metodi più usati sono le analisi genealogiche e i confronti, per esempio, tra figli e genitori adottivi o non adottivi. Un metodo frequentemente utilizzato, forse il più rigoroso benché non esente da errori, è quello dei gemelli, inaugurato da Francis Galton nel 1875. Esso consiste nel paragonare una popolazione di gemelli monozigoti a una di gemelli dizigoti. Nei gemelli monozigoti e dizigoti allevati nello stesso ambiente familiare si può infatti ipotizzare che le differenze di intelligenza dovute a differenze ambientali siano equivalenti. A tali differenze si aggiungono nel caso dei gemelli dizigoti quelle dovute all'eredità genetica. Sottraendo le differenze osservate nella popolazione dei monozigoti (varianza del gruppo dei monozigoti, V_{mz}) da quelle osservate nella popolazione dei dizigoti (varianza del gruppo dei dizigoti, V_{dz}) si ottiene un parametro che può essere utilizzato come indice di ereditabilità ($H = V_{dz} - V_{mz}$, dove H sta per heritability).

I risultati degli studi che si sono susseguiti a partire dagli anni Quaranta sono per lo più concordi. Secondo varie evidenze, per quanto riguarda l'intelligenza, la parte di varianza attribuibile all'eredità corrisponde ai 2/3 o ai 3/4 (a seconda delle ricerche) della varianza totale, per cui nella determinazione delle differenze intellettuali tra gli individui i fattori genetici sembrano pesare due o tre volte di più dei fattori ambientali. Per poter interpretare i dati correttamente occorre, tuttavia, considerare alcuni importanti limiti del metodo. Innanzitutto, il grado di omogeneità dell'ambiente, ovvero della popolazione studiata, influenza notevolmente le quote rispettive di eredità e ambiente, nel senso che la quota attribuibile a quest'ultimo è tanto minore quanto più esso è omogeneo. In secondo luogo, bisogna considerare che le stime di varianza pari a 2/3 o 3/4 rappresentano la media della popolazione esaminata e non possono essere utilizzate per spiegare le differenze intellettive osservate, per esempio, tra due individui. Allo stesso modo, non è possibile basarsi su tali stime di varianza per spiegare un'eventuale differenza tra due popolazioni, in quanto la risposta al quesito delle differenze interindividuali all'interno di una stessa popolazione non si può trasporre al quesito delle differenze interpopolazioni, per esempio tra classi sociali o gruppi etnici diversi.

Questo argomento è alla base del tentativo di mettere a punto test per la valutazione dell'intelligenza che siano indipendenti dalle differenze culturali e sociali (culture free test). L'ipotesi di base è che eliminando le attività verbali, ritenute in stretta relazione con l'ambiente socioculturale, a favore di attività di pura manipolazione, si possa esprimere il potenziale intellettuale 'purificato', tale da dare agli individui culturalmente svantaggiati la

possibilità di ottenere risultati uguali o anche superiori a quelli dei privilegiati. Tuttavia, gli studiosi ritengono che un test totalmente indipendente dalla cultura sarebbe privo di reale utilità e i tentativi di ottenere prove di intelligenza prive di contenuti sociali e culturali sono stati in ogni caso fallimentari. Infatti, le diverse misurazioni hanno rivelato forme diverse di intelligenza, ma esse dipendevano comunque tutte, seppur in misura variabile, dalle condizioni ambientali.

La prospettiva ereditaria riguarda sia l'intelligenza misurata come funzione generale, sia quella misurata attraverso le singole funzioni cognitive individuate con l'analisi fattoriale, per esempio mediante la Primary mental abilities, o PMA, di Thurstone. Le ricerche compiute tramite questa batteria di prove offrono un elevato indice di ereditabilità per il fattore verbale, mentre il fattore che sembra dipendere più fortemente dall'ambiente è quello del 'ragionamento'. Uno studio che si è avvalso della WAIS (Wechsler adult intelligence scale) ha rilevato invece indici di ereditabilità equivalenti per la scala verbale e per quella di performance. Ma è la nozione di 'verbale' e 'non verbale' ad apparire in verità arbitraria, e tale contrapposizione risulta estremamente artificiale se riferita a individui privi di gravi compromissioni linguistiche o prassiche.

La stessa contrapposizione tra eredità e ambiente è ormai superata. Tra i fattori genetici e quelli ambientali esistono interazioni molto complesse: l'individuo utilizza l'ambiente in funzione del patrimonio ereditario di cui dispone e, tramite l'azione dell'ambiente, realizza il suo potenziale ereditario. Infine, i fattori ambientali non agiscono allo stesso modo nelle diverse fasi del ciclo vitale: essi hanno infatti la loro massima efficacia nei periodi di sviluppo rapido, ovvero nella prima infanzia, verso il sesto anno di vita e nell'adolescenza.

3. Basi neurologiche dell'intelligenza

La struttura dell'intelligenza

Lo studio della struttura dei processi intellettivi ha avuto inizio grazie a Charles E. Spearman, che per primo riconobbe l'importanza che potevano avere in merito i metodi statistico-matematici. Avendo osservato che tutti i test per la misurazione dell'intelligenza correlano positivamente tra loro, egli ipotizzò l'esistenza di un fattore generale di intelligenza (fattore g, fig. 2). D'altra parte, sulla base dell'osservazione che le correlazioni tra i test non indicano comunque un grado di accordo completo, ipotizzò anche la presenza di un'abilità specifica (fattore s). Le prestazioni ottenibili a un test di intelligenza sembravano dunque dipendere sia da una capacità generale sia da un'abilità specifica (teoria dei due fattori).

Con il progredire dei metodi di analisi fattoriale si svilupparono teorie strutturali dell'intelligenza su basi statistiche, come la 'teoria gerarchica delle capacità intellettive' di Cyril Burt, che identificò un fattore generale, alcuni fattori 'di gruppo' (che mostravano un'elevata correlazione con i test di un determinato gruppo e una bassa correlazione con quelli di altri gruppi) e fattori specifici per i singoli test. Luis L. Thurstone, al contrario, utilizzando un diverso metodo di analisi fattoriale, concluse che non esisteva alcun fattore generale, ma solamente una serie di fattori diversi che egli chiamò 'abilità mentali primarie'. Hans J. Eysenck postulò una struttura gerarchica dell'intelletto, in cui il ruolo fondamentale era attribuito alla rapidità dei processi cognitivi. Joy P. Guilford sviluppò la teoria multifattoriale di Thurstone, classificando le abilità intellettive attraverso parametri come le operazioni che si possono compiere, i loro contenuti e i loro prodotti (fig.3).

Un autore che si è occupato di 'neurologia dell'intelligenza', Maureen Piercy, ha osservato come le diverse concezioni teoriche che sono state elaborate a partire dai dati ottenuti con i diversi metodi di analisi abbiano implicazioni differenti per quanto riguarda il substrato neurologico dei processi intellettivi. Infatti, le teorie che ipotizzano l'esistenza di un'abilità generale associata a un certo numero di fattori specifici suggeriscono che l'abilità generale sia mediata da una determinata regione cerebrale, o che tutte le regioni siano equipotenziali per quanto riguarda l'elaborazione dell'abilità generale. Le teorie che postulano l'esistenza di diversi fattori primari correlati tra loro e non subordinati a una capacità generale suggeriscono, invece, che le diverse strutture corticali costituiscano il substrato neurologico di funzioni intellettive distinte e indipendenti tra loro. La teoria di Guilford, avendo postulato un altissimo numero di abilità intellettive indipendenti, sembra accordarsi con un modello neuropsicologico localizzazionista.

Secondo Guido Gainotti, le numerose definizioni dell'intelligenza possono essere classificate in due gruppi principali. Il primo è quello che considera contemporaneamente diversi aspetti dell'attività intellettuale, come nel caso della teoria di Alfred Binet e delle sue cinque attività essenziali: giudizio, buon senso, senso pratico, iniziativa e capacità di adattarsi alle circostanze. Al secondo gruppo appartengono invece le definizioni che si basano su un unico aspetto, ritenendolo paradigmatico dell'intero concetto di intelligenza. Se un limite delle prime è che raggruppano con uno stesso termine capacità molto diverse tra loro, le seconde, considerando un solo aspetto dell'attività intellettuale, rischiano d'altronde di trascurare la complessità del costrutto a favore di una scelta parziale. In ogni caso, le teorie sulla struttura dell'intelligenza possiedono importanti implicazioni per lo studio dei rapporti tra lesioni cerebrali e alterazioni dei processi cognitivi e per la comprensione delle problematiche cliniche poste dal deterioramento intellettuale.

Il deterioramento intellettuale

Gainotti definisce il 'deterioramento intellettuale' come una diminuzione diffusa dei valori ottenuti per diversi tipi di prestazioni cognitive misurabili attraverso test di intelligenza. Spesso tale riduzione si accompagna dal punto di vista neuropatologico a un'estesa atrofia e a una diffusa sofferenza delle strutture cerebrali. In ogni caso, è estremamente arduo stabilire il rapporto tra estensione del danno neurologico e diffusione del deficit cognitivo. Inoltre, è stata postulata una diversa vulnerabilità delle varie funzioni intellettive al danno organico cerebrale, per cui mentre alcune sarebbero estremamente sensibili al deterioramento, altre sarebbero più 'resistenti'. Per esempio, le associazioni prevalentemente verbali consolidate nel tempo e indipendenti dai tempi di esecuzione sembrano essere meno influenzate dall'invecchiamento e dalla presenza di lesioni rispetto alle capacità di acquisire nuovo materiale e a quelle che richiedono rapidità nei tempi di esecuzione. Da un punto di vista teorico, tale distinzione potrebbe corrispondere alla dicotomia, proposta da autori quali Donald O. Hebb e Raymond B. Cattell, tra due forme di intelligenza: la prima costituirebbe il potenziale intellettuale del soggetto, ovvero la sua capacità di acquisire nuove conoscenze e abilità cognitive (abilità fluida), mentre la seconda rappresenterebbe l'insieme delle abilità e delle conoscenze già acquisite e consolidate (abilità cristallizzata). Il primo tipo – consistente in schemi logici caratterizzati da possibilità adattive e modificative – avrebbe un ruolo predominante nel corso dell'età evolutiva, diminuirebbe con l'avanzare dell'età e sarebbe notevolmente influenzato da ogni tipo di danno organico cerebrale. La seconda forma di intelligenza, consistente in schemi logici già consolidati, sarebbe in grado di essere mantenuta anche da una quantità ridotta di sostanza cerebrale e dunque più resistente all'invecchiamento e alle lesioni.

È noto che il pattern di deterioramento intellettuale conseguente alle lesioni cerebrali è differente da quello prodotto dal normale processo di invecchiamento e cambia in funzione dell'eziologia e soprattutto della localizzazione delle lesioni stesse. È probabile che, per esempio, in alcune forme di demenza dove a lesioni atrofiche diffuse si associano lesioni circoscritte dell'encefalo, il pattern di deterioramento cambi in funzione delle attività cognitive compromesse dal danno focale. La neuropsicologia contemporanea si è concentrata sull'individuazione dei pattern di deterioramento caratteristici di diverse sindromi demenziali. Gainotti distingue tra 'deterioramento intellettuale' e 'disturbi del funzionamento intellettuale': il primo si associa a lesioni diffuse della corteccia cerebrale, mentre i secondi sono verosimilmente dovuti a disturbi di natura affettivo-emozionale che vanno a interferire con i processi di pensiero e con le attività cognitive, come nel caso delle sindromi psichiatriche. A differenza del deterioramento, i disturbi del funzionamento intellettuale sembrano scomparire qualora si attenuino le perturbazioni affettive. Poiché il deterioramento intellettuale e la depressione danno luogo a un quadro clinico molto simile, un'accurata diagnosi differenziale è decisiva anche ai fini delle implicazioni prognostiche e terapeutiche. Oltre ai livelli di ansia e di depressione, molte altre variabili possono

influenzare il livello di funzionamento cognitivo, come un basso livello di scolarità, il quoziente intellettivo globale, il sesso di appartenenza, le abitudini di vita.

Un'altra distinzione riguarda le forme omogenee e non omogenee di deterioramento intellettivo: le prime sono quelle forme cliniche in cui le prestazioni appaiono diffusamente e uniformemente deficitarie, nelle seconde il paziente mostra prestazioni vistosamente patologiche in alcune prove ma non in altre. Questa discordanza è verosimilmente dovuta alla disintegrazione settoriale di alcune abilità, che orienta la diagnosi verso un'eziologia di tipo non degenerativo, bensì, per esempio, di tipo vascolare, neoplastico, infiammatorio; al contrario, un deterioramento omogeneo orienta verso un'eziologia di tipo degenerativo, caratterizzata da lesioni atrofiche diffuse della corteccia cerebrale. Le disorganizzazioni settoriali, o 'lesioni cerebrali a focolaio', si possono manifestare inizialmente con disturbi di singoli aspetti del funzionamento intellettivo: per esempio, i cerebrolesi sinistri presentano un deficit più marcato nelle prove verbali, mentre i cerebrolesi destri nelle prove di performance. I disturbi afasici possono influire sulle prestazioni ottenute alle prove di intelligenza verbale, i disturbi visuo-percettivi e visuo-motori sui punteggi ottenuti alle prove di intelligenza visuo-spaziale, i disturbi di coordinazione motoria sui risultati di tutte le prove in cui il tempo di risposta costituisce un indicatore. Nei pazienti con lesioni focali dell'encefalo, il concetto di intelligenza generale non è dunque utilizzabile, in quanto le prestazioni non sono legate all'esistenza di un fattore generale ma all'interferenza di disturbi strumentali (agnosia, aprassia, afasia) che danneggiano uno o più tipi di performance.

Nella valutazione del deterioramento intellettivo si pongono alcuni problemi metodologici, che riguardano in particolare la distinzione tra competenza e performance. Attraverso i test psicometrici per la valutazione dell'intelligenza, infatti, vengono misurate delle performance che non possono essere considerate lo specchio fedele delle sottostanti competenze. Infine, è opportuno ricordare che tali prestazioni dipendono anche da fattori extraintellettivi, come per esempio la motivazione e una serie di altre capacità quali la memoria semantica e procedurale e le funzioni attentive ed esecutive. Secondo alcuni autori, le differenze intellettive interindividuali si baserebbero su una diversa disponibilità o ricchezza, geneticamente e culturalmente determinata, di schemi di elaborazione dei dati, o memory organized packets. I meccanismi attentivi giocano un ruolo fondamentale soprattutto nelle procedure astratte molto sofisticate, come nei processi logici di deduzione e induzione, nelle procedure matematiche e in quelle linguistiche, e persino in quelle etiche ed estetiche. L'efficienza intellettiva di queste procedure risiede nella prontezza con cui sono evocabili, nella loro flessibilità di adattarsi e nel loro essere 'astratte' o 'universali' tra le diverse culture. Nella nozione di intelligenza generale risiedono anche aspetti relativi alle capacità simboliche e di astrazione, e quindi al

pensiero concettuale: un 'concetto' può essere definito come una rappresentazione che si forma nella mente generalizzando dai particolari, e il 'pensiero concettuale' come l'insieme delle operazioni richieste per formare e manipolare i concetti.

Neuroscienze. Basi biologiche delle emozioni

Enciclopedia della Scienza e della Tecnica (2007)

di Kevin S. LaBar, Joseph E. LeDoux

L'emozione rende la vita degna di essere vissuta e rappresenta uno degli stati mentali più caratteristici di Homo sapiens. Il suo studio è utile sia per approfondire la conoscenza della nostra specie sia per prevenire o curare i disturbi mentali. Fino a qualche tempo fa, tuttavia, le neuroscienze sperimentali hanno continuato per tradizione consolidata a dedicare più attenzione alle basi neuronali di processi mentali quali il linguaggio, la percezione, l'attenzione e la memoria. Né tale resistenza del mondo scientifico deve sorprendere, perché a prima vista le emozioni corrispondono certamente a un costrutto psicologico troppo complesso e ricco di sfumature per poter essere facilmente ricondotto a paradigmi e condizioni di laboratorio standardizzate. Tuttavia, la ricerca più recente si sta finalmente interessando alle basi biologiche delle emozioni, occupandosi delle emozioni specifiche più che del concetto generale. Questo approccio si fonda sull'idea che almeno alcune emozioni siano il prodotto di sistemi neuronali filogeneticamente antichi e anatomicamente definiti, che si sono evoluti per consentire la sopravvivenza dell'individuo e della specie. Se questa ipotesi è corretta, allora occorre ricercare non un sistema generale al quale ricondurre tutte le emozioni, bensì le basi neuronali delle emozioni singole, poiché almeno alcune di esse dipenderanno da sistemi ben distinti tra loro.

La sperimentazione è stata condotta principalmente a partire da una procedura di indagine comportamentale denominata 'condizionamento classico' (o 'pavloviano', dal nome del suo scopritore Ivan P. Pavlov). Grazie a numerose varianti di questo metodo, utilizzate su animali di laboratorio e spesso associate a lesioni chirurgiche o farmacologiche di aree o nuclei nervosi, è stato possibile ricostruire in modo dettagliato la mappa neurofisiologica delle regioni cerebrali e delle basi cellulari che mediano l'acquisizione, l'organizzazione e l'espressione delle reazioni di paura. Studi ancor più recenti hanno reso possibile l'identificazione di meccanismi analoghi nel cervello umano.

Tale mappa vede il suo centro nevralgico nell'amigdala, un nucleo sottocorticale che anatomicamente e funzionalmente fa parte del sistema limbico; altre strutture coinvolte nell'apprendimento delle risposte di paura

condizionata sono l'ippocampo e i centri del sistema nervoso vegetativo collocati nel tronco dell'encefalo. Il sistema limbico (e in particolar modo l'ippocampo) elabora i complessi input provenienti dall'ambiente, al fine di costruire una rappresentazione configurazionale della situazione e di organizzare risposte efficaci di evitamento degli stimoli ansiogeni.

Nel loro insieme, i risultati di queste ricerche si sono dimostrati fondamentali per individuare l'origine delle nostre emozioni e i meccanismi che le regolano, nonché per chiarire numerosi aspetti dei disturbi neurologici o psicologici della sfera emotiva e per trarre indicazioni preziose per la loro terapia, in particolare nel caso dei disturbi d'ansia (un'emozione molto vicina alla paura).

Sommario

1. Il condizionamento della paura: una visione d'insieme. 2. Le basi neuronali del condizionamento della paura. 3. La valutazione contestuale dei segnali di pericolo. 4. La modulazione delle risposte emotive. 5. Il cervello emotivo negli esseri umani. □ Bibliografia.

1. Il condizionamento della paura: una visione d'insieme

Se molti stimoli sono in grado di suscitare in noi delle emozioni, ciò avviene grazie alle esperienze che abbiamo vissuto nel passato e a ciò che abbiamo appreso da esse. In altre parole, le emozioni che noi proviamo dipendono dalle associazioni mentali che formiamo tra i vari stimoli attraverso l'apprendimento. Il condizionamento della paura rappresenta una delle principali forme di apprendimento con cui impariamo a riconoscere un pericolo e sembra svolgere un ruolo anche nell'apprendimento delle paure patologiche (cioè dei disturbi d'ansia, come le fobie e gli attacchi di panico).

Grazie agli studi pionieristici condotti dal fisiologo russo Premio Nobel Ivan P. Pavlov sul cosiddetto condizionamento classico, è ben noto che uno stimolo inizialmente neutro e privo di un significato psicologico evidente (stimolo condizionato) può acquisire la proprietà di suscitare una risposta emotiva se si accompagna ripetutamente nel tempo a un evento significativo dal punto di vista biologico (stimolo incondizionato).

Quando un organismo apprende ad associare lo stimolo condizionato a quello incondizionato in conseguenza del fatto che il primo precede costantemente il secondo, le risposte fisiologiche e comportamentali innate passano sotto il controllo dello stimolo condizionato, che acquisisce così un valore predittivo. Per esempio, se a un ratto viene presentato in laboratorio uno stimolo condizionato come quello rappresentato da un suono, che di per sé non suscita nessuna reazione nell'animale, e subito dopo gli viene somministrato uno stimolo incondizionato costituito da una leggera scarica elettrica, a seguito di numerosi abbinamenti tra suono e

scarica il ratto prende a reagire al suono con le stesse risposte di paura (definite 'condizionate') che prima erano riservate alla scarica.

Alcuni esempi di risposte specie-specifiche soggette a condizionamento classico e dotate di un'utilità difensiva per gli animali sono costituiti dalle alterazioni dell'attività del sistema nervoso autonomo (il battito cardiaco, la pressione arteriosa) e di quello endocrino (il rilascio di ormoni), nonché dalla modulazione della sensibilità al dolore (analgesia) e dal riflesso di ammiccamento (battito degli occhi). Un paradigma sperimentale molto usato è quello dell'immobilità condizionata o freezing (congelamento), in cui l'animale, di solito un roditore, reagisce paralizzandosi completamente per alcuni secondi, come se fosse appunto congelato, quando viene esposto a uno stimolo incondizionato che produce paura (come una scossa elettrica).

Il condizionamento classico della paura è un fenomeno dimostrabile in tutte le specie, essendo stato osservato nelle mosche, nei vermi, nelle lumache, nei pesci, nei piccioni, nei conigli, nei ratti, nei gatti, nei cani, nelle scimmie e negli esseri umani. Questa tecnica permette ai ricercatori di esaminare la formazione di nuove associazioni emotive per mezzo di semplici stimoli sensoriali e quindi di creare reazioni comportamentali ben definite. In tal modo, un fenomeno psicologico sfuggente come l'emozione può essere affrontato a livello neurobiologico. Grazie alla sua relativa semplicità, il condizionamento della paura è diventato un modello molto usato per comprendere i meccanismi cellulari dell'apprendimento e della memoria, e i principi su cui si basa possono essere utili in molti contesti per spiegare vari fenomeni, tra i quali la genesi dei disturbi della sfera emotiva e la formazione traumatica di ricordi spiacevoli.

2. Le basi neuronali del condizionamento della paura

È un dato ormai definitivamente accertato che l'amigdala, una piccola regione del lobo temporale mediale del cervello, è essenziale per acquisire ed esprimere le associazioni di paura condizionata. In numerose specie animali, le sue lesioni (in particolare quelle dei nuclei laterale, basale e centrale) influiscono negativamente sull'elaborazione degli stimoli e sui tempi di reazione. Inoltre, la sua inattivazione temporanea interferisce con le capacità di acquisizione ed espressione della paura condizionata. Diversi studi clinici hanno dimostrato che le lesioni dell'amigdala producono un quadro caratteristico di alterazioni del comportamento emotivo (la cosiddetta sindrome di Klüver-Bucy), ma la ricerca sperimentale sul condizionamento indica che tale regione cerebrale è fondamentale anche per l'apprendimento emotivo.

L'amigdala svolge funzioni così specifiche sia perché è un nucleo anatomicamente complesso al suo interno, sia perché si trova al centro dell'intricata rete di connessioni neuronali del cervello. Riceve infatti (precisamente nel suo nucleo laterale) informazioni da tutte le vie sensoriali, comprese fibre nervose provenienti direttamente dal bulbo olfattivo, dalle aree corticali unimodali visive, uditive e somatosensoriali, e

da quelle associative polimodali come la corteccia temporale, frontale, cingolata e insulare e la formazione ippocampale. Dopo essere stata elaborata nel nucleo laterale, l'informazione sensoriale viene trasmessa, attraverso vie e collegamenti interni, ai nuclei basale e basale accessorio, dove viene integrata con input aggiuntivi e trasmessa al nucleo centrale, che funge da principale stazione di output dell'amigdala. Da qui l'informazione raggiunge infatti, tramite varie vie anatomiche, i centri nervosi del tronco encefalico, i quali presiedono a vari aspetti della reattività emotiva. Uno schema semplificato di queste connessioni è illustrato nella fig. 4.

Tra le vie anatomiche dell'amigdala che sono interessate in modo specifico al condizionamento della paura, sono stati studiati in particolare i circuiti neuronali che regolano le risposte ai segnali acustici. L'informazione uditiva raggiunge l'amigdala per mezzo di due vie parallele: una proiezione diretta che collega tra loro talamo e amigdala e una proiezione indiretta che collega talamo, corteccia e amigdala. La via diretta dal talamo acustico (nucleo genicolato mediale e nucleo intralaminare posteriore) è rapida, ma fornisce informazioni piuttosto approssimative sui caratteri dello stimolo; per contro, la via corticale è più lenta, ma ha la capacità di rappresentare le informazioni acustiche con maggiore precisione. Ciascuna di queste vie di trasmissione è sufficiente per mediare forme semplici di condizionamento della paura, ma per l'apprendimento di risposte a stimoli più complessi è necessario il contributo della via corticale.

Quali vantaggi derivano dalla presenza di questi due sistemi paralleli? In primo luogo, l'esistenza di un percorso sottocorticale permette all'amigdala di individuare rapidamente gli stimoli potenzialmente minacciosi provenienti dall'ambiente, fatto questo evidentemente utile nelle situazioni di pericolo. In secondo luogo, il percorso subcorticale può servire a 'indirizzare' l'amigdala a valutare attentamente le informazioni ricevute tramite il percorso corticale. Per esempio, se un forte rumore può essere sufficiente di per sé a indurre uno stato d'allarme e a preparare l'animale ad affrontare un pericoloso predatore che si trovi in agguato, le reazioni difensive specifiche possono invece venire attivate soltanto dopo che la corteccia uditiva abbia analizzato la posizione, la frequenza, l'intensità e le altre caratteristiche del suono per determinarne con precisione la qualità e la natura. È interessante osservare, tra l'altro, che le cellule del nucleo laterale dell'amigdala reagiscono a suoni che rientrino nella gamma delle vocalizzazioni tipiche dei conspecifici: in molti Mammiferi le vocalizzazioni specie-specifiche di difesa sono essenziali per comunicare al gruppo la presenza nelle vicinanze di possibili predatori. Le reazioni comportamentali alle vocalizzazioni possono essere modificate secondo il paradigma del condizionamento classico e possono favorire l'adattamento dell'individuo al suo habitat naturale.

Una lesione delle regioni dell'amigdala sopra descritte interferisce pesantemente con il condizionamento della paura, quale che sia la modalità con cui questo viene misurato. Le lesioni delle aree verso cui l'amigdala proietta, invece, e in modo particolare quelle delle aree verso cui proietta il nucleo centrale, alterano invece

singole e specifiche modalità di risposta. Così, le lesioni del grigio centrale mesencefalico, che è un'area del tronco dell'encefalo, interferiscono selettivamente con le attività difensive di tipo motorio, come per esempio il comportamento di congelamento. Per contro, le lesioni dell'ipotalamo laterale alterano le risposte condizionate che dipendono dal sistema nervoso simpatico, come per esempio l'aumento della pressione sanguigna, ma lasciano immutata la reazione motoria. I centri nervosi del tronco encefalico sembrano essere coinvolti in reti neuronali che mediano risposte di paura condizionata molto specifiche, come per esempio la bradicardia e il trasalimento.

Un'ulteriore conferma dell'importanza del nucleo centrale e delle sue proiezioni proviene da esperimenti in cui sono state prodotte lesioni a questa struttura dopo l'addestramento nel paradigma di condizionamento della paura. Tali lesioni impediscono infatti l'espressione delle risposte di paura anche dopo un addestramento adeguato. Il nucleo centrale funge, quindi, da collegamento integrativo tra i processi di valutazione della valenza emotiva degli stimoli, che si attuano all'interno dell'amigdala, e l'espressione della risposta emotiva dell'individuo da parte dei vari organi bersaglio o effettori.

3. La valutazione contestuale dei segnali di pericolo

Pur non possedendo intrinsecamente particolari qualità affettive, alcuni segnali esterni possono assumere significati emotivi differenti a seconda dell'ambiente, cioè del contesto, all'interno del quale si presentano: il nostro capo ufficio, per esempio, ci intimorisce di più nell'ambiente di lavoro che durante un ricevimento. Un intero contesto ambientale può anche acquisire di per sé la proprietà di suscitare emozioni, per via delle esperienze che vi abbiamo fatto in precedenza: è questo il caso, per esempio, del sentiero in mezzo al bosco lungo il quale abbiamo scorto più volte una vipera. È dunque una necessità adattativa di ogni organismo saper valutare non soltanto i segnali discreti che hanno significato emotivo innato o appreso, ma anche le implicazioni emotive di interi contesti ambientali e delle situazioni sociali.

Per studiare in laboratorio l'elaborazione emotiva contestuale ci si avvale delle cosiddette procedure di condizionamento contestuale: se un ratto è condizionato a prevedere il sopraggiungere di una scarica elettrica alla zampa in concomitanza con un suono quando si trova all'interno di un apposito box di condizionamento, esso reagirà con manifestazioni di paura non soltanto allo stimolo condizionato del suono, ma anche allo stesso box di condizionamento, pur in assenza del suono. In altre parole, reazioni di paura nei confronti del contesto globale all'interno del quale è stata somministrata la scarica elettrica possono manifestarsi anche in assenza dello stimolo condizionato specificamente associato a quel contesto.

Quali sono le regioni cerebrali che mettono in relazione i segnali contestuali con le reti di risposta emotiva? Di recente è stato dimostrato che l'ippocampo svolge un ruolo fondamentale nella formazione e nella

conservazione delle associazioni contestuali di paura. Lesioni ippocampali prodotte prima dell'addestramento interferiscono con l'acquisizione di risposte condizionate al contesto, ma non impediscono il condizionamento a uno stimolo specifico quale, per esempio, un suono. Inoltre, lesioni prodotte dopo l'addestramento riducono le capacità di conservare le associazioni di paura contestuale, pur non esercitando, di nuovo, alcun effetto sulle risposte a uno stimolo condizionato sensoriale specifico. Tutto ciò è in linea con le teorie dell'elaborazione contestuale e relazionale mediata dall'ippocampo, secondo cui questa struttura cerebrale elabora rappresentazioni complesse dell'ambiente, che sono basate non su semplici associazioni tra coppie di stimoli ma su reti strutturate di associazioni reciproche tra molteplici stimoli. È quindi possibile che il ruolo dell'ippocampo nel condizionamento contestuale sia quello di codificare le rappresentazioni delle relazioni tra gli stimoli ambientali; questo passaggio è assolutamente necessario per il collegamento con le risposte emotive. Secondo questa interpretazione, l'ippocampo rappresenta una struttura integrativa sensoriale e cognitiva di ordine superiore, che è dotata di un'influenza specifica sulle reazioni emotive ma che non è specializzata nell'elaborazione emotiva propriamente detta. Per contro, numerosi studi sperimentali fanno pensare che l'amigdala abbia un ruolo sia nell'elaborazione degli stimoli sensoriali specifici sia in quella degli stimoli contestuali della paura condizionata: infatti, mentre i ratti che presentano lesioni dell'amigdala, a differenza di quelli non lesionati o con lesioni della corteccia, non reagiscono con il congelamento né agli stimoli sensoriali specifici né all'intero contesto sperimentale, i ratti con lesioni dell'ippocampo reagiscono agli stimoli specifici ma non al contesto.

Non è stato ancora chiarito il meccanismo attraverso il quale le informazioni contestuali codificate dall'ippocampo interagiscono con i sistemi neuronali di espressione emotiva, ma è noto che la formazione ippocampale e l'amigdala sono in connessione anatomica reciproca. Considerato il ruolo svolto dall'ippocampo nell'elaborazione delle informazioni contestuali, in alcune circostanze il controllo contestuale sulla generazione delle risposte emotive potrebbe essere mediato da questa stessa struttura. Si è visto infatti che lesioni del fornice, una via anatomica che collega l'ippocampo alle altre strutture sottocorticali, danneggiano le capacità di apprendimento emotivo. Questa via, quindi, può essere usata in modo specifico per stabilire associazioni tra lo stimolo incondizionato e gli aspetti spaziali del contesto condizionante. Anche nel modello di ansia elaborato da Jeffrey A. Gray (1982), per esempio, è stata descritta l'influenza dell'ippocampo nell'elaborazione della risposta emotiva. Tale influenza può essere messa in relazione con la funzione del contesto spaziale nei paradigmi di apprendimento strumentale e con i meccanismi cognitivi per mezzo dei quali le reazioni emotive si accompagnano ad azioni comportamentali dando vita a strategie di adattamento. I risultati degli esperimenti condotti su animali appaiono, nell'insieme, di notevole importanza per la terapia dei disturbi dell'uomo, in quanto prendono in considerazione le condizioni che permettono di curare

l'espressione patologica delle emozioni e indicano quali sono le zone cerebrali di rilievo verso le quali potranno essere diretti i futuri interventi farmacologici.

4. La modulazione delle risposte emotive

Una volta formati, le predisposizioni e i ricordi emotivi si cancellano con difficoltà e possono portare allo sviluppo di comportamenti adattivi errati, ma diversi interventi terapeutici sono possibili partendo dal presupposto che i disturbi emotivi possano essere controllati con metodi comportamentali, cognitivi o farmacologici. In tal senso è stata presa in esame l'estinzione delle associazioni apprese con il paradigma del condizionamento classico. Per 'estinzione' si intende, in questo caso, il processo attraverso il quale le risposte emotive condizionate vengono soppresse mediante l'esposizione ripetuta al solo stimolo condizionato senza che questo sia più associato a quello incondizionato. Per esempio, i ratti che acquisiscono una risposta condizionata di congelamento a uno stimolo neutro che preannuncia una scarica elettrica alla zampa reagiscono con un congelamento ridotto dopo che lo stimolo neutro è stato ripetutamente somministrato loro senza che seguisse la scarica.

Grazie a questi esperimenti, si è visto che la corteccia cerebrale svolge un ruolo attivo nel fenomeno dell'estinzione: il processo è infatti ritardato da lesioni della corteccia prefrontale orbitale, ventromediale e mediale prodotte prima dell'addestramento. Poiché anche il blocco di alcuni recettori nell'amigdala (gli NMDA, N-metil-d-aspartato, recettori per il glutammato) danneggia l'estinzione, si può concludere che questa comporta un meccanismo neurobiologico attivo di apprendimento, e non un decadimento passivo delle tracce neuronali coinvolte nel processo di acquisizione, e che tale apprendimento comporta a sua volta un'interazione tra corteccia prefrontale e amigdala. Ora, mentre le cellule della corteccia prefrontale tendono a modificare le proprie risposte con il mutare delle proprietà appetitive o aversive degli stimoli, le cellule dell'amigdala presentano modelli di risposta più persistenti. Questi e altri risultati sembrano dunque suggerire che le reazioni emotive stabilite attraverso l'amigdala siano 'indelebili' e che la corteccia prefrontale potrebbe essere necessaria per impedire che esse producano comportamenti espliciti quando non sono più appropriate.

5. Il cervello emotivo negli esseri umani

La maggior parte delle informazioni relative all'organizzazione fine dei meccanismi cerebrali dell'emozione deriva da studi condotti su animali. Recentemente, tuttavia, va emergendo un corpus sempre più consistente di conoscenze sulle funzioni emotive del cervello umano.

L'effetto delle lesioni chirurgiche dell'amigdala

Nei Primati, un danno all'amigdala si traduce nella sindrome di Klüver-Bucy, ovvero in una serie di alterazioni emotive e comportamentali tra cui la mancanza di paura e, in generale, l'incapacità di valutare il significato affettivo di stimoli e situazioni. Negli esseri umani le lesioni cerebrali organiche limitate all'amigdala sono estremamente rare; tuttavia, in passato, sono state effettuate delle amigdalectomie per controllare epilessie refrattarie alle terapie farmacologiche, oppure per trattare chirurgicamente l'iperaggressività. In molti di questi casi, le osservazioni cliniche portano a ipotizzare che l'amigdala abbia nella regolazione delle emozioni un ruolo analogo a quello che è stato osservato negli animali, sebbene le alterazioni dell'affettività appaiano, nel caso degli esseri umani, meno marcate e spesso transitorie. Per esempio, benché l'ipoemotività o 'affettività appiattita' sia un fenomeno ricorrente dopo un'operazione chirurgica che interessa l'amigdala, la sindrome di Klüver-Bucy si manifesta soltanto in seguito a un ulteriore danno alla neocorteccia temporale ed è stata osservata talvolta in alcune forme di demenza.

Emozioni e memoria

Uno degli effetti della percezione da parte dell'amigdala di uno stimolo emotivamente significativo è il rilascio di adrenalina da parte delle ghiandole surrenali. Durante uno stress emotivo, l'adrenalina entra nel circolo sanguigno e può produrre effetti marcati su tutto l'organismo. Poiché essa non attraversa rapidamente la barriera ematoencefalica, i suoi effetti sono molto probabilmente indiretti, mediati da un'azione sul nervo vago che, attraverso una serie di connessioni neuronali, finisce col raggiungere le aree del cervello quali l'amigdala e l'ippocampo. Negli studi condotti su animali, si è osservato che la somministrazione periferica di adrenalina rafforza il consolidamento della memoria in numerosi compiti. Questi effetti vengono bloccati da lesioni dell'amigdala e sembrano comportare l'attivazione in questa regione dei recettori β -adrenergici.

Si è visto che lo stesso effetto può presentarsi anche negli esseri umani. È stato osservato, per esempio, che dopo aver ascoltato un racconto particolarmente toccante, accompagnato anche dalla proiezione di diapositive sul tema, tendiamo a ricordarne meglio la parte più commovente: questa capacità può essere tuttavia annullata se prima dell'ascolto ci viene somministrato del propanolo, ovvero un antagonista dei recettori β -adrenergici.

Inoltre, in uno studio condotto, sempre su soggetti adulti normali, mediante tomografia a emissione di positroni (PET, Positron emission tomography), Larry Cahill e collaboratori (1996) hanno osservato un'attivazione dell'amigdala sinistra in associazione al ricordo di brevi filmati a contenuto particolarmente emozionante, ma non di filmati a contenuto neutro. Come negli altri Mammiferi, quindi, anche nell'uomo l'amigdala può contribuire alla formazione delle tracce di memoria, ma soltanto quando gli eventi da codificare possiedono una sufficiente valenza emotiva.

Le espressioni facciali dell'emozione

Nei Primati, la manifestazione delle emozioni mediante l'espressione del volto è fondamentale per la comunicazione sociale, e studi elettrofisiologici su singoli neuroni hanno evidenziato che le cellule dell'amigdala rispondono selettivamente ai volti dei conspecifici. Nell'uomo, i pazienti con lesioni bilaterali limitate principalmente all'amigdala sono meno abili sia nel riconoscere le espressioni di paura sia nel categorizzare volti che manifestano espressioni emotive miste; per contro, essi conservano quasi integralmente la capacità di riconoscere i volti di per sé. Ciò porta a ipotizzare che negli esseri umani l'amigdala contribuisca all'elaborazione delle immagini dei volti, in modo specifico per quanto concerne i dettagli legati alle emozioni. Queste scoperte, tuttavia, non sono state confermate in altri pazienti con più estesi danni bilaterali ai lobi temporali, e i risultati relativi a pazienti con danno unilaterale al lobo temporale mediale sono contrastanti.

Le sensazioni di paura durante le crisi epilettiche

Nei pazienti sottoposti a terapia chirurgica per forme di epilessia localizzate nel lobo temporale mediale è possibile, per mezzo della stimolazione diretta del cervello e di registrazioni elettrofisiologiche, indagare le esperienze emotive soggettive a livello neuronale. Il sentimento più comune che segue la comparsa di una crisi epilettica è la paura, spesso accompagnata da disturbi viscerali, pallore, allucinazioni e ricordi episodici o *déjà-vu*. Spesso i cambiamenti che intervengono nell'espressione del volto o nell'intonazione della voce all'inizio della crisi sono indicativi di un sentimento di paura, anche se essa non viene manifestata esplicitamente per via dell'amnesia che segue la crisi. In questi pazienti il sentimento di paura può essere risvegliato mediante stimolazione cerebrale diretta effettuata in prossimità dell'amigdala. Uno di questi casi è stato descritto in modo dettagliato da Pierre Gloor e collaboratori: "Una donna di 19 anni soffriva di crisi epilettiche, che iniziavano con una sensazione di intensa paura seguita da perdita della conoscenza e da un automatismo che la faceva agire come se fosse in preda al terrore. Lanciava grida spaventose; l'espressione del volto e i gesti erano quelli di una persona vittima di un'esperienza terrificante. Successivamente era in grado di ricordare la paura, ma non aveva alcun ricordo di quello che era stato il suo comportamento durante la parte finale delle crisi. La paura si associava a una sensazione di intorpidimento delle gambe. Alcuni anni prima aveva riferito di avere visto dei coccodrilli che tentavano di azzannarle le gambe [...]. Stimolando elettricamente l'amigdala destra si provocava nella donna un'intensa paura. La stimolazione senza preavviso dell'amigdala sinistra provocava una paura meno intensa" (Gloor 1982, p. 132).

Un sentimento di paura può essere indotto elettricamente anche nelle strutture adiacenti al lobo temporale mediale, ma si verifica più spesso in seguito a stimolazione dell'amigdala. Inoltre, registrazioni

elettrofisiologiche da neuroni dell'amigdala, effettuate in pazienti epilettici e pazienti psicotici, hanno consentito di osservare un aumento della frequenza e dell'ampiezza dei singoli picchi durante la rievocazione di ricordi personali connotati emotivamente.

Neurobiologia dello sviluppo emotivo

XXI Secolo (2010)

di Francesca Cirulli

Neurobiologia dello sviluppo emotivo

Lo sviluppo neurologico dei mammiferi è un processo graduale che dipende da una continua interazione tra il milieu interno e quello esterno, o 'ambientale'. Questa interazione ha alla base complessi processi epigenetici che inducono modifiche funzionali del sistema nervoso in risposta all'ambiente esterno.

Se è ormai una nozione acquisita che il cervello necessita di esperienza per il corretto sviluppo, non tutto ciò che viene esperito ha un effetto positivo. Evidenze epidemiologiche suggeriscono che episodi negativi o veri e propri traumi subiti durante fasi precoci della vita possono impedire un corretto sviluppo cerebrale e creare le basi per l'instaurarsi della malattia mentale. Risulta, tuttavia, estremamente difficile predire quale sarà la direzione dell'effetto di una determinata esperienza poiché il valore ultimo di ciò che si sperimenta dipende da un complesso processo d'interazione tra variabili ambientali e corredo genetico dell'individuo.

I meccanismi neurobiologici alla base degli effetti dell'ambiente precoce sono ancora in via di definizione. Una sempre maggiore fertilizzazione incrociata tra ricerca di base e ricerca clinica sta comunque accelerando notevolmente lo studio dei fattori neurobiologici che sottostanno alla patologia mentale. Tale processo è anche il risultato dello sviluppo di nuove tecnologie, come la diagnostica per immagini, che permettono di studiare in modo non invasivo i fenomeni biologici alla base di una determinata patologia.

Un altro importante catalizzatore è rappresentato dal sostanziale aumento della multidisciplinarietà. Per quanto concerne la psichiatria biologica, per es., si assiste in questi primi anni del 21° sec. a un'esplosione di ricerche che integrano studi neurobiologici di sviluppo cerebrale e altri, di ambito più prettamente psicologico, focalizzati su quello emozionale, sociale e cognitivo, con particolare riguardo alle interazioni madre-prole. Le ricerche concentrate sullo sviluppo del cervello, e in grado di aggregare un largo spettro di discipline medico-

scientifiche, rappresentano un punto di convergenza importante per la creazione di modelli complessi di struttura e funzione del cervello – inclusa la plasticità in risposta all’ambiente – e dei processi mentali e del comportamento (Schoore 2005).

Rapporto madre-prole

Per il piccolo di mammifero la principale fonte di stimolazione, e la variabile ambientale più importante, è rappresentata dalla madre (intesa più estesamente come colei/colui che si prende maggiore cura del neonato). Le emozioni sono alla base dello sviluppo delle relazioni di attaccamento e della comunicazione infantile. Esse possono essere definite come stati centrali di regolazione del cervello, generati internamente, che unificano la coscienza e coordinano l’attività di un soggetto coerente e mentalmente attivo. Le emozioni possiedono un’importante componente comunicativa finalizzata a promuovere e sviluppare l’interazione con i comportamenti e le motivazioni di altri soggetti. Nell’uomo esse regolano un rapporto intersoggettivo unico nel suo genere che crea cooperazione consapevole e favorisce al contempo l’acquisizione di uno specifico bagaglio di conoscenze.

Le emozioni possono regolare le attività psicologiche. Le complesse interazioni tra le regolazioni cognitive e corporee delle emozioni contribuiscono all’apprendimento di adattamenti sociali oppure culturali, attraverso i quali le funzioni delle emozioni e l’autocoscienza dei soggetti vengono modificate e simbolizzate. Nel bambino le emozioni sono ben poco coscienti di sé e non sono ancora state modificate dalle convenzioni sociali.

L’attaccamento nell’uomo è stato definito come regolazione interattiva della sincronia biologica di due organismi. Perché tale sincronia sia possibile, si deve ipotizzare che il neonato umano non sia un essere passivo e capace solo di riflessi, ma che sia in grado di coordinazioni coscienti e volontarie. I bambini appaiono molto motivati a comunicare con gli altri esseri umani e a stabilire stati comunicativi intersoggettivi. Le ricerche in questo campo indicano come in essi emerga precocemente una consapevolezza attiva di un ‘sé-e-l’altro’, la quale ha un ruolo fondamentale nei processi comunicativi e cognitivi: il cervello del neonato è in grado di produrre una coordinazione tra stimoli sensoriali e attività motoria che gli permette di orientarsi verso gli stimoli preferiti e di apprendere da essi. Il contatto efficace con il mondo delle persone e delle cose dipende dallo stato del sistema comunicativo bambino-caretaker (il termine caretaker viene utilizzato dagli autori anglosassoni per indicare colui o coloro che si prendono cura del bambino) e dalla misura in cui esso è in grado di facilitare i processi motivazionali del neonato. Tali interazioni costituiscono un sistema di mutua

regolazione, basato sulla capacità di ciascuno dei due individui di esprimere le proprie intenzioni e di riconoscere quelle dell'altro, in modo che entrambi possano raggiungere i propri obiettivi all'interno di un sistema di feedback o retroazione reciproca: per es., quando alla madre accade di indurre stress nel bambino, ella partecipa poi attivamente a un processo regolatore di riparazione interattiva. Queste transazioni a due servono nel breve termine a regolare lo stato affettivo del neonato e sono inoltre associate, nel lungo termine, a importanti modifiche strutturali del cervello. È stato suggerito che la regolazione del sistema emozionale immaturo del neonato da parte della madre, in determinati periodi critici, possa rappresentare il primo fattore responsabile della modulazione da parte dell'esperienza dello sviluppo di alcune aree cerebrali e, in particolare, delle strutture cortico- e sottocorticolimbiche a cui è attribuibile l'autoregolazione degli stati emozionali.

Stress precoce e predisposizione alla patologia

Eventi stressanti sperimentati dopo la nascita sono in grado di influenzare in maniera determinante il configurarsi delle differenze individuali nella vulnerabilità a sviluppare la malattia mentale nell'arco della vita (Heim, Nemeroff 2001). Episodi gravi di abuso fisico o sessuale, che spesso si associano a condizioni persistenti di vuoto affettivo o di conflitto familiare, possono compromettere l'accrescimento e/o lo sviluppo intellettuale del bambino e comportare per l'adulto un maggiore rischio di sviluppare obesità e disturbi dell'umore.

I dettagli che sottostanno al rapporto tra la qualità delle prime fasi della vita e la salute dell'individuo adulto sono ancora in via di definizione. Durante i primi anni di vita il cervello è attivamente alla ricerca di esperienze ed è provvisto di una considerevole plasticità grazie alla quale l'organismo in via di sviluppo e l'ambiente esterno possono adattarsi e armonizzarsi l'uno con l'altro. È stato ipotizzato che condizioni precoci avverse possano influenzare negativamente la maturazione di quelle strutture o processi – come il sistema corticolimbico e la risposta ormonale allo stress – che sono alla base del nostro funzionamento emozionale e il cui sviluppo è sensibile agli effetti dell'esperienza. Il risultato finale è quello di un individuo che mostra una maggiore risposta a situazioni stressanti nella vita adulta (Heim, Nemeroff 2001; Meaney 2001; Schore 2005). I pazienti depressi che hanno alle spalle una storia di abuso infantile sono effettivamente caratterizzati da un'iperattività dell'asse ipotalamo-ipofisi-surrene (asse HPA, Hypothalamic-Pituitary-Adrenal), il quale costituisce il principale sistema di risposta allo stress. Inoltre, l'abuso o la mancanza di cure durante l'infanzia sono stati messi in relazione con la presenza di varie anomalie nelle regioni cerebrali che risultano coinvolte nei disturbi emozionali, tra cui una riduzione generalizzata del volume dell'ippocampo, del corpo calloso e

della corteccia prefrontale, un'alterazione della simmetria corticale in determinate aree e una ridotta densità e integrità neuronale in altre.

Al fine di spiegare l'insorgenza della psicopatologia in età adulta è stato proposto il modello diatesi-stress, secondo il quale è l'interazione tra una vulnerabilità o predisposizione genetica (diatesi) e l'ambiente, inclusi gli eventi avversi che si verificano nella vita dell'individuo (i cosiddetti stressori), a indurre determinati comportamenti o disturbi psicologici. La maggior parte delle patologie psichiatriche può essere spiegata da questo modello per così dire 'a due colpi', in cui i fattori genetici e quelli ambientali interferiscono precocemente con lo sviluppo del sistema nervoso centrale (SNC), producendo in tal modo una vulnerabilità a lungo termine a causa della quale il sopraggiungere di un secondo 'colpo', sia esso un lutto, un divorzio o una malattia cronica, può facilmente produrre sintomi di tipo psichiatrico. I meccanismi coinvolti nella differenziazione cellulare potrebbero costituire il principale bersaglio sia del primo 'colpo', quello che arriva nelle fasi precoci dello sviluppo, sia – una volta posti al servizio del mantenimento e della plasticità neuronale – del secondo 'colpo', quello che viene per così dire inferto al cervello adolescente o adulto. Dunque, se gli stressori vanno a colpire, nell'organismo immaturo come in quello adulto, sempre gli stessi circuiti, risultano perfettamente integrati i fattori genetici, evolutivi e ambientali responsabili della vulnerabilità e dell'eziopatogenesi dei disturbi psichiatrici. In tale contesto, la sollecitazione innescata dall'esperienza stressante che interviene in età adulta rappresenta un fattore primario di vulnerabilità, e i suoi effetti risultano maggiormente negativi negli individui che hanno avuto precedenti esperienze avverse, particolarmente se esperite in fasi evolutive precoci.

Interazioni geni-ambiente

Lo stato epigenetico di un dato gene è determinato dalle esperienze cui l'organismo è esposto durante la vita prenatale o le primissime fasi di quella postnatale, che rappresentano dunque una delle più importanti fonti di variazione dei fenotipi biologici e comportamentali (Jablonka, Lamb 2005).

Nell'ultimo decennio, l'importanza dell'interazione tra fattori genetici ed esperienziali nello sviluppo della malattia mentale è stata ampiamente riconosciuta in ambito tanto preclinico quanto clinico. I più recenti approcci teorici sono basati sull'influenza che i geni esercitano sulla suscettibilità dell'individuo ai cosiddetti patogeni ambientali (Caspi, Moffitt 2006). È stato infatti dimostrato che lievi variazioni nella sequenza genica (polimorfismi) del promotore del trasportatore della serotonina, un neurotrasmettitore implicato nella patologia depressiva, sono in grado di moderare l'effetto esercitato dagli eventi stressanti sulla vulnerabilità

alla malattia. In seguito al verificarsi di tali eventi, gli individui che possedevano una o due copie dell'allele variato facevano infatti registrare, rispetto a chi possedeva due copie dell'allele comune, un maggior numero di sintomi depressivi e di depressioni diagnosticabili, nonché una maggiore propensione al suicidio. A ulteriore conferma di tutto ciò, due ricerche condotte sul disturbo da deficit dell'attenzione e iperattività hanno mostrato che l'interazione tra alcuni polimorfismi caratteristici di un altro sistema di neurotrasmettitori coinvolto nella patologia depressiva, quello dopaminergico, e alcuni fattori di rischio prenatali (come il consumo di alcol da parte della madre o un basso peso alla nascita) è predittiva dell'insorgenza dei sintomi-chiave associati a tale disturbo (per una rassegna, Caspi, Moffitt 2006).

Lo studio dell'interazione tra geni e ambiente è stato per lungo tempo affidato principalmente alla prospettiva epidemiologica, in cui i genotipi, l'esposizione ai patogeni ambientali e i disturbi che ne derivano vengono osservati così come si presentano naturalmente nella popolazione umana. Oggi, tuttavia, il grado di sviluppo raggiunto dalle neuroscienze prefigura concretamente la possibilità di completare il quadro fornito dall'epidemiologia genetica psichiatrica con dati che chiariscano – a un livello più prossimale – gli effetti dell'interazione geni-ambiente sul funzionamento del sistema nervoso centrale nell'ambito in esame. Tra le questioni ancora aperte vi sono quella della qualità e della quantità di esperienza effettivamente in grado di predisporre l'individuo alla malattia mentale, e quella dei sistemi neuronali specificamente coinvolti. Per rispondere a queste domande è necessario utilizzare appropriati modelli animali, nei quali i fattori ambientali ed esperienziali precoci possano essere manipolati in condizioni controllate (Cirulli, Francia, Berry et al. 2009). Negli anni più recenti si sono moltiplicati gli sforzi tesi a sviluppare modelli complessi, capaci di incorporare un elevato numero di variabili manipolabili dallo sperimentatore e di offrire nuove opportunità di trasferire alla ricerca clinica i risultati ottenuti mediante quella di base.

In questa rassegna descriveremo diversi studi uniti dal comune intento di comprendere come l'ambiente precoce in cui l'organismo viene allevato modelli lo sviluppo cerebrale e il funzionamento emozionale. Se da un lato i roditori permettono di rispondere a varie domande in tempi piuttosto brevi e di esaminare i substrati neurobiologici con una certa facilità, dall'altro i primati non umani rappresentano il modello più vicino all'uomo in termini di similarità genetica, biologica e comportamentale (particolarmente per ciò che riguarda il comportamento sociale) e, soprattutto, la durata relativamente lunga della loro vita (in special modo del periodo infantile) e il loro comportamento socioaffettivo rispecchiano caratteristiche importanti dello sviluppo dell'essere umano. La sfida che la scienza di base può oggi raccogliere, avvalendosi di un approccio eminentemente comparativo, è quella di riuscire a trarre da ciascun modello ciò che di meglio esso può dare –

al di là delle sue inevitabili limitazioni – in termini di comprensione del complesso percorso che conduce dall'esperienza di eventi negativi o stressanti a un aumento del rischio per la salute mentale.

Sviluppo dei disturbi d'ansia e dell'umore

Benché la relazione tra abuso o mancanza di affetto (o altre condizioni negative precoci) e vulnerabilità individuale a disturbi psichiatrici, quali ansia e depressione, sia ormai chiaramente documentata, gli studi clinici non sono in grado di produrre dati conclusivi in merito ai rapporti di causa-effetto. Poiché le ricerche condotte sull'uomo presentano inevitabilmente evidenti limitazioni etiche che non permettono – nello studio dei meccanismi fisiopatologici – di andare oltre le tecniche di diagnostica medica e un numero limitato di analisi neurochimiche, è necessario ottenere informazioni dagli studi preclinici. Sono sempre più numerosi gli studi che cominciano a mettere direttamente in relazione i risultati della ricerca di base con gli esiti clinici osservati negli individui che hanno subito abusi o ricevuto cure insufficienti e/o incoerenti in fasi evolutive precoci (Cirulli, Francia, Berry et al. 2009). Uno degli obiettivi principali di questi studi è di definire i tempi e le strategie d'intervento che potrebbero prevenire efficacemente o ridurre sensibilmente gli effetti delle esperienze precoci avverse: la prevenzione è ovviamente preferibile, ma sembra comunque che sia possibile alleviare sia la fisio- sia la psicopatologia.

I modelli sviluppati finora sono basati per lo più sull'introduzione di fattori di disturbo nella relazione madre-piccolo con il fine di 'riprodurre' un'esperienza di trauma precoce. Di fatto, tanto gli studi sull'uomo quanto quelli sugli animali indicano che il rapporto tra la qualità dell'ambiente precoce e la risposta emozionale adulta è mediato in particolar modo dagli influssi esercitati sullo sviluppo cerebrale da fattori materni o genitoriali (Trevarthen, Aitken 2001; Schore 2005).

L'importanza del ruolo materno e delle esperienze affettive precoci per lo sviluppo psicologico era già stata riconosciuta da Sigmund Freud e dagli altri pionieri dello studio sullo sviluppo umano. Tuttavia, per lungo tempo le teorie evolutive non hanno preso in considerazione né l'individualità dei bambini e la loro vita sociale (per es., l'amicizia o il gioco tra pari), né i loro rapporti con fratelli e sorelle e le loro relazioni affettive. Oggi sappiamo che l'ambiente precoce è sostanzialmente un ambiente sociale, e che l'oggetto sociale primario che media l'approccio del neonato all'ambiente esterno è costituito dalla madre (J. Bowlby, *The making and breaking of affectional bonds*, 1979; trad. it. 1982). La funzione modulatrice che essa esercita sull'input ambientale è essenziale per la facilitazione (o per l'inibizione) della maturazione delle strutture biologiche (e in particolare neurobiologiche) infantili il cui sviluppo è influenzato dall'esperienza. Tale

nozione di regolazione è molto importante, poiché si tratta di uno dei pochi costrutti teorici oggi condivisi dalla maggior parte delle discipline che si occupano di sviluppo e rappresenta un concetto centrale capace di interconnetterle tra loro e dunque, potenzialmente, di portare alla luce i processi evolutivi che sono ancora nascosti.

Istituzionalizzazione e salute mentale nel bambino

Gli studi condotti su bambini istituzionalizzati precocemente sono stati particolarmente utili per comprendere gli effetti che la deprivazione sociale infantile esercita, a lungo termine, sul funzionamento cognitivo e sul comportamento. In Gran Bretagna e in America Settentrionale, l'osservazione di soggetti cresciuti in orfanotrofio e, in seguito, adottati da famiglie ha rivelato la presenza di diversi deficit cognitivi, sociali e fisici. Numerose ricerche longitudinali hanno mostrato come le anomalie riscontrate in questi bambini, che pure possono andare incontro a una parziale remissione, sono qualitativamente molto simili a quelle descritte, in seguito a deprivazione sociale, nei primati non umani (per i modelli di trauma, v. oltre).

Benché le condizioni molto avverse esperite precocemente dai bambini istituzionalizzati siano di varia natura (per es., sono spesso risultate inadeguate sia l'alimentazione sia le cure prenatali) ci sono buone ragioni per prendere in particolare considerazione il ruolo della mancanza di affetti nell'ontogenesi delle difficoltà di natura sociale che risultano evidenti in questi soggetti. Nelle istituzioni dell'Europa orientale è stata regolarmente osservata una spiccata assenza di contatto fisico ed emozionale da parte dei caregivers: pur essendo l'esperienza di ciascun soggetto diversa da quella degli altri, le probabilità di ricevere calore e cure adeguate in questi ambienti sono molto ridotte. Alcuni orfanotrofi forniscono un livello sia pur rudimentale di stimolazione necessaria per lo sviluppo cognitivo, motorio e linguistico, ma nessuno di essi risponde adeguatamente alle esigenze relazionali dei bambini dando loro la possibilità di esperire rapporti stabili e coerenti, all'interno dei quali costruire apprendimenti emozionali e legami sociali (Gunnar, Morison, Chisholm, Schuder 2001). I bambini, infatti, ricevono dai loro caregivers un livello molto ridotto di attenzione e di comunicazione, e i loro bisogni individuali sono spesso disattesi.

I risultati di una serie di studi più approfonditi condotti su soggetti provenienti dai Paesi dell'Europa orientale (e successivamente alla loro istituzionalizzazione) confermano che le esperienze sociali precoci hanno un ruolo di primo piano nello sviluppo dei processi affettivi di base: questi bambini mostrano infatti notevoli difficoltà ad abbinare le espressioni facciali appropriate a scenari lieti, tristi o spaventosi. A ulteriore conferma della presenza di importanti alterazioni del funzionamento cognitivo ed emozionale, Chugani e i suoi

collaboratori hanno osservato, in un gruppo di soggetti romeni da qualche tempo affidati alle istituzioni, una riduzione del tasso metabolico del glucosio in svariate regioni corticali (Chugani, Behen, Muzik et al. 2001).

Da queste considerazioni emerge chiaramente l'urgenza di una ricerca rigorosa e serrata che si occupi di valutare gli esiti delle possibili strategie d'intervento o di trattamento di quegli individui esposti precocemente a esperienze avverse. Laddove gli studi sull'uomo difettano in possibilità di controllo sperimentale, quelli condotti sugli animali offrono l'opportunità di eseguire ricerche controllate e, almeno potenzialmente, capaci di separare tra loro gli effetti delle diverse variabili in gioco, come, per es., i singoli aspetti specifici (alimentari, sociali ecc.) che insieme concorrono a fare di un ambiente precoce un ambiente inadeguato e potenzialmente patogeno.

Fattori materni coinvolti nella vulnerabilità psichiatrica

Modelli animali efficaci sono stati sviluppati utilizzando fattori esperienziali con effetti evidenti e relativamente consistenti nelle diverse specie. Al riguardo vanno menzionati gli studi di deprivazione materna in mammiferi quali roditori (S. Levine, *Infantile experience and resistance to physiological stress*, «Science», 1957, 126, 3270, p. 405) e primati non umani (H.F. Harlow, *Total social isolation. Effects on macaque monkey behavior*, «Science», 1965, 148, 3670, p. 666) condotti negli anni Sessanta del 20° sec. e che hanno dato il via a un filone di ricerche ancora oggi estremamente fiorente. L'uso di procedure sperimentali in grado di compromettere il rapporto madre-prole ha favorito la comprensione delle conseguenze di lungo termine che esperienze precoci avverse hanno sull'uomo. Tali alterazioni interessano una vasta gamma di processi che coinvolgono la sfera nervosa ed emozionale.

Sviluppo neurologico e comportamentale della prole

Gli effetti della separazione tra madre e prole si configurano come una vera e propria sindrome da deprivazione e sono stati studiati estesamente nei roditori. Le risposte alla separazione materna coinvolgono numerosi ambiti fisiologici e sono caratterizzate da aspetti comportamentali specifici, quali l'emissione di vocalizzazioni nel range del non udibile (ultrasuoni) che hanno lo scopo di riavvicinare la madre alla prole.

La complessità delle risposte evidenziate rivela l'esistenza di regolatori materni discreti che influenzano diversi sistemi fisiologici e il comportamento della prole. Per es., piccoli di ratto separati dalla madre hanno una frequenza cardiaca ridotta rispetto a soggetti non separati, un effetto che si può contrastare con l'infusione

di latte nel loro stomaco. Altri aspetti legati alla nutrizione della prole, in particolare la ritmicità del rilascio di latte da parte della madre, possono influenzare il ritmo sonno-veglia della stessa. E ancora, i livelli di attività dei piccoli sono mantenuti alti grazie alla stimolazione da parte della madre, che continuamente sollecita i piccoli prendendoli e spostandoli nella zona nido, leccandoli sul corpo e allattandoli. L'assenza di tutte queste sollecitazioni riduce notevolmente il livello di attività della prole.

La madre esercita anche un importante ruolo di filtro (buffer) delle reazioni allo stress della prole. È noto che le risposte neuroendocrine allo stress sono molto limitate nei piccoli di roditori. Da un punto di vista adattativo ciò è molto importante perché gli ormoni dello stress, che hanno una forte azione catabolica, potrebbero danneggiare il sistema nervoso in sviluppo. Questo periodo di refrattarietà allo stress (SHRP, Stress-HypoResponsive Period) inizia alla nascita e dura all'incirca fino alla seconda settimana postnatale. È stato dimostrato che tale refrattarietà non è dovuta a un'immaturità del sistema neuroendocrino ma dipende da un'inibizione attiva esercitata dalla madre sulla secrezione degli ormoni che mediano la risposta allo stress (glucocorticoidi). L'effetto inibitorio della madre è stato evidenziato separando i piccoli dalla stessa per un periodo sufficiente (circa 8 ore), in seguito al quale la risposta allo stress si reinstaura. Studi successivi hanno dimostrato che l'inibizione è esercitata dalla madre attraverso l'allattamento. Segnali metabolici, come una riduzione nella concentrazione di glucosio presente in circolo, sono lo stimolo fondamentale per indurre il sistema neuroendocrino a rispondere a una stimolazione esterna. Va ricordato che la presenza della madre, oltre a inibire la risposta allo stress, può favorire anche il ritorno del sistema a una situazione d'inattivazione, una volta che esso sia stato stimolato.

Amore materno e nanismo psicosociale

La stimolazione tattile della madre favorisce anche la secrezione di ormoni fondamentali per la crescita corporea del neonato e del bambino, primo fra tutti l'ormone della crescita (GH, Growth Hormone). Studi condotti su piccoli di roditori hanno dimostrato che sono le azioni del leccare e dello strofinare energicamente il piccolo, compiute dalla madre, a mantenere la normale secrezione di questo ormone. Infatti, quando la femmina viene rimossa dal nido, i livelli di GH della prole scendono e vengono ripristinati se questa è stimolata energicamente, per es. mediante un pennello, mimando l'azione del leccare compiuta normalmente dalla madre.

Questo stesso meccanismo sembra operare nel neonato umano. Studiando alcuni prematuri ospitati nei reparti di neonatologia, si è reso evidente che le pratiche infermieristiche legate alla prematurità determinano una

scarsa stimolazione tattile dei neonati, che a volte non sono toccati per nulla se non per essere sottoposti a procedure molto dolorose. Alcuni ricercatori hanno iniziato a manipolare i prematuri a intervalli regolari durante il giorno, alzando gli arti o massaggiando energicamente il corpo, ottenendo in questo modo un incremento nella loro crescita del 50%. I prematuri maturavano più velocemente sul piano neurocomportamentale, apparendo anche più attivi e vigili, ed erano dimessi dall'ospedale in media una settimana prima dei neonati non sottoposti al regime di manipolazione. Questi dati sono particolarmente interessanti se messi in relazione con quanto documentato nei neonati umani colpiti da nanismo psicosociale (o sindrome da deprivazione emotiva). Tale sindrome, per fortuna assai rara, colpisce bambini ospitati in orfanotrofi o che sperimentano gravi situazioni di abuso psicologico. Immaneabilmente essi sono caratterizzati da bassi livelli di ormone della crescita e di corticosteroidi, che tornano rapidamente alla norma nel momento in cui sono loro fornite cure e attenzioni adeguate.

La stimolazione tattile è quindi un'esperienza fondamentale per il neonato e il bambino. Gli studi sul nanismo psicosociale ci insegnano che uno stimolo stressante non è tale solo perché viene imposto all'organismo: anche la mancanza di qualcosa di fondamentale, quale l'amore materno, può rappresentare un'importante fonte di stress.

Modelli di trauma precoce

Le ricerche di Seymour Levine (*Infantile experience and resistance to physiological stress*, «Science», 1957, 126, 3270, p. 405) e Victor H. Denenberg (*Critical periods, stimulus input, and emotional reactivity. A theory of infantile stimulation*, «Psychological review», 1964, 71, pp. 335-51) hanno fornito un contributo fondamentale per la comprensione di ciò che significa la stimolazione infantile e delle sue ricadute nel campo della neuroendocrinologia e delle basi biologiche della suscettibilità alla malattia mentale. Il punto di partenza teorico di questi due padri della psicobiologia era la costruzione di un modello di esperienza traumatica su cui si potessero saggiare alcuni dei principi enunciati dalla psicologia classica.

All'inizio delle sue ricerche Levine s'imbatté in una serie di risultati che si sarebbero rivelati assai importanti per la neuroendocrinologia sperimentale. Fu subito evidente, infatti, che quelle sollecitazioni che avrebbero dovuto traumatizzarli, rendevano invece più resistenti allo stress i piccoli ratti, una volta diventati adulti, secondo un meccanismo che fu definito di immunità emotiva. Questi risultati, totalmente inaspettati, aprirono un campo di ricerche, tutt'oggi assai fiorente, che ha rivelato gli importanti e persistenti effetti che una stimolazione ambientale precoce può avere sulla risposta neuroendocrina.

È stato successivamente definito in dettaglio dallo stesso Levine e da altri ricercatori come, al contrario di soggetti mai sollecitati da piccoli e cresciuti in assenza di stimoli, individui manipolati sono caratterizzati da una risposta allo stress assai efficiente, rappresentata da una secrezione rapida e consistente di glucocorticoidi, velocemente riportati ai livelli iniziali da un efficiente meccanismo di feedback negativo. Le ricadute di tale fenomeno si riscontrano sul lungo periodo in termini di maggiore efficienza cognitiva in fasi, come quella della vecchiaia, in cui il sistema nervoso è particolarmente vulnerabile all'esposizione a elevati livelli di ormoni dello stress.

Gli effetti della stimolazione precoce, tuttavia, non vanno unicamente nella direzione di una maggiore efficienza della risposta allo stress. È stato infatti dimostrato in numerosi studi che separazioni materne prolungate possono produrre effetti opposti a quelli precedentemente enunciati, determinando nell'individuo adulto un aumento eccessivo della secrezione di glucocorticoidi con un ritorno lento ai livelli precedenti alla stimolazione, un effetto mediato da modifiche nel differenziamento di quelle strutture del sistema limbico responsabili del processamento della risposta allo stress e dell'attivazione della secrezione dell'ormone adrenocorticotropo.

Non è sempre facile prevedere se gli effetti di una determinata esperienza saranno positivi o negativi. Infatti, sebbene una condizione di stress sia per lo più associata con un aumento nell'attività dell'asse neuroendocrino, osservazioni fatte sull'uomo mettono in risalto alcune situazioni in cui l'individuo si mostra iporesponsivo alla stimolazione. Questa situazione, definita ipocortisolismo, è caratteristica di bambini allevati in condizioni disagiate e/o stressanti e ha come connotato una paradossale riduzione nella risposta neuroendocrina. Appare anche evidente come una riduzione della risposta allo stress non sia sempre indice di un adattamento funzionale, ma possa invece denotare una compromissione della funzionalità dell'asse neuroendocrino, come conseguenza dell'esposizione a situazioni perinatali disagiate. Per tale motivo è molto importante che accanto a indici fisiologici, quali gli ormoni dello stress, sia rilevato anche un certo numero di variabili comportamentali che possano dare un quadro più completo del grado di compromissione dell'individuo.

In conclusione, le evidenze presentate finora suggeriscono che il differenziamento di un certo numero di strutture nervose deputate al controllo della risposta allo stress è influenzato da fattori ambientali precoci, sottolineando la grande plasticità presente all'interno del sistema nervoso in sviluppo, in grado di adattare

finemente le risposte neurocomportamentali di ciascun individuo ai vincoli imposti dalla nicchia ecologica in cui egli nasce e cresce.

Estese ricerche condotte su primati non umani hanno documentato gli effetti duraturi della mancanza della figura materna e di diverse forme d'impoverimento sociale. Il rapporto madre-piccolo costituisce la più importante fonte di stimolazione per il piccolo di primate ed è necessario per sviluppare le capacità di accoppiarsi, procurarsi risorse alimentari, formare legami sociali e alleanze con gli altri membri del gruppo. I piccoli di primate passano le prime settimane di vita in costante contatto con la madre, che fornisce loro una base sicura da cui sperimentare il mondo circostante. Le ricerche sul modello di macaco reso, condotte presso il laboratorio diretto da Harry Frederick Harlow alcune decadi orsono, hanno chiaramente illustrato che soggetti vissuti in condizioni di isolamento dalla nascita sviluppano, da adulti, un comportamento sociale e sessuale incompetente, e mostrano alti livelli di aggressività (H.F. Harlow, Total social isolation. Effects on macaque monkey behaviour, «Science», 1965, 148, 3670, p. 666). La presenza di compagni della stessa età, in assenza della madre, favorisce il formarsi di relazioni di attaccamento tra pari e sembra compensare, almeno in parte, i deficit più gravi che caratterizzano gli individui allevati in condizioni di deprivazione estrema. Questi soggetti allevati dai pari, se così si vogliono definire, mostrano comunque un comportamento aggressivo inadeguato alle circostanze (da cui consegue che essi si posizionano sui ranghi più bassi della gerarchia sociale), presentano stereotipie motorie simili a quelle che caratterizzano gli individui con sindrome autistica e manifestano un'aumentata propensione a sviluppare dipendenza da alcol.

Questo modello d'interazione deviante madre-prole si è dimostrato particolarmente utile per lo studio del ruolo di fattori ambientali sulla patologia mentale. Se si considera che la psicopatologia è caratterizzata da un'inadeguatezza nei rapporti sociali, e visto il comportamento assai complesso dei primati non umani, se confrontato con quello dei roditori, questi studi presentano un alto potenziale di trasferibilità allo studio delle cause della patologia mentale nell'uomo. Recenti ricerche condotte su questo modello hanno mostrato interessanti interazioni tra l'esposizione precoce allo stress derivante dalla separazione dalla madre alla nascita e il background genetico.

Ricercatori del King's college di Londra hanno identificato un polimorfismo nella regione che agisce da promotore del gene trasportatore della serotonina, il quale sembra moderare gli effetti stressanti della vita (Caspi, Moffitt 2006). Tale polimorfismo determina una diversa espressione quantitativa delle molecole del trasportatore, con successive conseguenze funzionali che si riflettono nella concentrazione sinaptica di serotonina, il neurotrasmettitore maggiormente implicato nella patologia depressiva. I ricercatori hanno

dimostrato che soggetti con una o due copie dell'allele corto del polimorfismo relativo al promotore del gene in questione presentano più sintomi depressivi e ideazione suicida in seguito a eventi stressanti di quanto accade agli individui omozigoti per l'allele lungo.

Questo studio epidemiologico ha fornito la prova di un'interazione tra gene e ambiente, in cui la risposta individuale a un insulto ambientale è moderata dalla costituzione genetica. Nel modello di primate qui descritto è stato dimostrato che il fatto di essere stato allevato in assenza della madre interagisce con la presenza dell'allele corto del trasportatore della serotonina, favorendo una maggiore vulnerabilità allo stress.

La madre come 'mediatore' di esperienza

In esperimenti condotti negli anni Sessanta del 20° sec. utilizzando come modello i roditori, Denenberg aveva dimostrato che la relazione che si instaura tra la madre e la prole ha conseguenze di lungo termine sull'emotività di quest'ultima, evidenziando come sia lo stato emotivo della madre a influenzare il grado di emotività della prole una volta diventata adulta, giacché figli di madri ansiose si mostravano, a loro volta, ansiosi quando saggiati da adulti in una situazione di pericolo.

L'ipotesi cosiddetta della mediazione materna è stata confermata da numerose osservazioni e alcuni ricercatori hanno dimostrato una relazione diretta tra livelli di cure materne e differenze individuali nella risposta ormonale e comportamentale allo stress nella prole. In particolare, i figli di madri caratterizzate da alti livelli di cura si mostravano meno suscettibili a stimoli stressanti. Tale effetto è il risultato di modifiche nell'espressione di specifiche popolazioni di recettori per i glucocorticoidi presenti nelle regioni limbiche, che rendono il sistema più efficiente, liberando efficacemente dal circolo gli ormoni dello stress.

Nella specie umana, fattori materni sono in grado di influenzare, oltre all'emotività, il comportamento sessuale in età adolescenziale. Nel modello di roditore è stato di recente evidenziato che figlie di madri che a loro volta mostrano poche cure materne hanno un'aumentata recettività sessuale e un'accelerazione nell'età della pubertà, effetti che si accompagnano a modifiche nei livelli di ormoni sessuali e dei loro recettori a livello del sistema nervoso centrale (Cameron, Shahrokh, Del Corpo et al. 2008). Questi risultati indicano che gli effetti evidenziati nell'uomo sullo sviluppo sessuale della prole non sono dovuti a fattori culturali ma a vere e proprie modifiche della funzione riproduttiva programmate attraverso gli esiti della cura materna sulla fisiologia dell'asse gonadico. La finalità di tale programmazione è permettere a un individuo di sviluppare un fenotipo riproduttivo che si adatti in maniera ottimale alle condizioni ambientali. È possibile ipotizzare che un

ambiente particolarmente stressante, o dove il cibo sia scarso, favorisca bassi livelli di accudimento materno, indirizzando verso lo sviluppo di una strategia alternativa mirata a raggiungere velocemente la pubertà.

Nel considerare le modifiche della risposta allo stress e della funzione riproduttiva, dovute a effetti principalmente riconducibili alla madre, va sottolineato come queste siano anche funzione di una complessa interazione tra fattori materni e fattori genetici della prole. Ciò è stato studiato mediante adozioni reciproche da parte di madri dello stesso ceppo o di ceppo diverso da quella di origine. I risultati di questi studi hanno evidenziato effetti non univoci, ma dipendenti da complesse interazioni tra l'emotività del ceppo materno e paterno e quello della madre adottiva. In successivi esperimenti di adozione reciproca, previa inserzione di embrioni di topo in madri di diversi ceppi, è stato dimostrato come tanto l'ambiente prenatale in cui l'individuo si sviluppa quanto quello postnatale (inteso come cure materne) interagiscano nel determinare il comportamento, contraddistinto da maggiore o minore emotività, della prole. Per es., i piccoli nati da embrioni del ceppo A, impiantati in femmine del ceppo B e da esse curati alla nascita, da adulti mostreranno lo stesso grado di ansia del ceppo della madre adottiva (B). Tuttavia, risulteranno più simili al ceppo della madre 'genetica' (A) se alla nascita saranno curati da femmine di quello stesso ceppo (A).

La 'programmazione' dell'emotività e della risposta allo stress sembrerebbe avvenire anche attraverso meccanismi complessi di modifica della capacità di espressione dei geni che includono cambiamenti nella struttura della cromatina e modifiche nella metilazione degli istoni e del DNA (DeoxyriboNucleic Acid). La metilazione del DNA, in particolare, è una delle più importanti modificazioni postreplicative del genoma. Consiste nel legame covalente di gruppi metilici alle basi azotate del DNA. Negli eucarioti la metilazione riguarda principalmente il nucleotide citosina ed è associata a ridotti livelli di trascrizione dei geni.

Un aumento nei livelli di cure materne durante la prima settimana di vita postnatale nel piccolo di ratto può alterare la metilazione nella regione del promotore del gene che codifica per il recettore degli ormoni dello stress, i glucocorticoidi. L'analisi dei livelli di metilazione del DNA nella regione del promotore indica che un alto livello di cure si associa a una diminuzione nella metilazione del gene, cui consegue un'aumentata espressione del recettore a livello delle regioni sottocorticali del sistema nervoso centrale. Le modifiche strutturali del DNA sono programmate dall'ambiente neonatale e risultano dinamiche e potenzialmente reversibili (Meaney, Szyf 2005). Infatti, nell'individuo adulto tali differenze nella metilazione di determinati geni possono essere eliminate utilizzando dei composti farmacologici, suggerendo una relazione diretta tra cure materne, modifiche epigenetiche ed effetti sulla reattività allo stress e sul comportamento materno della prole femminile, una volta che essa abbia raggiunto l'età adulta e si sia riprodotta.

Di recente è stato evidenziato come la qualità della cura materna sia un tratto che può essere trasmesso alle generazioni successive con un meccanismo che si avvale anche di modifiche nella metilazione di geni codificanti per gli ormoni sessuali (estrogeni) presenti nelle regioni limbiche del sistema nervoso centrale (Champagne 2008). Tale meccanismo è particolarmente importante poiché permette la trasmissione di informazioni concernenti l'ambiente di sviluppo da una generazione a quella successiva.

Sebbene la plasticità ambiente-dipendente nell'espressione di determinati geni sia un meccanismo adattativo, quando le risposte predette sulla base dell'ambiente prenatale o neonatale non coincidono con quello in cui l'organismo si trova, aumenta il rischio di sviluppo di patologie. Un importante esempio viene dalla previsione delle risorse nutritive disponibili in conformità a quanto sperimentato nell'utero materno. In questo caso, un aumento improvviso delle risorse – che nella specie umana può derivare per es. da un mutamento inatteso delle condizioni socioeconomiche – può contribuire sostanzialmente allo sviluppo di patologie quali il diabete di tipo 2, l'obesità o le malattie cardiovascolari. Ricerche future sui processi epigenetici delineati in questa sezione potrebbero portare all'elaborazione di terapie d'intervento innovative per combattere le suddette malattie.

Esperienze precoci e salute mentale

Gli effetti delle esperienze precoci sulla genesi della malattia mentale, sebbene riconosciuti, sono stati spesso sottostimati. Siamo inoltre molto lontani dal comprendere appieno i meccanismi molecolari attraverso cui l'ambiente può alterare la suscettibilità individuale a sviluppare una determinata patologia mentale. In seguito a eventi stressanti, e come conseguenza di una sovraesposizione ad alti livelli di glucocorticoidi, possono verificarsi numerose alterazioni strutturali, incluse modifiche nell'arborizzazione delle cellule nervose, o cambiamenti dell'attività cerebrale e del milieu dei neurotrasmettitori, con importanti conseguenze sulla plasticità neuronale.

Per quanto riguarda le aree cerebrali interessate, vi sono evidenze per un ruolo importante dell'amigdala e delle zone corticali temporale e prefrontale, mentre dal punto di vista neurochimico, il sistema monoaminergico sembrerebbe giocare un ruolo preminente, visto che la somministrazione di sostanze farmacologiche in grado di modulare le monoammine, particolarmente la serotonina, rappresenta la terapia più efficace e maggiormente utilizzata, nella pratica clinica, per il trattamento dell'ansia e della depressione.

Eventi traumatici subiti precocemente, quali l'abuso o la completa assenza di cure materne, si associano spesso a una maggiore suscettibilità a sviluppare disordini dell'umore, quali stati ansiosi e depressione, e sono correlati con modifiche sostanziali dell'attività dell'asse HPA. L'atrofia ippocampale, che si riscontra nei soggetti vittime di abusi fisici e psicologici subiti durante l'infanzia, è una delle maggiori evidenze di un ruolo degli ormoni dello stress quali mediatori degli effetti di esperienze traumatiche. Evidenze sperimentali condotte in modelli animali suggeriscono che fattori ambientali sono in grado di modificare l'attività neuroendocrina in maniera permanente e che queste modifiche hanno la possibilità di essere trasmesse alle generazioni successive. Nel modello di primate descritto in precedenza, macachi privati della figura materna mostrano, una volta adulti, un comportamento ansioso simile a quello caratteristico della specie umana. Questi effetti a livello comportamentale sono corredate da modifiche funzionali dell'asse HPA e del sistema monoaminergico, che rafforzano le evidenze di un importante ruolo di questi sistemi negli effetti di lungo termine di esperienze precoci avverse.

Per quanto riguarda il sistema serotonergico, studi di base condotti in roditori indicano nelle prime settimane di vita postnatale un periodo cruciale per porre le basi del grado di ansietà che caratterizzerà l'individuo da adulto. Questo effetto è stato dimostrato eliminando, unicamente durante il primo mese di vita, in topi modificati geneticamente, un recettore selettivo del neurotrasmettitore serotonina. I topi presentano un livello molto alto di comportamenti ansiosi, effetto che mette in risalto come le connessioni neuronali responsabili per il fenotipo adulto vengano a stabilirsi precocemente e siano perciò suscettibili di essere trasformate in modo permanente da esperienze negative.

Fattori epigenetici, esperienze precoci e plasticità cerebrale

Tra i potenziali mediatori di plasticità, nonché trasduttori delle esperienze precoci in modifiche delle connessioni neuronali, vanno annoverate le neurotrofine, e tra queste, in particolare l'NGF (Nerve Growth Factor) e il BDNF (Brain-Derived Neurotrophic Factor). L'NGF è stato il primo fattore neurotrofico a essere scoperto, da Rita Levi-Montalcini circa 50 anni fa (R. Levi-Montalcini, The nerve growth factor 35 years later, «Science», 1987, 237, 4819, pp. 1154-62), quale sostanza rilasciata dal tessuto bersaglio e in grado di regolare la sopravvivenza e la maturazione dei neuroni simpatici del sistema nervoso periferico. Più di recente, è stato dimostrato che le neurotrofine non hanno solo il compito di sostenere la sopravvivenza di neuroni in fase postmitotica, perché esse sono degli importanti mediatori di plasticità morfologica e sinaptica. L'espressione di questi fattori e dei loro recettori è regolata durante lo sviluppo del sistema nervoso, con picchi nei periodi di differenziamento neuronale e di formazione delle sinapsi. È importante sottolineare come stimoli esterni, quali

per es. input visivi o eventi stressanti in grado di modificare l'attività neuronale, abbiano un importante effetto sull'espressione genica dei fattori neurotrofici. Queste modifiche di espressione dipendenti dall'attività neuronale fanno di tali mediatori dei potenziali trasduttori di stimolazioni ambientali in modifiche funzionali e strutturali del sistema nervoso.

Durante lo sviluppo l'espressione di NGF e BDNF è stata localizzata in regioni del sistema nervoso centrale, quali la regione ippocampale e quelle corticali, che abbiamo in precedenza rilevato come potenzialmente implicate nella patologia mentale e in cui avvengono importanti fenomeni di plasticità neuronale.

Cambiamenti sostanziali, come una riduzione o un aumento eccessivo nell'espressione di questi fattori durante fasi critiche di sviluppo, a seguito di input esterni, possono incidere sulla maturazione del sistema limbico, con conseguenze di lungo termine sul funzionamento delle connessioni neuronali. Questi cambiamenti, a loro volta, getterebbero le basi per un'alterata risposta alla stimolazione nell'individuo adulto che potrebbe amplificare la risposta neuronale, specialmente come conseguenza di forti sollecitazioni quali quelle derivate da stimoli stressanti.

Tra le neurotrofine, l'NGF e il BDNF sembrerebbero quelle principalmente coinvolte nelle modifiche della funzionalità cerebrale cui può conseguire la malattia mentale. Un aumento di NGF nel circolo, per es., è stato associato a situazioni cariche d'ansia e di stress, come dimostrato in soldati di leva al primo lancio con il paracadute, ma anche in chi si prende cura di un congiunto malato, per es. di Alzheimer. Anche lo stress sperimentato da chi cerca di smettere di fumare può provocare una crescita dei livelli di NGF nel circolo periferico. Un aumento di NGF nell'uomo è stato di recente riportato come correlato neurobiologico della situazione d'innamoramento, un dato che suggerisce un coinvolgimento di questa neurotrofina nei meccanismi di attaccamento.

Il BDNF, d'altro canto, è una neurotrofina che si è conquistata di recente un ruolo centrale nella teoria neurotrofica della depressione. Tale teoria è basata sulla nozione che la depressione e, più in generale, i disturbi dell'umore, sono dovuti ad atrofia o morte di neuroni in determinati circuiti neuronali a seguito di una diminuita espressione di fattori neurotrofici, quali il BDNF, come conseguenza dell'esposizione a eventi stressanti (R.S. Duman, G.R. Heninger, E.J. Nestler, A molecular and cellular theory of depression, «Archives of general psychiatry», 1997, 54, 7, pp. 597-606).

Tale ipotesi è suffragata, almeno in parte, dall'osservazione che in alcuni pazienti depressi si riscontra una piccola diminuzione nel volume dell'area ippocampale, una regione cerebrale coinvolta in processi cognitivi e affettivi. L'efficacia dei farmaci antidepressivi sembra dipendere dalla loro abilità nel promuovere un aumento nei livelli di BDNF, riscattando il suddetto trofismo neuronale.

È stato anche ipotizzato che l'aumento nell'espressione di questa neurotrofina potrebbe innescare un meccanismo di reclutamento di popolazioni neuronali immature, al fine di sostituire quelle degenerate in seguito a fenomeni di stress e/o a potenziare quelle rimaste.

Studi epidemiologici condotti sulla popolazione umana hanno evidenziato che la presenza di alcuni polimorfismi nella sequenza del gene del BDNF si associa a una maggiore probabilità di sviluppare la sintomatologia depressiva. Nella specie umana, inoltre, una riduzione nei livelli circolanti di BDNF è stata associata con una maggiore suscettibilità ai disturbi dell'umore, anche in dipendenza di traumi precoci. È stato dunque ipotizzato che una modificazione nei livelli delle neurotrofine, durante fasi precoci di sviluppo del sistema nervoso centrale, potrebbe riflettersi in modifiche di lungo termine nella suscettibilità di quelle stesse aree a eventi avversi anche nell'individuo adulto (Cirulli, Francia, Berry et al. 2009). Ricerche di base condotte su roditori e primati non umani confermano che il cervello in sviluppo è sensibile ad alterazioni del rapporto madre-prole e che tale suscettibilità si manifesta sotto forma di cambiamenti nell'espressione dei fattori neurotrofici NGF e BDNF. La direzione e l'intensità degli effetti dipendono strettamente dall'età in cui l'insulto è subito e dal suo andamento, acuto o cronico.

Nell'ambito delle ricerche condotte su roditori, in seguito a eventi acuti, come una separazione materna breve, la risposta in termini di variazione dei livelli di neurotrofine è nella direzione di un aumento dell'espressione di questi fattori, risultato interpretabile come una risposta di 'riparo' visto il ruolo trofico esercitato da NGF e BDNF sul neurone. Eventi stressanti più duraturi portano, specie nel caso del BDNF, a una riduzione di lungo termine della sua produzione, evento che si può associare con una diminuzione nella plasticità neuronale, la quale, a sua volta, è stato ipotizzato che possa scatenare, nell'uomo, la patologia mentale.

Nel caso dei primati non umani, è stata evidenziata una maggiore suscettibilità a modifiche nei livelli di BDNF in soggetti di sesso femminile. Questo risultato è in linea con quanto descritto in termini di differenze di suscettibilità di genere alla patologia depressiva nella popolazione umana, in cui le donne mostrano una prevalenza rispetto a individui di sesso maschile (secondo le stime il rapporto è di due donne per ogni uomo).

Tale risultato, inoltre, pone l'accento anche sull'importanza di sviluppare modelli adeguati per lo studio delle basi neurobiologiche della malattia mentale.

Conclusioni

Le evidenze documentate in questo saggio pongono l'accento sul ruolo delle esperienze precoci, in particolare delle esperienze negative o dello stress cronico sostenuto, quali importanti fattori di rischio per la psicopatologia. La suscettibilità individuale è determinata dalle esperienze avute in periodi sensibili, che possono anche interagire con il background genetico, gettando le basi per un fenotipo adulto più vulnerabile. Le neurotrofine possono essere annoverate tra i fattori neurobiologici maggiormente coinvolti in tali effetti di lungo termine. Se da una parte questi fattori sono particolarmente sensibili allo stress, che ne può provocare una diminuzione, essi risultano anche modulabili da altri fattori (per es., l'esercizio fisico) che sono intimamente connessi con la risposta adattativa dell'organismo e a uno stile di vita sano e attivo.

Neurologia delle Emozioni

XXI Secolo (2010)

di Alberto Oliverio

L'emozione tra biologia e fenomenologia

Riguardo alla natura delle emozioni, esistono due posizioni prevalenti: quella naturalistica e quella fenomenologica. I fautori della prima sostengono che le emozioni dipendono da alcune caratteristiche intrinseche del cervello cui noi conferiamo significati. Dall'altro lato, vi sono invece i sostenitori di una natura 'immateriale' delle emozioni, fenomeni legati essenzialmente all'esperienza dell'individuo e, come tali, non riducibili alle loro possibili basi biologiche. In parole ancora più semplici, vi è chi sostiene che le diverse emozioni dipendono da meccanismi nervosi che rispondono a regole determinate dall'evoluzione e chi invece afferma che la biologia non potrà mai spiegarne il significato o comunque ridurle a semplici formule biologiche. Oggi, però, lo sviluppo delle tecniche di studio del sistema nervoso indica con crescente insistenza che la paura, la tristezza o la stessa felicità hanno specifici correlati cerebrali.

Quanti sostengono che l'emozione sia completamente o in massima parte svincolata dalla biologia (si veda, per es., S. Moravia, *L'enigma della mente*, 1986) mettono in rilievo un concetto già sottolineato dal filosofo

Franz Brentano (1838-1917) è posto in evidenza nel 1939 da Jean-Paul Sartre, secondo cui «certe modificazioni quantitative e, perciò stesso, quasi continue nelle funzioni vegetative, come possono corrispondere a una serie qualitativa di stati fra loro irriducibili? Per esempio, le modifiche fisiologiche che corrispondono alla collera non differiscono per intensità da quelle che corrispondono alla gioia: e tuttavia la collera non è una gioia più intensa, è ben altro» (*Esquisse d'une théorie des émotions*, 1939; trad. it. 1962, p. 13). Quanti invece propongono una 'naturalizzazione' delle emozioni, cioè una loro lettura alla luce della biologia, adottano una posizione di tipo evolutivo e inquadrano perciò l'emozione alla luce del suo significato darwiniano, cioè della sua utilità per l'economia dell'organismo e della sua capacità di comunicare ad altri individui pericoli o situazioni positive. Secondo questa posizione, le diverse emozioni sarebbero iscritte nei circuiti del cervello, pronte a entrare in funzione quando l'ambiente, la situazione o l'interpretazione che ne dà la mente, ci sollecitano con alcuni stimoli che innescano reazioni quasi automatiche, pacchetti di informazione custoditi in alcune strutture cerebrali. A particolari situazioni sono quindi correlate alcune espressioni facciali, risposte del sistema nervoso autonomo e ormonali tra loro integrate: per es., una situazione di pericolo può scatenare l'emozione della paura che è caratterizzata da particolari espressioni facciali e risposte di fuga o di blocco. Si potrebbe per questo sostenere che l'emozione non sia altro che uno stato dell'organismo in cui un programma innato scatena una serie di reazioni stereotipate.

La selezione naturale avrebbe quindi forgiato le emozioni sulla base dei vantaggi adattivi che esse conferiscono in un particolare contesto ambientale, il che implica che ogni componente di un'emozione derivi da una diversa pressione selettiva che, per es., farebbe sì che nella tristezza le palpebre si abbassino, la fronte si corrughi, le lacrime siano pronte a sgorgare. Questa tesi è legata al pensiero di Charles Darwin, il quale in *The expression of the emotions in man and animals* (1872) sostiene che alcuni stimoli sarebbero in grado di attivare il sistema nervoso e indurre espressioni facciali e modifiche somatiche stereotipate che accomunano i diversi membri di una stessa specie o specie apparentate. Secondo Darwin, le modifiche dell'espressione facciale e della fisiologia dell'organismo avrebbero una specifica funzione, per es. detergere i globi oculari con la lacrimazione, favorire l'accesso di aria nei polmoni, di sangue nei muscoli e così via. L'espressione facciale delle emozioni consentirebbe inoltre di comunicare agli altri membri della specie situazioni a rischio, benessere, minaccia o empatia. È per questa sua capacità di veicolare messaggi fondamentali per la sopravvivenza della specie che l'espressione facciale avrebbe un carattere transculturale, essendo facilmente decifrabile indipendentemente dalle diverse etnie e culture che caratterizzano la specie umana. Questo aspetto è stato sottolineato anche da quegli etologi, come Irenäus Eibl-Eibesfeldt (n. 1928), che ispirandosi alle teorie darwiniane hanno compiuto studi sul campo dimostrando che alcune espressioni facciali veicolano messaggi simili in culture diverse.

La corporeità dell'emozione e i rapporti con la cognizione

Nel corso degli ultimi anni l'emozione non è stata considerata come una funzione indipendente dalla cognizione, ma come uno dei canali in grado di informare il sistema nervoso su importanti aspetti della realtà esterna e dei rapporti tra organismo e ambiente. Da un punto di vista evolutivo nel cervello dei primati si sono sviluppati due diversi circuiti nervosi, ognuno dei quali è specializzato nel trattamento di un diverso tipo di informazione, rispettivamente cognitiva ed emotiva. Malgrado l'esistenza di sovrapposizioni tra questi due sistemi di informazione, essi comportano due diverse reti neurali: dopo che l'informazione è transitata per i nuclei del talamo, il contenuto dell'informazione di tipo emotivo viene inizialmente elaborato dai nuclei del sistema limbico, come l'amigdala, e in seguito dalle strutture della corteccia cingolata e dalla corteccia prefrontale ventromediale.

Per quanto riguarda il sistema cognitivo, l'informazione transita per i nuclei talamici (similmente a quanto avviene per le informazioni emozionali) per poi raggiungere uno specifico nucleo del sistema limbico, l'ippocampo, e da qui le cortecce temporo-occipitale e parietale. Questo circuito ha il compito di trattenere l'informazione nel magazzino della memoria a lungo termine. L'integrazione tra le informazioni di tipo emotivo e quelle di tipo cognitivo si basa sulla loro convergenza nella corteccia prefrontale dorsolaterale, come ha indicato in più esperimenti il neurofisiologo Joaquín M. Fuster (*The prefrontal cortex of the primate. A synopsis*, «Psychobiology», 2000, 28, 2, pp. 125-31). Quest'area corticale è al centro dei processi esecutivi (prestare attenzione, tenere in memoria un'informazione, perseguire un piano, attendersi conseguenze da un'azione ecc.) e integra l'informazione così da rendere possibili le funzioni cognitive più elevate, come il pensiero astratto, la flessibilità cognitiva, la pianificazione e la presa di decisioni, l'autocoscienza.

L'assenza di una separazione netta tra emozione e cognizione è stata quindi sostenuta da numerosi studiosi, in primo luogo dal neurologo portoghese Antonio R. Damasio (2000 e 2007) che, partendo da un celebre caso clinico, quello di Phineas Gage, ha sottolineato come i cosiddetti marcatori somatici – le alterazioni corporee indotte dal sistema nervoso autonomo che accompagnano le emozioni, come sudorazione, modifiche del ritmo cardiaco, tensione muscolare ecc. – rappresentino un elemento centrale dei fenomeni cognitivi. Gage era un giovane minatore che nel 1848 lavorava con altri operai alla costruzione di una ferrovia nel New England. Nel corso di un'esplosione, la bacchetta di ferro con cui veniva compresso l'esplosivo nei buchi trapanati nella roccia penetrò nel cervello del minatore provocando una grave lesione. Gage si riebbe dall'incidente ma dimostrò ben presto di non essere più lo stesso di prima: benché non presentasse deficit del linguaggio, dei

movimenti o dell'apprendimento, il giovane cominciò ad avere alcuni problemi comportamentali. Il caso Gage suscitò discussioni tra gli studiosi del cervello, tra cui i celebri neurologi e studiosi del linguaggio Pierre-Paul Broca (1824-1880) e Karl Wernicke (1848-1905), ma poi la vicenda perse importanza e il cranio del minatore venne affidato al museo anatomico dell'Harvard university. Intorno alla fine del Novecento il caso Gage è tornato nuovamente agli onori delle cronache scientifiche in quanto è stato riesaminato da Damasio e dai suoi collaboratori che, sulla base dei fori d'entrata e d'uscita nel cranio, perfettamente visibili e conservati, hanno simulato al computer il percorso della bacchetta di ferro, individuando l'area della corteccia frontale lesa, un'area che media gli aspetti emotivi e quelli cognitivi del comportamento. Le ricerche condotte da Damasio e dal suo gruppo sono all'origine di una teoria sull'influenza dell'emozione sui processi decisionali. Secondo il neurologo, che nega la dicotomia emozione-ragione, la ragione è guidata dalla valutazione emotiva delle conseguenze dell'azione e la separazione tra mente e corpo è insensata e irrealistica: la mente è un prodotto evolutivo, finalizzato al soddisfacimento delle nostre necessità fisiche e psichiche, e per raggiungere questo obiettivo deve disporre di informazioni derivanti da quelle strutture nervose che elaborano le risposte affettivo-emotive emerse dalle esperienze e dai contenuti della memoria.

Ogni decisione, secondo Damasio, richiede una valutazione dei costi e benefici delle diverse opzioni, che a mano a mano prendono corpo nella memoria di lavoro. Aver incontrato una stessa o simile situazione nel passato implica che emergano le stesse componenti emotive allora suscitate da conseguenze positive o negative. Ciò comporta che la coloritura emotiva caratterizzante una decisione allo stato nascente ci informi delle sue possibili conseguenze, che affiorano dalle memorie emotive di esperienze pregresse. Questo meccanismo è stato chiamato da Damasio marcatore somatico: i meccanismi fisiologici scatenati da un'emozione grazie all'attivazione del sistema nervoso autonomo (il sudore, l'accelerazione cardiaca, la contrazione muscolare, le contrazioni gastrointestinali) sono quindi marcatori che illuminano le nostre decisioni 'razionali'. Per provare questa sua teoria, il neurologo ha studiato il comportamento e le reazioni fisiologiche di persone che hanno subito danni alla corteccia orbitofrontale e ha notato che esse non mostrano quelle reazioni del sistema nervoso autonomo che normalmente si accompagnano a un'attivazione emotiva. Per es., al cospetto di immagini dal contenuto traumatizzante, queste persone non andavano incontro a quell'insensibile aumento della sudorazione cutanea (rivelabile attraverso la risposta di conduttanza cutanea o GSR, Galvanic Skin Resistance) che è invece evidente in persone dal cervello integro. Per valutare l'opportunità e utilità delle nostre azioni, vale a dire per prendere una decisione, la corteccia orbitofrontale deve servirsi di informazioni apprese sulla qualità emotiva dei diversi stimoli: le connessioni tra corteccia orbitofrontale e amigdala, una struttura coinvolta in emozioni primarie come la paura, fanno parte di un circuito atto a tener conto di diversi tipi di memorie emotive.

La paura e l'amigdala

Per quanto riguarda i rapporti tra amigdala ed emozione, le ricerche svolte da Joseph L. LeDoux (2007) indicano un forte coinvolgimento dell'amigdala nelle risposte di paura. L'amigdala è un nucleo del sistema limbico formato da neuroni che in prevalenza utilizzano il neurotrasmettitore noradrenalina, tipico del sistema nervoso simpatico. LeDoux ha sottoposto alcuni animali al cosiddetto condizionamento alla paura, una situazione sperimentale in cui gli animali ricevono una punizione o devono fronteggiare una situazione ansiogena in un ambiente particolare, ben connotato e quindi facilmente riconoscibile: in seguito al condizionamento (associazione tra uno stimolo doloroso e un suono) l'ambiente in cui si verifica l'associazione condizionata suscita reazioni di paura anche in assenza di punizioni, in quanto l'animale associa la punizione al contesto ambientale. Nel caso in cui l'amigdala sia stata lesa, gli animali non sono invece più condizionabili. Allargando questo approccio a livello umano, è stato anche accertato che l'amigdala si attiva in tutte le situazioni ansiogene o quando una persona osserva l'immagine fotografica di un volto che manifesta paura: ciò è stato interpretato come una prova che questo nucleo nervoso risponde a un programma genetico che governa vari aspetti di un'emozione primaria così importante. Va precisato che l'amigdala non si attiva quando si osserva un volto che esprime calma oppure un'emozione positiva come la gioia o lo stupore, ma soltanto quando il volto ha un'espressione di paura o terrore. Per contro, LeDoux ha anche osservato che nelle persone che hanno subito lesioni più o meno vaste dell'amigdala, queste reazioni di paura non si manifestano, così come sono assenti risposte a situazioni ambientali che comportano un pericolo.

Lo studio delle risposte emozionali di paura ha indicato come queste facciano capo a complessi meccanismi cerebrali. Secondo le descrizioni 'classiche', uno stimolo ansiogeno verrebbe convogliato verso il talamo e da qui verso la corteccia sensoriale (che lo connota nei suoi dettagli); dalla corteccia l'informazione verrebbe inviata all'amigdala che, a sua volta, attiva diverse regioni cerebrali coinvolte in diversi aspetti dell'emozione. In altre parole il percorso dell'emozione sarebbe: talamo → corteccia → amigdala. L'informazione verrebbe prima riconosciuta e poi inviata al sistema limbico (amigdala) per un'appropriata risposta emotiva: per definire la situazione in termini positivi o negativi la corteccia avrebbe pertanto necessità di ricorrere all'amigdala. Di recente, però, è stato accertato che esiste una via nervosa diretta tra il talamo e l'amigdala: quest'ultima risponderebbe quindi in modo emotivo agli stimoli e situazioni prima che la corteccia interpreti la circostanza, secondo il seguente schema: talamo → amigdala → corteccia. Per es., in risposta a uno stimolo minaccioso, l'amigdala produrrebbe reazioni del sistema vegetativo accelerando il ritmo cardiaco, determinando un aumento pressorio e attivando il tono muscolare in modo da preparare l'organismo

all'attacco o alla fuga. L'amigdala, inoltre, attraverso l'ipotalamo, stimola l'ipofisi che produce gli ormoni tipici delle situazioni di stress. Per essere ansiogeno – cioè per generare paura – uno stimolo deve avere alcune caratteristiche, in parte innate (che l'amigdala decodifica 'istintivamente', senza aver bisogno di esperienze precedenti), in parte apprese, cioè legate a esperienze precedenti e quindi a un contesto particolare.

Alcune emozioni conferiscono quindi una dimensione fondamentale alla nostra mente e alla nostra coscienza. Per es., in seguito alle reazioni emotive più semplici, come quelle indotte da un rumore improvviso, da uno stimolo che minaccia la nostra incolumità, da una gioia inattesa, la corteccia valuta ciò che succede nel suo corpo e prende coscienza, sia pure con qualche ritardo, delle reazioni che sconvolgono, in positivo come in negativo, la nostra psiche. In altri casi, l'emozione nasce prima nella nostra mente e viene poi comunicata al corpo. Non è tuttavia essenziale stabilire cosa venga prima e dopo nella catena di eventi che caratterizzano l'emozione, ossia se la sequenza sia questa:

stimolo → reazione cerebrale → reazione del corpo → valutazione cognitiva → ulteriore reazione del corpo,

cioè una sequenza che privilegia una iniziale risposta 'istintiva' e automatica e una successiva valutazione cognitiva, oppure questa:

valutazione cognitiva → reazione cerebrale → reazione del corpo → ulteriore valutazione cognitiva,

in cui, a seguito di una valutazione cognitiva, viene innescata una reazione cerebrale che induce a sua volta reazioni corporee di cui la mente prende atto, valutando ulteriormente il significato del 'fenomeno'. Ciò che è importante è che nel nostro cervello esistono meccanismi che comportano una cascata di eventi, attivazioni di circuiti nervosi che pongono in allerta corpo e mente e che comportano reazioni abbastanza stereotipate.

Tenendo presenti queste premesse, si comprende quindi come Damasio consideri i deficit emotivo-comportamentali in termini di un danno al sistema di marcatura somatica che comporta una vera e propria forma di sociopatologia. I cosiddetti marcatori somatici aiutano pertanto il soggetto nel prendere decisioni, collegando alle rappresentazioni interne determinati stati del sistema nervoso autonomo. In questo modo una persona, nel fronteggiare una situazione, è in grado di selezionare il comportamento appropriato in base alla sensazione soggettiva di malessere o benessere. Quando un marcatore somatico negativo è associato a un particolare esito nel futuro, la combinazione funziona come un campanello d'allarme; quando invece interviene un marcatore positivo, esso diviene un incentivo. In breve, i marcatori somatici vengono acquisiti

attraverso l'esperienza, sotto il controllo di un sistema di preferenze interne e l'influenza di un insieme di circostanze che si estende a includere convenzioni sociali e norme etiche: ma nel caso dei danni della corteccia frontale e del circuito corteccia frontale-gangli della base-corteccia frontale, l'assenza di marcatori fa sì che le valutazioni morali siano carenti.

Emozione e cognizione: un sottile intreccio tra corpo e mente

Giunti a questo punto, come risolvere le contraddizioni tra quelle teorie che guardano all'emozione alla luce di interpretazioni prevalentemente meccanicistiche e deterministiche e quelle teorie che sottovalutano le componenti biologiche dell'emozione per considerarle essenzialmente dal punto di vista delle esperienze individuali, cioè come fatti privati, non codificabili? Un primo aspetto da considerare è che, se si inquadrano le emozioni da un punto di vista prevalentemente biologico, il modello è più complesso di quello secondo il quale uno stimolo particolare induce una particolare risposta emotiva: per es., James P. Flynn (*Patterning mechanisms, patterned reflexes, and attack behavior in cats*, «Nebraska symposium on motivation», 1972, 20, pp. 125-53) ha indicato che gli «schemi motori» che caratterizzano un'emozione (le espressioni facciali, le posture corporee ecc.) non sono risposte basate su puri e semplici riflessi ma eventi «stato dipendenti» nel senso che alcuni stimoli possono scatenare complessi programmi motori nel caso in cui lo stato interno dell'organismo sia adeguato. Per es., lo stato di attivazione del sistema nervoso vegetativo, che può variare in base a numerosi fattori, da quelli umorali a quelli legati all'azione di droghe a quelli cognitivi, può far sì che un particolare stimolo induca una particolare risposta emotiva invece di un'altra. Si spiegano così i risultati di diversi esperimenti in linea con quelli condotti anni or sono da Stanley Schachter e Jerome E. Singer (*Cognitive, social and physiological determinants of emotional state*, «Psycho-logical review», 1962, 69, pp. 379-99), che indicano come l'alterazione dello stato interno di una persona, ottenuta iniettandole una sostanza come l'adrenalina o l'amfetamina che modifichi il suo stato vegetativo, induca un tipo di reazione, per es. la paura, se gli input ambientali sono di tipo ansiogeno, ma possa indurre un'altra emozione, per es. aggressività o esaltazione, se gli input sono di altro tipo. L'emozione e le sue componenti espressive e motorie dipenderebbero quindi da un intreccio tra stato interno e stimoli che agiscono sull'organismo e questi ultimi richiedono una interpretazione 'corretta', pena risposte emotive incongrue.

Questo tipo di spiegazione può chiarire i risultati dei primi esperimenti di stimolazione ipotalamica effettuati a partire dagli anni Trenta del 20° sec. da Walter R. Hess (1881-1973), che erano stati definiti in termini di puri automatismi. Attraverso la stimolazione di alcuni nuclei dell'ipotalamo Hess induceva infatti risposte emotive nell'animale sperimentale e, in particolare, comportamenti di attacco immotivato noti come falsa rabbia.

L'animale stimolato, generalmente un gatto, digrignava i denti, si apprestava ad attaccare senza motivo altri animali o lo sperimentatore e manifestava reazioni di attivazione del sistema nervoso vegetativo come dilatazione della pupilla, orripilazione e così via. In realtà, come hanno indicato successive ricerche in numerosi casi, la stimolazione dell'ipotalamo o del sistema limbico – e probabilmente della stessa sostanza nera – fa sì che uno stimolo esterno venga male interpretato o che la soglia di reazione agli stimoli si abbassi in quanto viene a mancare un freno inibitorio, un meccanismo di blocco che inibisce l'attivazione di uno schema motorio precostituito. Sulla base di questa interpretazione, la stimolazione dell'ipotalamo o di altre strutture avrebbe essenzialmente un effetto disinibitorio, rimuoverebbe cioè un blocco o uno stato di 'soppressione tonica' facendo in modo che alcuni stimoli agiscano su un centro che controlla la motricità da cui partono 'output' motori, sequenze organizzate di azioni muscolari che si traducono in espressioni facciali e posture somatiche. La selezione naturale avrebbe prescelto una serie di sequenze motorie corrispondenti a espressioni facciali tipiche di una particolare emozione ed esse si troverebbero in una situazione di blocco che viene rimosso dalla presenza di alcuni stimoli, come avviene nel caso della stimolazione ipotalamica. In altri esperimenti è stato appurato che alcune sequenze motorie possono manifestarsi in assenza di un appropriato contesto cognitivo: si tratta però di sequenze motorie che non sono integrate in un'emozione organizzata, come si verifica in situazioni più reali. In sostanza, nella falsa rabbia del gatto di cui venga stimolato l'ipotalamo o nell'espressione di tristezza di pazienti in cui viene stimolata la sostanza nera, una struttura dei gangli della base (B.-P. Bejjani, Ph. Damier, I. Arnulf et al., *Transient acute depression induced by high-frequency deep-brain stimulation*, «New England journal of medicine», 1999, 340, 19, pp. 1476-80), si verifica una dissociazione tra espressione facciale ed emozione reale. In una simile direzione si pongono i risultati di esperimenti effettuati da Paul Ekman (*Emotion in the human face*, 1982) in un contesto 'neutro', vale a dire privo di valenze emotive: in questa situazione, il semplice atteggiare il volto a un'espressione facciale di gioia o tristezza può indurre alterazioni somatiche (ritmo cardiaco, attivazione di strutture cerebrali, modifiche della pressione arteriosa) tipiche di quella particolare emozione. In questo caso l'espressione facciale recitata, cioè la tensione o il rilassamento dei diversi muscoli responsabili di una particolare maschera emotiva, si traduce in segnali che, arrivando al cervello, convincono la mente che il corpo sta vivendo una situazione di gioia o tristezza, e questo, incidentalmente, indica che non è soltanto il centro, cioè il cervello, a influenzare la periferia, cioè il corpo e i suoi muscoli, ma che si verifica anche il contrario.

Una teoria dell'emozione che concili le posizioni di tipo naturalistico con quelle più aperte alle connotazioni individuali delle esperienze deve tenere conto sia delle radici biologiche, e quindi delle componenti stereotipate dei diversi stati emotivi, sia delle componenti individuali delle singole esperienze. Le prime, tipicamente le espressioni facciali, le alterazioni umorali e somatiche, sono il risultato di un processo selettivo

che ha conferito loro una valenza transculturale: esse sono legate a componenti vegetative e a programmi motori iscritti nel nostro cervello. Gli studiosi delle basi neurofisiologiche dell'emozione ritengono che gli automatismi motori dipendano in gran parte da schemi o 'memorie' che codificano l'espressione delle singole emozioni e che sono modulate dai gangli della base, le strutture nervose che hanno un ruolo critico in vari tipi di memorie procedurali ed esperienze ricorrenti. I gangli della base, tra cui l'accumbens, sono coinvolti in diversi aspetti della motivazione – comportamenti collegati a rinforzi positivi e negativi –, memorie motorie legate a contesti specifici: queste strutture nervose codificano quei programmi che si ripetono nel tempo, memorie motorie ricorrenti, espressioni stereotipate, schemi comportamentali associati a rinforzi che provengono dall'ambiente esterno, quali premi o disincentivazioni, e dall'ambiente interno, quali situazioni di benessere o malessere. La componente individuale dell'emozione non ha invece un carattere meccanico e stereotipato in quanto rimanda ai significati dell'esperienza emotiva, all'esistenza di schemi e concezioni generali che conferiscono unitarietà al fenomeno dell'esperienza e la inseriscono nell'ambito di un più vasto schema o visione del mondo: questa componente personale dell'emozione dipende dalla corteccia cerebrale e in particolare da quella frontale. In sostanza, come avviene per altri aspetti del comportamento, i gangli della base potenziano e richiamano regole innate ed esperienze precedenti basate su particolari contesti ambientali e storie di rinforzi, mentre la corteccia frontale entra in funzione quando vengono apprese nuove regole ed esperienze, e/o vengono scartate le precedenti.

Emozione e scelte morali

L'aumento delle conoscenze in campo neuroscientifico e la possibilità di visualizzare con tecniche di brain imaging come la PET (Positron Emission Tomography) o la RMF (Risonanza Magnetica Funzionale) le aree coinvolte in dinamiche emotive e motivazionali (sistemi di rinforzo cerebrali) hanno portato negli ultimi anni allo sviluppo di ricerche nel campo dell'etica e dell'economia. Per quanto riguarda quest'ultimo settore, i risultati di numerose ricerche indicano che alcune aree del cervello coinvolte nella segnalazione di un rinforzo concreto o della sua anticipazione entrano in gioco quando viene valutato il possibile vantaggio economico di un'azione: queste aree esistono persino nelle scimmie e si attivano quando gli animali calcolano il beneficio che può derivare da una particolare ricompensa. Se, per es., si manipola la procedura attraverso cui uno scimpanzé ottiene un premio, i neuroni dell'animale sono più o meno attivi a seconda dell'entità della ricompensa attesa: maggiore è il premio previsto, maggiore l'attività dei neuroni. Questo meccanismo è fondamentalmente identico a quello che ci induce a valutare quale sarà il guadagno di un possibile investimento e quindi a guidarci in una presa di decisione che comporta anche componenti emotive e non soltanto cognitive, come sostenevano i classici modelli normativi dell'economia basati sulla massimizzazione

del profitto. Ma è probabilmente nel campo dell'etica che le implicazioni tra emozione e condotte morali hanno avuto il maggiore impatto, anche in quanto pongono in discussione alcuni aspetti tradizionali del libero arbitrio.

Uno degli esperimenti che hanno suscitato maggior clamore per le correlazioni che sono state tracciate tra giudizi morali e funzionamento del cervello è quello effettuato da due psicologi cognitivi, Joshua Greene e Jonathan Haidt (2002). Si immagina che un pesante carrello senza freni stia per investire, e presumibilmente uccidere, un gruppo di cinque persone e che si abbia la possibilità di azionare uno scambio e fare in modo che il carrello venga deviato su un binario dove ucciderà una sola persona. È giusto azionare quello scambio? Ora si immagina che il solo modo per salvare quelle cinque persone consista nello spingere un uomo di grosse dimensioni sotto il carrello uccidendolo ma salvando gli altri: è giusto compiere questa azione? La maggior parte delle persone approva la prima scelta e disapprova la seconda: un conto è deviare il corso del carrello impazzito, un altro è spingere con le proprie mani un individuo e provocarne la morte. Questo test metterebbe in campo due tipi di ragionamento morale, uno personale e l'altro impersonale: secondo i due autori – alla luce delle posizioni di Thomas Nagel (*Mortal questions*, 1979; trad. it. 1986) – sono di tipo personale quelle violazioni che causano un danno fisico grave, lo causano a una particolare persona e non si limitano a deviare una minaccia nei confronti di un gruppo di persone. Una violazione morale è invece impersonale quando non soddisfa questi tre criteri. Un danno personale può essere definito in termini di 'io danneggio te' e sottende violazioni che anche uno scimpanzé può comprendere: così 'danneggiare' implica assalire un altro (piuttosto che evadere il fisco), 'te' comporta poter rappresentare la vittima come un individuo, 'io' sottende la nozione di agente, ossia il concetto che una particolare azione dipende dalla volontà di un agente piuttosto che da una sua correzione. Spingere qualcuno sotto un carrello soddisfa tutti e tre i criteri ed è quindi un'azione personale, tale da generare un senso di colpa.

Come si vede, i giudizi morali vengono inquadrati in un'ottica evolutiva o naturalistica: questo approccio tuttavia non è soltanto teorico, ma si basa su dati empirici ottenuti grazie a studi di brain imaging che visualizzano le aree del cervello attive in una particolare situazione. Diverse ricerche e analisi indicano infatti che il cervello reagisce in modo differente alle situazioni che comportano un dilemma personale o impersonale: nel primo caso si attivano quelle aree che sono normalmente coinvolte in tutti i processi di tipo sociale ed emotivo, come il giro frontale mediale, quello cingolato posteriore e quello angolare. Nel caso dei giudizi impersonali si attivano quelle aree, prefrontale e parietali, che sono implicate nella memoria di lavoro e quindi nei giudizi di tipo analitico. Ma c'è di più: le persone impiegano pochissimo tempo per condannare le violazioni morali di tipo personale, ne impiegano molto di più per approvare o disapprovare quelle di tipo

impersonale. Questi dati sono stati suffragati da studi condotti da Jorge Moll e dai suoi collaboratori (J. Moll, R. de Oliveira-Souza, I.E. Bramati, J. Grafman, Functional networks in emotional moral and nonmoral social judgments, «Neuroimage», 2002, 16, 3, pp. 696-703) che indicano come nei giudizi morali venga attivata una rete che include la corteccia orbitofrontale mediale e il solco temporale superiore dell'emisfero sinistro; al contrario, i giudizi che coinvolgono emozioni ma che non sono di ordine morale coinvolgono l'amigdala, il giro linguale e il giro orbitale laterale.

Esiste anche un altro aspetto della 'naturalità' dei giudizi etici personali: la rapidità con cui si giunge a una scelta di tipo emotivo rispetto a un giudizio impersonale dipende, sulla base di un'interpretazione di tipo evolutivo, dal fatto che noi esseri umani, e i nostri antenati primati, siamo vissuti in piccoli gruppi dove la violenza si verificava solo in forma personale e ravvicinata, colpendo, strangolando, usando pietre o bastoni. Questo esercizio della violenza è stato associato, sin da tempi remoti, all'emozione ed è per questa ragione che il pensiero di arrecare direttamente danno a qualcuno suscita emozione e serve da marcatore somatico – secondo la terminologia di Damasio – per contrassegnare ogni tipo di violenza diretta. Le ricerche svolte da Greene e Haidt (2002) ci aiutano a prendere atto delle nostre intuizioni morali, senza che necessariamente esse siano valide: anzi, questi studi potrebbero essere considerati sotto una luce diversa e dirci che il nostro intuito sbaglia.

L'emozione, attraverso le strutture cui fa capo, ci guiderebbe quindi nei giudizi interpersonali o sociali. Tuttavia, gli studi di brain imaging che sembrano convalidare questa tesi lasciano aperto qualche interrogativo: le aree cerebrali implicate nei giudizi di tipo personale hanno un ruolo primario, cioè sono 'naturalmente' la sede di quei giudizi morali che hanno una valenza emotiva, oppure implicano un processo di marcatura emotiva che si svolge a posteriori? In altre parole, i giudizi morali personali sono avvalorati da quei processi emotivi che conferiscono loro una coloritura 'calda'? Una recente ricerca a opera del gruppo di Damasio (Koenigs, Young, Adolphs et al. 2007), svolta su pazienti con una lesione ventromediale della corteccia prefrontale, indica che in assenza della risposta emotiva mediata da quest'area della corteccia vengono effettuate scelte utilitaristiche in quanto, come nota Matteo Motterlini, queste persone «non hanno conflitto tra affetti e cognizione da risolvere, nessuna negoziazione tra intuizione e ragione da operare» (La morale, che passione!, «Il Sole-24 ore», 25 marzo 2007, p. 38). Perciò, se gli esseri umani rifiutano l'utilitarismo, come commenta Damasio, ciò sarebbe legato al dispiegarsi delle emozioni sociali. Nel corso dell'evoluzione si sarebbe pertanto accumulata una saggezza che premia una forma ibrida di giudizio morale in cui si uniscono ragione ed emozione.

Resta però il fatto che queste ricerche, e in particolar modo quelle svolte da Greene e Haidt, non ci spiegano perché e come si verificano violazioni alle norme morali e come siano tra loro conciliabili diverse teorie dei valori. In merito a questo punto, in un differente contesto di problemi e fuori dall'ambito delle ricerche neurologiche, si è espressa la filosofa Roberta De Monticelli (*L'ordine del cuore. Etica e teoria del sentire*, 2003), che considera il cuore una particolare struttura interna alla vita affettiva di ciascun individuo, lo «strato del sentire personale». Questo strato è sede di sentimenti, cioè di risposte affettive, ed è il fondamento dell'etica, in quanto sono queste risposte affettive a creare degli ordini di priorità. Il cuore è così a mezza via tra l'essere di una persona e il suo agire e conoscere morale: cuore è quel che io sono intimamente, ed è il principio che orienta le mie scelte, predilezioni, avversioni. Poiché gli esseri umani sentono affettivamente e sensibilmente (percepiscono, soffrono, gioiscono ecc.), elaborano di conseguenza gerarchie e strutture di valore che orientano il loro agire e la loro valutazione dell'agire altrui. In qualche modo questa interpretazione concilia l'approccio naturalistico, vale a dire il significato evolutivo e la matrice psicobiologica, con le teorie dell'emozione centrate sulla persona e su un approccio fenomenologico.

Gli enormi progressi che sono stati compiuti dalle neuroscienze, e in particolare la loro capacità di visualizzare quelle parti dell'encefalo che sono coinvolte in una specifica funzione, non legittimano ogni forma di facile riduzionismo per cui ogni singolo evento mentale coincide con la parte di cervello in cui esso ha sede e può essere chiarito analizzando quella specifica struttura nervosa che ne caratterizza la realizzazione: non si può infatti prescindere da categorie psicologiche quali scopi, intenzioni e credenze, anche se ben difficilmente queste categorie possono essere affrontate nell'ambito di un'ottica prettamente biologica. È inoltre indubbio, come è stato indicato in precedenza, che oggi l'emozione non possa essere considerata totalmente scissa o in opposizione alle funzioni cognitive: non esiste infatti funzione esecutiva (prestare attenzione, tenere in memoria un'informazione, perseguire un piano, attendersi conseguenze da un'azione ecc.) priva di risvolti emozionali, come non esiste emozione che non tenga conto di fattori esperienziali.

MECCANISMI MOLECOLARI DELLA MEMORIA

XXI Secolo (2010)

di Hélène Marie

Meccanismi molecolari della memoria

Apprendimento e memoria sono le funzioni fondamentali del cervello che permettono a un individuo di adattarsi all'ambiente che lo circonda, costruire una propria storia personale e acquisire la consapevolezza di sé. In maniera approssimativa, la memoria può essere classificata come implicita o esplicita, sulla base delle modalità mediante le quali l'informazione è immagazzinata e richiamata.

La memoria implicita, o non dichiarativa, è quella che si riferisce tipicamente all'apprendimento di riflessi motori o percettivi, conoscenza che si esplica nella realizzazione di compiti senza scopi consci e non può essere espressa verbalmente con facilità (per es., quando leggendo, s'indovina una parola solo attraverso la visualizzazione della prima lettera). La memoria implicita richiede l'attivazione delle aree del cervello che governano sistemi motori e sensoriali specifici per un dato avvenimento appreso. La forma più semplice di memoria implicita può essere studiata negli invertebrati attraverso i meccanismi di riflesso di tipo difensivo. L'indagine sui meccanismi molecolari di questo tipo di memoria è stata condotta nei molluschi, in modo particolare nella lumaca di mare *Aplysia californica*. Questo animale ha un sistema nervoso centrale molto semplice, costituito da poche migliaia di neuroni, sufficiente a consentire un classico tipo di memoria implicita di un riflesso: la retrazione della branchia in seguito a contatto.

La memoria esplicita, o dichiarativa, sottende all'apprendimento di fatti ed esperienze ed è una forma di conoscenza flessibile, che può essere richiamata consciamente ed essere riferita verbalmente (per es., i ricordi concernenti le vacanze trascorse). Tale memoria, che coinvolge l'integrazione di input sensoriali multipli, ha bisogno della complessità del sistema nervoso dei mammiferi, che consiste, nel cervello umano, di 1011-1012 neuroni. Gli studi volti alla comprensione dei meccanismi molecolari di questo tipo di memoria sono stati condotti soprattutto sui roditori (topi e ratti), che mostrano caratteristiche corticali simili a quelle del cervello umano. Per la memoria esplicita è necessaria la presenza dei lobi temporali della corteccia cerebrale, incluso l'ippocampo. Nell'uomo, la diretta evidenza del coinvolgimento di queste aree proviene da studi su pazienti che hanno subito la rimozione bilaterale dell'ippocampo e delle regioni vicine nei lobi temporali come trattamento per forme di epilessia resistenti ai farmaci. Il primo e più noto caso di rimozione bilaterale dell'ippocampo riguarda il paziente H.M., studiato negli anni Cinquanta del 20° sec., che mostrò dopo l'intervento un deficit di memoria esteso e altamente specifico. H.M. aveva ancora un'ottima memoria per gli eventi che erano accaduti prima dell'operazione, ma mancava completamente della capacità di formare nuovi ricordi. La scoperta del ruolo rilevante dell'ippocampo in questo paziente e in molti altri casi simili ha fornito un forte incentivo agli studi su questa struttura per riuscire a identificare i meccanismi molecolari che sottostanno alla formazione della memoria.

Sebbene diverse aree del cervello prendano parte a differenti forme di memoria, i meccanismi molecolari e cellulari che si trovano alla base delle forme di memoria, dalle più semplici alle più complesse, si sono altamente conservati attraverso il processo evolutivo. Questi meccanismi consistono di una prima fase a breve termine (da alcuni minuti a un'ora) durante la quale si verificano rapide alterazioni locali di comunicazione neuronale causate dalla modificazione nella posizione e nella funzione di proteine sinaptiche preesistenti, e di una fase successiva a lungo termine (da alcune ore a qualche giorno) durante la quale avvengono modifiche neuronali più sostanziali, come la crescita di nuove connessioni neuronali, attraverso una trascrizione genica *de novo*.

Saranno qui riassunti i progressi compiuti negli ultimi dieci anni nell'identificazione dei protagonisti molecolari che giocano un ruolo centrale in questo processo, focalizzando in particolare l'attenzione sul sistema dell'ippocampo dei mammiferi. Inoltre, si discuterà brevemente l'impatto di tali scoperte sul trattamento della perdita di memoria.

Le basi della comunicazione neuronale

I neuroni sono le principali unità di comunicazione del segnale nel sistema nervoso. Un tipico neurone ha quattro regioni morfologicamente distinte e definite: corpo cellulare, dendriti, assone e terminali presinaptici (fig. 1). Il corpo cellulare è il centro metabolico della cellula; contiene il nucleo dove sono presenti i geni per la loro trascrizione in proteine. Dal corpo cellulare prendono il via due diversi prolungamenti: i numerosi corti dendriti e un unico, lungo assone. I dendriti si ramificano ad albero verso l'esterno, e rappresentano l'apparato più importante per la ricezione dei segnali dagli altri neuroni. L'assone costituisce la principale unità di conduzione dei segnali elettrici, i cosiddetti potenziali d'azione, verso gli altri neuroni. In prossimità della sua parte terminale, l'assone si divide in sottili ramificazioni che formano le strutture di comunicazione con gli altri neuroni. Questi snodi di comunicazione sono detti sinapsi, dal termine greco *sinapsis* («collegamento»). L'input dello snodo appartenente al neurone che trasmette il potenziale d'azione è detto terminale presinaptico, e l'output, che appartiene invece al neurone che riceve il segnale, è detto terminale postsinaptico. Nei principali neuroni del cervello, questo terminale postsinaptico risulta in genere situato all'interno di piccole protrusioni membranose, chiamate spine, poste sui dendriti del neurone ricevente. I due neuroni in realtà non si toccano, ma sono separati dallo spazio sinaptico. Il sito presinaptico contiene vescicole piene di un neurotrasmettitore chimico. Quando un potenziale d'azione che ha viaggiato lungo l'assone raggiunge il terminale, il neurotrasmettitore è rilasciato nello spazio sinaptico attraverso un processo detto esocitosi vescicolare. Il neurotrasmettitore allora si lega a specifici recettori presenti sulla membrana del terminale

postsinaptico. A seconda del neurotrasmettitore rilasciato, questo legame risulterà in modificazioni postsinaptiche che aumenteranno o, al contrario, inibiranno l'attività del neurone postsinaptico.

Plasticità sinaptica nell'ippocampo

L'ippocampo è una parte del telencefalo (fig. 2A) ed è strutturalmente allocato all'interno del lobo temporale mediano. Esso forma parte del sistema limbico e gioca un ruolo determinante nella formazione della memoria e nell'orientamento spaziale. L'uomo e gli altri mammiferi hanno due ippocampi, uno in ogni parte del cervello. Il nome deriva dalla sua forma curva nelle sezioni coronali del cervello, che ricorda un cavalluccio marino o ippocampo. Nel morbo di Alzheimer l'ippocampo è una delle prime regioni del cervello a subire un danno; problemi di memoria e disorientamento appaiono già tra i primi sintomi.

L'ippocampo consiste di due principali tipi di neuroni: i neuroni eccitatori, che rilasciano glutammato a livello dei loro terminali presinaptici, e i neuroni inibitori, che invece rilasciano acido γ -amminobutirrico (GABA, Gamma-AminoButyric Acid). In generale, gli assoni dei neuroni inibitori entrano in contatto con i neuroni vicini, sia inibitori sia eccitatori, e localmente modulano l'attività della rete neuronale, mentre gli assoni dei neuroni eccitatori raggiungono i neuroni più distanti e conducono il segnale di uscita dalla struttura del cervello in cui hanno sede ad altre aree cerebrali, vicine o distanti. La regolazione dinamica delle connessioni sinaptiche, anche detta plasticità sinaptica, è ritenuta il cuore del processo molecolare di formazione della memoria.

L'ippocampo forma una rete per lo più unidirezionale, composta di tre principali tipi di cellule eccitatorie, piramidali o granulari, localizzate in tre distinte sottoregioni ippocampali: il giro dentato (DG, Dentate Gyrus) e le aree del corno di Ammone (CA1 e CA3, Cornus Ammon). I neuroni della corteccia entorinale (EC, Entorhinal Cortex), il più importante centro relay tra la corteccia e l'ippocampo, formano connessioni sinaptiche eccitatorie sulle cellule granulari del DG, attraverso la via perforante. Queste cellule estendono gli assoni che costituiranno la via delle fibre muscoidi che formano sinapsi con i neuroni piramidali della CA3. Questi neuroni, a loro volta, proiettano verso i neuroni piramidali attraverso la via collaterale di Schaffer (SC, Schaffer Collateral). Gli assoni dei neuroni della CA1 forniscono il principale output dalla struttura dell'ippocampo verso la corteccia, ancora attraverso la corteccia entorinale (fig. 2B). Questa struttura laminare, nella quale i neuroni pre- e postsinaptici sono chiaramente distinguibili, ha rappresentato un substrato ideale per lo studio dei meccanismi molecolari che orchestrano la regolazione dinamica della forza sinaptica. In particolare, questa struttura mostra la forma di plasticità neuronale attività-dipendente meglio

conosciuta e più estesamente studiata, ossia il potenziamento a lungo termine (LTP, Long Term Potentiation) della forza sinaptica. Il concetto, molto semplificato, che è alla base del ruolo della LTP nella formazione della memoria, può essere riassunto come segue: un'esperienza, per es. la formazione di un nuovo ricordo, attiverà uno specifico set di connessioni sinaptiche che, di conseguenza, si rafforzeranno, come mostrato dalla LTP di queste sinapsi. La LTP è così considerata come il più importante correlato cellulare di una traccia di memoria, e la sua ampiezza e longevità come i parametri che probabilmente determinano la robustezza della traccia. Sebbene sia stato un compito gravoso dimostrare che tale rafforzamento di modificazioni sinaptiche avviene effettivamente in vivo in risposta all'apprendimento, due recenti studi hanno focalizzato il ruolo diretto della LTP ippocampale nella formazione di un ricordo. In questi studi, fenomeni del tipo LTP sono stati registrati a livello dei collaterali di Schaffer nelle sinapsi della CA1 (SC-CA1) in roditori coscienti sottoposti a un esercizio di apprendimento. Sebbene la prima dimostrazione della LTP sia stata descritta all'inizio degli anni Settanta da Tim V.P. Bliss e Terje Lømo nel giro dentato di conigli anestetizzati (Long-lasting potentiation of synaptic transmission in the dentate area of the anaesthetized rabbit following stimulation of the perforant path, «Journal of physiology», 1973, 232, pp. 331-56), l'identificazione dei protagonisti molecolari della plasticità fu ottenuta principalmente a livello delle sinapsi SC-CA1. Questa connessione sinaptica mostra una robusta LTP con componenti sia precoci sia tardivi, fenomeno tipico del meccanismo che soggiace alla formazione della memoria come si osserva nel corso dell'evoluzione.

Dissezione molecolare di una comunicazione sinaptica SC-CA1

Una sinapsi SC-CA1 è una tipica sinapsi glutamatergica: il glutammato, rilasciato dal terminale presinaptico, si lega ai recettori glutamatergici presenti sulla membrana postsinaptica. Questa sinapsi ha una struttura molto complessa composta da centinaia di diverse proteine, a livello sia del terminale presinaptico sia di quello postsinaptico. La densa concentrazione di proteine presente nel terminale postsinaptico è detta densità postsinaptica (PSD, PostSynaptic Density). La sinapsi SC-CA1, fortemente organizzata, contiene un'alta concentrazione di recettori per il glutammato che sono attivati quando questo neurotrasmettitore è rilasciato dal terminale presinaptico, ma contiene anche varie proteine di segnale associate a recettori e proteine strutturali. È questa intricata interazione regolatoria tra recettori e proteine che permette a una sinapsi di mostrare plasticità sinaptica attività-dipendente, come la LTP. La complessità di questa struttura è venuta alla luce alla fine degli anni Novanta del 20° sec. grazie alle continue scoperte di nuove proteine. Sarà qui focalizzata l'attenzione sui recettori e sulle proteine presenti nella densità postsinaptica che sono caratterizzati come mediatori, piuttosto che come modulatori, della plasticità sinaptica nella connessione SC-CA1.

Sono presenti due tipi di recettori ionotropici del glutammato nella PSD del terminale postsinaptico: i recettori acido α -ammino-3-idrossi-5-metilisoaxa-zolo-4-propionico (AMPA, α -Amino-3-hydroxy-5-Methylisoxazole-4-Propionic Acid) e N-metil-D-aspartato (NMDA, N-Methyl-D-Aspartate). Il sottotipo più numeroso di recettori AMPA (AMPA) presente in questa sinapsi è costituito da canali ionici permeabili al sodio (Na^+) e al potassio (K^+), che si aprono in seguito al legame del glutammato. I recettori NMDA (NMDAR), come gli AMPA, si aprono quando si lega il glutammato; essi sono canali ionici permeabili al calcio (Ca^{2+}), così come al Na^+ e al K^+ . I recettori NMDA possiedono anche la caratteristica unica di aprirsi solo quando il terminale postsinaptico è sufficientemente depolarizzato (cioè si carica positivamente). Ciò si ottiene generalmente grazie a un ingresso sufficiente di ioni Na^+ attraverso il recettore AMPA durante un intenso rilascio di glutammato dal terminale presinaptico. Tale meccanismo attività-dipendente assicura che l'ingresso del calcio attraverso i recettori NMDA avvenga solo in seguito a un forte rilascio di glutammato nella specifica sinapsi. L'ingresso del calcio nel terminale postsinaptico, attraverso i recettori NMDA, è l'innesco necessario per la LTP. Una tipica LTP in questa sinapsi è evidenziata da un incremento di lunga durata della corrente eccitatoria postsinaptica (EPSC, Excitatory PostSynaptic Current) del recettore AMPA a seguito di un breve periodo di forte stimolazione del rilascio di glutammato presinaptico. Tale incremento dell'EPSC mediato dal recettore AMPA può essere ottenuto in vitro nel tessuto di ippocampo con forte stimolazione elettrica dei terminali presinaptici. Il segnale registrato per la corrente mediata dal recettore AMPA è una flessione negativa verso il basso della EPSC. Essa normalmente mostra un'ampiezza massima di 50-200 picoampere (pA) e dura pochi millisecondi (ms) dopo ogni stimolazione (fig. 3A). L'ingresso del calcio nel neurone postsinaptico conduce all'attivazione di diverse proteine calcio-dipendenti, con conseguenti rapidi riarrangiamenti sinaptici locali (LTP precoce) e alterazioni neuronali dipendenti dalla trascrizione genica (LTP tardiva). Il potenziamento a lungo termine (LTP) della corrente EPSC mediata dal recettore AMPA può essere indotto da forte stimolazione elettrica della via SC con depolarizzazione del neurone postsinaptico. Nella fig. 3B è mostrato un esempio di traccia. Si misura l'ampiezza di base della corrente EPSC di AMPA (misurata in pA sull'asse delle ordinate) per 5 minuti (da -5 a 0 sull'asse delle ascisse). L'induzione della LTP è indicata dalla freccia. Il potenziamento dell'ampiezza della corrente EPSC mediata dal recettore AMPA, evidenziata da un aumento nella magnitudo (negativa), viene monitorata per alcuni minuti oppure alcune ore dopo l'induzione della LTP. Nel riquadro della fig. 3B sono rappresentate l'ampiezza di base della corrente EPSC del recettore AMPA (1) e l'ampiezza 40-60 minuti dopo l'induzione della LTP (2).

Meccanismo molecolare del potenziamento a lungo termine

Un'esperienza conduce a un'appropriata attivazione di specifici circuiti neuronali. Quest'attività neuronale dà inizio a risposte biochimiche alle sinapsi dei neuroni attivati che portano a un rapido aumento nella forza sinaptica. Se l'attività neuronale (ossia l'ingresso del calcio nel neurone postsinaptico) risulta sufficiente, le risposte biochimiche raggiungono il nucleo della cellula e attivano fattori di trascrizione, come la proteina CREB (CAMP Responding Element Binding), che regolano l'espressione dei geni. La cascata di espressione genica si traduce in riarrangiamenti a lungo termine dei circuiti e in crescita del numero di sinapsi, che cambiano la connettività del circuito attivato (fig. 4).

LTP precoce

Nello spazio di alcuni ms, l'ingresso del calcio nel terminale postsinaptico attiva diverse chinasi, enzimi che aggiungono gruppi fosfato da molecole donatrici ad alta energia, come l'adenosina trifosfato (ATP, Adenosine-TriPhosphate), a specifiche molecole bersaglio. In particolare, la proteina chinasi II calcio calmodulina dipendente (CaMKII, Calcium calmodulin-dependent protein Kinase II), attraverso la fosforilazione del recettore AMPA stesso, così come di altri substrati, conduce a un aumento della funzionalità del canale dei recettori AMPA e a un incremento del loro numero sulla membrana; la fig. 4B mostra la crescita per: aumento della conduttanza del recettore AMPA per Na⁺ (a); esocitosi del recettore AMPA verso l'esterno del PSD (b); diffusione laterale del recettore AMPA dai siti extra-sinaptici verso la PSD (c); rilascio dei messaggeri retrogradi che aumentano il rilascio di glutammato pre-sinaptico (d). I recettori AMPA sono dimeri composti di subunità diverse o uguali tra loro. Alterazioni nella loro composizione a livello delle subunità modificano le loro proprietà biofisiche e la loro permeabilità ai cationi. Alcuni studi recenti suggeriscono che durante la fase iniziale della LTP, i nuovi recettori AMPA inseriti nella membrana hanno una composizione specifica di subunità che li rende permeabili al calcio. Un intenso aumento di questa permeabilità nella sinapsi potenziata può facilitare ulteriormente alterazioni cellulari calcio-dipendenti, necessarie per consolidare questo rafforzamento sinaptico. L'esatto meccanismo che media e regola tale inserimento attività-dipendente dei recettori AMPA nella membrana cellulare è ancora sotto attento esame. L'esocitosi di recettori in siti extrasinaptici, seguita da diffusione laterale dei recettori stessi verso la PSD, appare essere il meccanismo più probabile.

Sebbene sia stato dimostrato che CaMKII è una delle principali chinasi promotrici di tali cambiamenti sinaptici durante la fase iniziale della LTP, con ogni probabilità anche altre chinasi calcio-attivate sono importanti protagonisti di questo processo. Inoltre, affinché una sinapsi accolga questi nuovi recettori, le strutture deputate all'immagazzinamento e alla trasmissione del segnale devono essere sintetizzate e

indirizzate. Prove recenti suggeriscono che le proteine necessarie possono essere sintetizzate localmente a richiesta, utilizzando un apparato di sintesi proteica locale strettamente regolato.

Infine, è stato ipotizzato che l'ingresso locale del calcio possa anche promuovere la generazione e il rilascio di messaggeri retrogradi. Questi messaggeri sono sintetizzati e rilasciati dal terminale postsinaptico e viaggiano all'indietro verso il terminale presinaptico incrementando il rilascio di neurotrasmettitori in risposta ai potenziali d'azione. L'identità dei messaggeri retrogradi è ancora in discussione, ma se tale fenomeno avviene, esso con ogni probabilità contribuisce ulteriormente al rafforzamento della sinapsi stimolata.

È così diventato sempre più chiaro negli ultimi decenni che il meccanismo molecolare alla base dell'intenso aumento locale di forza sinaptica alla giunzione SC-CA1 è estremamente complesso, e coinvolge numerosi protagonisti e diversi modi di regolazione. Inoltre, la LTP iniziale in altri tipi di sinapsi può essere espressa attraverso differenti mezzi, suggerendo così che nei mammiferi ogni tipo di sinapsi si è evoluto con il suo proprio macchinario molecolare altamente specifico, per eseguire un compito essenziale nelle funzioni cerebrali.

LTP tardiva

Mentre molti studi sono stati dedicati alla scoperta dei meccanismi responsabili dell'aumento iniziale della forza sinaptica durante i primi 30-60 minuti, i meccanismi che permettono alla LTP di durare ore, giorni o addirittura settimane rivestono un'uguale importanza, se non addirittura maggiore. Questa fase tardiva della LTP richiede una trascrizione genica de novo, che avviene all'interno del nucleo del neurone. Alcune molecole agiscono come segnale tra l'attività locale induttrice della LTP, ovvero l'ingresso postsinaptico del calcio e la trascrizione genica. Tra queste molecole, le chinasi attivate dal calcio (PKA, Protein Kinase A; CaMKIV; ERK, Extracellular signal-Regulated Kinase) sembrano avere un ruolo determinante. L'esatto contributo di ciascuna chinasi all'innesco della trascrizione genica è ancora dibattuto, ma è chiaro che tutte e tre queste proteine possono fosforilare il fattore chiave di trascrizione CREB. L'attivazione di CREB attraverso la sua fosforilazione conduce alla trascrizione di numerosi geni quali quelli che codificano il fattore di trascrizione c-fos, un'altra proteina che regola la trascrizione di geni specifici, e il fattore neurotrofico BDNF (Brain-Derived Neurotrophic Factor), una proteina che favorisce la sopravvivenza dei neuroni. La trascrizione di questi geni CREB-dipendenti porta ad alterazioni a lungo termine nella funzione neuronale che si pensa siano alla base della formazione della memoria. Poco si sa circa l'identità di queste alterazioni. Recentemente, nuovi esperimenti suggeriscono che i neuroni soggetti a un aumento relativamente acuto (12 ore) dell'attività di

CREB contengano nuove spine dendritiche con sinapsi che ospitano solamente recettori NMDA (fig. 4C; v. Marie, Morishita, Yu et al. 2005). Questi neuroni mostrano anche una LTP più forte e sono maggiormente eccitabili (Marie, Morishita, Yu et al. 2005; Dong, Green, Saal et al. 2006). Gli esatti protagonisti molecolari che associano l'attivazione di CREB a queste modificazioni neuronali sono ancora sconosciuti, ma tali modificazioni alterano la rete neuronale circostante per promuovere il rafforzamento della traccia di memoria. La creazione di nuove spine attraverso l'attivazione di CREB supporta fortemente l'idea, suggerita per la prima volta nel 1899 dal medico e patologo spagnolo Santiago Ramón y Cajal, e poi confermata da diversi studi (Bonhoeffer, Yuste 2002), che il numero, la grandezza e la forma delle spine sono modulati dall'attività neuronale, e che questi cambiamenti strutturali indotti dalla LTP devono, almeno in parte, essere alla base della formazione della memoria. Inoltre, l'aumento dell'eccitabilità neuronale CREB-dipendente conferma il nuovo concetto che le alterazioni dell'eccitabilità, come anche della forza sinaptica, possono sottostare agli adattamenti neuronali apprendimento-dipendenti.

Sebbene CREB abbia ricevuto la maggior parte dell'attenzione come fattore chiave di trascrizione durante la formazione della memoria, anche altre proteine che regolano la trascrizione genica, come Zif268, sono attivate da chinasi calcio-dipendenti in seguito all'ingresso del calcio nella sinapsi. L'importanza di questi altri fattori e la trascrizione genica risultante, nel processo di formazione della memoria, non sono ancora stati chiariti. Possiamo comunque aspettarci che la fase tardiva della LTP e la codifica di un ricordo siano mediate da una regolazione della trascrizione di geni neuronali di cui si è appena iniziato a comprendere la complessità.

La punta dell'iceberg

In questo saggio si è focalizzata l'attenzione sui cambiamenti molecolari essenziali della sinapsi SC-CA1 che mediano, almeno in parte, la formazione di un ricordo nel cervello dei mammiferi. Vorremmo comunque puntualizzare il fatto che la descrizione di tale meccanismo molecolare, sebbene già in apparenza complesso, è solo la punta dell'iceberg.

Per prima cosa, questo fenomeno calcio-dipendente può essere modulato da varie molecole endogene di segnale. Infatti, i neurotrasmettitori 'regolatori dell'umore' dopamina e serotonina, il neurotrasmettitore acetilcolina (sostanza naturale del cervello con proprietà simili alla nicotina, il principio attivo del tabacco) e gli endocannabinoidi (con proprietà simili al THC, TetraHydroCannabinol, il principio attivo della marijuana) modulano tutti la forza della LTP e influenzano la formazione della memoria. E si è solo all'inizio dell'individuazione degli esatti meccanismi grazie ai quali queste sostanze del cervello strettamente

controllate regolano la LTP e la formazione della memoria. Secondariamente, la LTP delle risposte dei recettori AMPA qui descritte non è assolutamente l'unico meccanismo in grado di spiegare la formazione della memoria. È soltanto uno dei meccanismi che il cervello utilizza per promuovere la plasticità delle sue connessioni neuronali. Infatti, la LTP delle risposte mediate dai recettori AMPA promossa da differenti meccanismi molecolari è stata evidenziata in diverse aree cerebrali, alcune delle quali, come la neocorteccia, sono anche associate alla formazione della memoria (Kim, Linden 2007). Inoltre, all'inizio degli anni Novanta del 20° sec. è stato scoperto un meccanismo correlato, detto depressione a lungo termine (LTD, Long Term Depression), in diverse aree del cervello, in cui le sinapsi riducono le loro risposte mediate dai recettori AMPA e il potenziale sinaptico. I meccanismi molecolari della LTD, sebbene coinvolgano ancora la regolazione dei recettori AMPA di membrana nell'ippocampo, utilizzano differenti protagonisti molecolari (Malenka, Bear 2004). La LTD, anche se è al momento meno studiata della LTP, potrebbe comunque avere pari importanza nella codifica della memoria. Infine, anche se il concetto di plasticità della trasmissione sinaptica eccitatoria attraverso la regolazione dei recettori AMPA e NMDA è accettata come la componente principale della formazione della memoria, altre plasticità di recente definizione, quali, per es., la regolazione dell'eccitabilità neuronale e la trasmissione inibitoria GABAergica, assumeranno con ogni probabilità un ruolo altrettanto importante. Sarà interessante ridefinire nella prossima decade il ruolo di ogni tipo di plasticità nella formazione della memoria, quando la valutazione scientifica del meccanismo molecolare alla base sarà più estesa rispetto a quella attuale incentrata sulla plasticità sinaptica glutamatergica SC-CA1.

Una prospettiva ai trattamenti per la perdita di memoria

Ci si potrebbe chiedere quale possa essere la rilevanza della chiarificazione di tali intricati e complessi meccanismi. Diviene sempre più chiaro che la loro stretta regolazione è difettosa in diverse e devastanti malattie del cervello quali l'epilessia, la depressione, le dipendenze, le malattie di Parkinson e di Alzheimer. In effetti, l'invecchiamento stesso porta a riduzione della plasticità sinaptica incluse LTP e LTD, particolarmente nella corteccia cerebrale e nell'ippocampo (Mora, Segovia, del Arco 2007). Per quanto riguarda la malattia di Alzheimer è diventato sempre più evidente che i difetti irreversibili nelle modificazioni sinaptiche attività-dipendenti dell'ippocampo qui descritte precedono una diffusa morte neuronale e sono quindi probabilmente tra i maggiori responsabili della progressiva perdita di memoria che affligge i malati. Infatti, nei malati di Alzheimer, si osserva una precisa correlazione tra deficit di memoria e perdita di struttura e funzione delle sinapsi glutamatergiche. Nel cervello degli individui affetti si osserva l'aumento di una molecola detta A β (β -amiloide), che forma nel tempo depositi a placche; nei modelli murini la LTP dell'ippocampo è compromessa prima che si possano osservare i depositi di A β . Inoltre, un'intensa

esposizione ad A β blocca selettivamente la LTP dell'ippocampo di topo in vitro e dopo infusione di A β nel cervello di topo si hanno alterazioni nella formazione della memoria. A β inoltre si lega selettivamente ai neuroni eccitatori piramidali, ma non ai neuroni GABAergici. Insieme, queste evidenze suggeriscono che la riduzione della funzione sinaptica è un evento precoce nella patogenesi della malattia di Alzheimer. La ricerca dei meccanismi attraverso i quali A β induce deficit sinaptici è ancora a un livello iniziale, e al momento non c'è accordo sui precisi percorsi molecolari coinvolti.

Una migliore comprensione dei meccanismi molecolari della plasticità sinaptica in condizioni di salute e di malattia permetterà di trovare nuove terapie che possano prevenire o almeno ritardare la progressione della malattia. Di recente la ricerca di trattamenti volti al rafforzamento naturale o farmacologico della plasticità sinaptica si è molto intensificata.

Arricchimento ambientale e memoria

L'arricchimento ambientale è stato scoperto recentemente come naturale rafforzativo della plasticità sinaptica e della formazione della memoria (Mora, Segovia, del Arco 2007). Sono stati utilizzati per la sperimentazione gruppi di animali tenuti in grandi gabbie contenenti tunnel, piattaforme, giocattoli e ruote mobili, invece che le tipiche gabbie vuote in cui si allevano normalmente. Numerosi studi hanno mostrato cambiamenti significativi a livello molecolare, cellulare e comportamentale, particolarmente nell'ippocampo. Tali condizioni di stabulazione di ratti e topi hanno migliorato l'apprendimento e la memoria, incrementato la neurogenesi (cioè la formazione di nuovi neuroni) nel giro dentato dell'adulto e mostrato un aumento nel numero di contatti sinaptici a livello dell'ippocampo, oltre a una LTP più efficace. Ciò è stato correlato a un incremento nel livello del BDNF, fattore neurotrofico e bersaglio del CREB. L'arricchimento ambientale ha anche ridotto nei roditori le alterazioni della plasticità sinaptica e dei deficit di memoria età-dipendenti. Sebbene i meccanismi molecolari associati a questo tipo di sperimentazione e la plasticità sinaptica che ne deriva non siano stati chiariti, questi dati avvalorano la recente idea che un ambiente arricchito possa aiutare a ritardare i deficit di memoria legati all'età e, forse, a riparare i danni a carico della memoria. Nell'uomo, un arricchimento equivalente si può ottenere con l'esercizio fisico, ma anche con il coinvolgimento intellettuale. Infatti, i dati dimostrano che le funzioni esecutive associate con le regioni corticali e ippocampali possono essere mantenute selettivamente o aumentate con maggiori livelli di adattabilità. Inoltre, il coinvolgimento intellettuale nel corso della vita è significativamente correlato a una riduzione del declino cognitivo legato all'età.

Farmaci e memoria

La comprensione dei meccanismi molecolari alla base della formazione della memoria ha permesso lo sviluppo di nuovi farmaci che favoriscono la memoria attraverso l'induzione e l'aumento della LTP (Lynch 2002). Per incrementare l'induzione di LTP, è stata investigata la modulazione della funzione dei recettori AMPA. Le ampachine sono state i primi modulatori allosterici dei recettori AMPA scoperti. Esse riducono la desensitizzazione e la deattivazione dei recettori AMPA, con il risultato di un aumento e un prolungamento delle correnti sinaptiche generate dal rilascio di glutammato. L'uso di questi farmaci ha migliorato la performance nei test di memoria in modelli animali. Essendo modulatori, le ampachine agiscono solo su quei recettori AMPA attivati da trasmettitori rilasciati per via endogena e quindi solo su quelle reti coinvolte in quel momento nell'attività cerebrale. Questo aspetto, insieme all'assenza di bersagli esterni al sistema nervoso, presumibilmente spiega l'effetto positivo delle ampachine sulla memoria a dosaggi molto più bassi di quelli che producono notevoli effetti collaterali (gli attacchi epilettici rappresentano i fattori di rischio più importanti). Sono stati scoperti ulteriori modulatori dei recettori AMPA con strutture chimiche alternative, che hanno dato origine a un gran numero di promettenti candidati a farmaci per la memoria, al momento sotto valutazione clinica in soggetti sani o con memoria danneggiata. I primi risultati mostrano che questa strategia terapeutica conduce a miglioramenti da modesti a moderati nei test di memoria. L'altro approccio, logico e alternativo a un miglioramento nella codifica della memoria, è aumentare l'espressione di LTP. A questo riguardo il fattore di trascrizione CREB ha ricevuto una particolare attenzione. Tali sostanze hanno fornito risultati incoraggianti nei modelli murini per varie malattie collegate alla memoria (malattia di Alzheimer, sindrome di Rubinstein-Taybi), ma nell'uomo non sono stati ancora valutati in test clinici. Per disporre di potenziatori efficaci della memoria occorrerà sviluppare una specificità di bersaglio (cervello-specifico o anche ippocampo-specifico).

Lo sviluppo di queste nuove sostanze dimostra che la ricerca di base sui substrati della codifica della memoria ha raggiunto il punto in cui può fornire nuove strade terapeutiche. Un giorno, il nostro medico potrà indicarci una clinica specializzata in 'terapia per l'aumento della memoria', in caso di una sospetta disfunzione, dove noi potremo essere valutati con una serie di test cognitivi per definire in maniera specifica la natura della disfunzione. Sui risultati di tali test, ci saranno prescritti 'esercizi per il cervello' altamente specifici, con la contemporanea somministrazione di stimolatori della memoria in grado di recuperare la funzione cognitiva deficitaria. È una prospettiva realistica? Solo il tempo ce lo potrà dire.

Cosa ci riserva il futuro

Il francese François Jacob, premio Nobel per la medicina nel 1965, ha scritto: «Il secolo che sta per concludersi si è molto occupato di acidi nucleici e proteine. Il prossimo si concentrerà su ricordi e desideri. Saprà risolvere tali questioni?» (La souris, la mouche et l'homme, 1997; trad. it. 1998, p. 147). Nel corso degli ultimi decenni la comunità delle neuroscienze ha compiuto progressi incredibili nella comprensione delle relazioni tra processi molecolari intracellulari, plasticità neuronale e memoria; ma la ricerca di tali conoscenze costituirà certamente una sfida per i neuroscienziati degli anni a venire. In particolare, l'identificazione biologica dei meccanismi della memoria è stata affrontata da diverse angolazioni, dalla dettagliata dissezione molecolare a livello di specifiche sinapsi, alla simulazione della rete neurale dei processi della memoria. La sfida più grande da affrontare nel 21° sec. è integrare queste scoperte tra loro indipendenti in una teoria unificata che spieghi la memoria. Solo allora saremo in grado di diagnosticare e trattare con precisione le diverse forme di disfunzioni della memoria che affliggono così profondamente la nostra società. Come ha eloquentemente scritto il maestro del cinema Luis Buñuel, «Una vita senza memoria non sarebbe una vita, così come un'intelligenza senza possibilità di esprimersi non sarebbe un'intelligenza. La nostra memoria è la nostra coerenza, la ragione, l'azione, il sentimento. Senza di lei, siamo niente» (Mon dernier soupir, 1982; trad. it. 1983, p. 8).

Specchio, neuroni

Enciclopedia Italiana - VII Appendice (2007)

di Giacomo Rizzolatti, Leonardo Fogassi, Vittorio Gallese

Specchio, neuroni

L'uomo è una specie eminentemente sociale, che ha sviluppato la capacità di capire le azioni degli altri, le loro intenzioni ed emozioni. I meccanismi alla base di queste facoltà cognitive e sociali sono rimasti per molto tempo sconosciuti; fino agli anni Novanta del 20° sec., infatti, i neuroscienziati e gli psicologi tendevano a ricondurre tali facoltà all'applicazione di forme di ragionamento, simili a quelle usate per risolvere logicamente un problema. Secondo questo punto di vista, un sofisticato apparato cognitivo nel cervello dell'osservatore elaborerebbe l'informazione veicolata dai suoi organi di senso e la confronterebbe con le esperienze

archivate in memoria. In questo modo, chi osserva può inferire cosa sta facendo un agente e perché lo sta facendo. Ma anche se inferenze di questo tipo sono certamente possibili, soprattutto quando il comportamento altrui è difficile da decifrare, la facilità e la rapidità con cui in genere comprendiamo azioni semplici suggerisce una spiegazione più diretta. La scoperta dei n. s. nei macachi e la successiva dimostrazione di un sistema specchio nel cervello umano hanno messo in evidenza per la prima volta un meccanismo neurofisiologico in grado di spiegare alcuni aspetti di base della nostra intelligenza sociale.

La scoperta dei neuroni specchio

All'inizio degli anni Novanta del 20° sec., un gruppo di ricercatori dell'Università di Parma scoprì e descrisse una classe di neuroni presenti nella corteccia cerebrale premotoria di macaco (*Macaca mulatta*); questi neuroni si attivavano sia quando l'animale eseguiva semplici atti motori finalizzati a uno scopo (per es., afferrare un pezzo di cibo) sia quando vedeva un altro individuo (uomo o scimmia) eseguire lo stesso atto motorio. Poiché questi neuroni sembravano riflettere le azioni eseguite da un altro individuo nel cervello dell'osservatore, furono chiamati neuroni specchio. È stato suggerito che le proprietà dei n. s. permettano agli individui di comprendere immediatamente le azioni osservate, senza bisogno di complessi ragionamenti. Poiché quando eseguiamo un atto motorio volontario ne conosciamo lo scopo, l'osservatore comprende il significato dell'atto motorio altrui in quanto attiva lo stesso circuito nervoso che presiede nel suo cervello all'esecuzione del medesimo atto motorio. Il meccanismo dei n. s. sarebbe il correlato neurale di tale esperienza.

La scoperta dei n. s. è avvenuta durante una serie di studi volti a indagare, mediante registrazione di singoli neuroni, le proprietà di un'area della corteccia motoria (area F5) del cervello del macaco coinvolta nell'esecuzione di atti motori finalizzati della mano e della bocca. Durante questi esperimenti si osservò che quando uno sperimentatore afferrava del cibo, i neuroni della scimmia si attivavano esattamente come se fosse stata lei stessa ad

afferrarlo. Dopo avere escluso che queste risposte potessero dipendere da movimenti impercettibili eseguiti dall'animale, o dall'aspettativa del cibo, si comprese che esse costituivano l'attivazione di una rappresentazione motoria dell'atto osservato, a prescindere da chi lo stesse eseguendo. La risposta visiva dei n. s. è evocata solo se lo stimolo osservato è costituito da una mano o una bocca che interagisce con un oggetto in maniera finalizzata (per es., per prendere l'oggetto, tenerlo, romperlo e così via). La visione isolata dell'agente e quella dell'oggetto non sono efficaci nel determinare una risposta; similmente inefficace, o molto meno efficace, è l'osservazione di un atto motorio mimato, senza che l'oggetto sia presente. Lo stimolo visivo efficace per attivare questi neuroni è quindi l'osservazione di un effettore (mano o bocca) che interagisce con un oggetto. Parte dei n. s. sono specifici per l'esecuzione/osservazione di atti motori singoli, altri invece sono meno specifici, in quanto rispondono all'esecuzione/osservazione di due o più atti motori. In circa un terzo dei n. s. l'atto motorio eseguito e quello osservato per evocare la risposta devono essere strettamente congruenti per quanto riguarda scopo e modo di conseguimento. Nei rimanenti neuroni il rapporto di congruenza è invece di ordine più generale: gli atti motori efficaci eseguiti e osservati corrispondono in termini di scopo (per es., afferrare), ma la loro efficacia non dipende dal tipo di prensione impiegato e osservato dalla scimmia. Ci si potrebbe chiedere se la risposta dei n. s. all'osservazione dell'azione altrui permetta realmente la comprensione del suo significato, oppure se ne consenta solo il riconoscimento visivo, come avviene per i neuroni di un'area temporale della corteccia di scimmia che rispondono alla osservazione di movimenti biologici. Se i n. s. sono i mediatori della comprensione, la loro attività dovrebbe riflettere il significato dell'atto motorio, piuttosto che i suoi tratti visivi. Per verificare questa ipotesi le risposte dei n. s. sono state studiate in situazioni sperimentali nelle quali le scimmie coglievano il significato di un atto motorio eseguito da altri senza vederlo. In una prima serie di esperimenti l'attività dei n. s. è stata studiata in due condizioni: nella prima, la scimmia poteva vedere l'intero atto motorio (per es., una mano che afferra un oggetto); nella seconda, la parte finale dell'atto motorio osservato era 'oscurata' da uno schermo. Nonostante questo impedimento, oltre la metà dei neuroni registrati ha continuato a rispondere anche nella condizione oscurata, in cui

lo scopo dell'atto motorio altrui poteva solo essere immaginato. In una seconda serie di esperimenti è stato verificato se i n. s. di F5 'riconoscevano' o meno il significato delle azioni sulla base del loro rumore. I n. s. sono stati registrati quando la scimmia eseguiva atti motori che producevano rumore (per es., rompere una nocciolina) e quando ascoltava il rumore prodotto dallo stesso atto motorio eseguito dallo sperimentatore. Una consistente percentuale di n. s. si attivava sia quando la scimmia eseguiva l'atto motorio, sia quando lo osservava, sia quando ne ascoltava il rumore. Questi neuroni sono stati perciò chiamati neuroni specchio audiovisivi. Tali esperimenti hanno confermato che l'attività dei n. s. è alla base della comprensione degli atti motori altrui indipendentemente dall'informazione sensoriale disponibile. Studi successivi hanno inoltre dimostrato la presenza di n. s. anche in settori del lobo parietale inferiore (LPI) reciprocamente connessi con l'area F5, indicando che il sistema dei n. s. è costituito da un circuito parieto-premotorio. In seguito alla scoperta dei n. s. nel cervello del macaco sono stati intrapresi numerosi esperimenti volti a indagare se un simile sistema fosse presente anche nel cervello dell'uomo. Tali esperimenti sono stati condotti con varie tecniche, quali la stimolazione magnetica transcranica o TMS (Transcranic Magnetic Stimulation), la tomografia a emissione di positroni o PET (Positron Emission Tomography), la risonanza magnetica funzionale o fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging) e la magnetoencefalografia (MEG). La prima dimostrazione dell'esistenza del sistema specchio nell'uomo è venuta da un esperimento di TMS. I risultati di questo studio dimostrarono che l'osservazione di un atto motorio eseguito dalla mano di un altro individuo attiva le regioni motorie dell'osservatore, come evidenziato dalla facilitazione specifica nell'osservatore di quegli stessi muscoli che il soggetto attiva quando deve a sua volta eseguire gli atti motori osservati. Ciò dimostra che il sistema motorio mappa in modo specifico gli atti osservati sul repertorio di atti motori potenzialmente eseguibili dall'osservatore. La localizzazione anatomica del sistema specchio nell'uomo è stata stabilita mediante le tecniche della PET e della fMRI. Da tali studi è emerso che esso è composto, come nel macaco, da due settori della corteccia cerebrale: il lobo parietale inferiore e il giro frontale inferiore (GFI).

L'intenzione dell'azione

Quando compiamo un'azione, come afferrare una tazza per berne il contenuto, stiamo eseguendo una serie di atti motori collegati (raggiungere la tazza, afferrarla, portarla alla bocca, bere) la cui sequenza è determinata dalla nostra intenzione di bere. Alcuni studi hanno esaminato se l'attivazione dei n. s. parietali registrata mentre la scimmia osserva atti motori di afferramento possa essere influenzata dal fatto che questi atti motori siano inseriti in azioni con scopo diverso (afferrare per mangiare o afferrare per mettere il cibo in un contenitore). I risultati hanno mostrato che la maggior parte dei n. s. risponde in maniera differente all'osservazione dell'afferramento di un oggetto quando questo precede l'atto di portarlo alla bocca rispetto a quando precede l'atto di metterlo in un contenitore; ciò significa che la risposta del n. s. predice quello che verrà fatto successivamente dall'agente. Questi risultati indicano che i n. s. possono giocare un ruolo importante non solo nella comprensione dei singoli atti motori, ma anche nel riconoscimento dell'intenzione di colui che agisce. Uno studio fMRI sembra suggerire che anche nell'uomo il sistema specchio sia alla base della comprensione delle intenzioni delle azioni altrui. In questo studio i soggetti dovevano osservare tre generi di sequenze filmate che illustravano: atti motori di afferramento di una tazza senza contesto, solo contesto (due scene contenenti oggetti disposti su di una tavola, che suggerivano il contesto di una colazione da cominciare o già ultimata) e atti motori di afferramento della tazza all'interno dei due diversi contesti. Nell'ultima condizione il contesto suggeriva quale diversa intenzione potesse essere associata all'atto di afferramento della tazza (rispettivamente, bere o sparecchiare la tavola). L'osservazione degli atti motori contestualizzati rispetto alle altre due condizioni ha determinato un significativo incremento nell'attivazione della parte posteriore del GFI e del settore adiacente della corteccia premotoria ventrale, dove sono rappresentate le azioni manuali. Ciò dimostra che le aree premotorie dotate delle proprietà caratteristiche dei n. s., ossia aree che si attivano sia durante l'esecuzione sia durante l'osservazione di un atto motorio, sono coinvolte anche nella comprensione del 'perché' dell'azione, vale a dire dell'intenzione che l'ha promossa, verosimilmente utilizzando un

meccanismo neurofisiologico non dissimile da quello scoperto nei n. s. parietali della scimmia. Poiché l'uomo e gli altri Primati sono specie sociali, è facile cogliere il potenziale vantaggio evolutivo di un meccanismo, basato sui n. s., che colleghi gli atti motori elementari a una più ampia rete semantica motoria, permettendo in questo modo la comprensione diretta e immediata del comportamento altrui senza ricorrere a meccanismi cognitivi sofisticati.

Capire le emozioni

L'uomo comprende in più modi non solo le azioni, ma anche le emozioni. Osservare qualcuno che prova un'emozione può attivare una elaborazione cognitiva, che sfocia in una inferenza su ciò che la persona osservata sta provando; l'osservazione potrebbe però anche provocare una attivazione diretta sulle strutture visceromotorie che generano la stessa emozione nell'osservatore. Questi due modi di comprendere le emozioni sono profondamente diversi: nel primo caso, l'osservatore inferisce l'emozione, ma non la prova; nel secondo caso, il riconoscimento è diretto, poiché il meccanismo specchio induce nell'osservatore uno stato affettivo analogo, verosimilmente d'intensità variabile al variare della relazione che lega osservatore e osservato. Un esempio emblematico è rappresentato dall'emozione di base del disgusto. Uno studio fMRI ha dimostrato che provare una sensazione di disgusto dopo aver inalato sostanze odorose nauseanti o osservare l'espressione di disgusto sul volto di un'altra persona attivano esattamente la stessa regione di una struttura cerebrale chiamata insula, coinvolta nei meccanismi visceromotori dell'affettività. Questo suggerisce che osservatore e osservato condividono un meccanismo neurale per la comprensione diretta delle stesse esperienze emozionali. Simili risultati sono stati evidenziati in un altro studio fMRI in cui i partecipanti provavano dolore causato da stimolazione elettrica delle loro mani e poi vedevano gli elettrodi applicati sulla mano del proprio partner sottoposto al test, seguito da un segnale simbolico che segnalava la somministrazione al partner dello stesso stimolo doloroso. Le due situazioni attivavano nei soggetti le medesime regioni dell'insula. Gli autori di questo studio hanno inoltre rilevato una correlazione positiva tra l'intensità dell'attivazione di queste regioni

corticali e la capacità empatica dei singoli partecipanti. Nel complesso, questi dati implicano che l'uomo comprende le emozioni - o almeno le emozioni che hanno una carica negativa - attraverso un'attivazione diretta delle parti del cervello dalle quali nascono le risposte visceromotorie associate a quelle stesse emozioni. Tale meccanismo per la comprensione delle emozioni offre una base neurale in grado di spiegare alcuni importanti aspetti delle relazioni interpersonali su cui si costruiscono molti dei nostri comportamenti sociali.

Imitare per imparare

Le proprietà del sistema dei n. s. possono far pensare che una delle loro funzioni sia quella di sottendere il comportamento imitativo. Tuttavia, l'imitazione non è una facoltà particolarmente sviluppata nei Primati non umani: è rara nelle scimmie e limitata nelle scimmie antropomorfe come scimpanzé e gorilla. Viceversa, negli esseri umani l'imitazione è un mezzo molto importante per imparare e trasmettere le competenze pratiche, il linguaggio e la cultura. Studi di brain imaging nell'uomo mostrano il coinvolgimento del sistema dei n. s. sia nell'imitazione di semplici movimenti sia nell'apprendimento imitativo di pattern motori nuovi e complessi. Una serie di esperimenti fMRI hanno dimostrato che in soggetti umani che dovevano osservare e imitare movimenti delle dita della mano si attivava una regione posteriore del GFI, che è parte del sistema dei neuroni specchio. Un altro studio ha investigato l'attivazione cerebrale di soggetti che dovevano imitare degli accordi alla chitarra dopo averli visti eseguire da un musicista esperto: quando i soggetti osservavano l'esperto, si attivava il sistema dei n. s. della loro corteccia parieto-frontale; le stesse aree si attivavano ancora più intensamente quando i soggetti imitavano le sequenze di atti motori richiesti per produrre gli accordi. Nell'intervallo successivo all'osservazione, quando i partecipanti stavano programmando l'imitazione, si attivava un'ulteriore regione del lobo frontale, l'area 46, tradizionalmente associata alla pianificazione motoria e alla memoria di lavoro. Quest'area prefrontale potrebbe svolgere un ruolo centrale nell'assemblare adeguatamente gli atti motori elementari dell'azione che il soggetto si accinge a imitare.

Neuroni specchio e linguaggio

Il meccanismo dei n. s. presenta caratteristiche funzionali particolarmente appropriate per consentire la comunicazione interindividuale. Esso risolve, infatti, due problemi fondamentali della comunicazione: la parità e la comprensione diretta. La parità esige che il significato del messaggio sia lo stesso per il parlante e per il ricevente; comprensione diretta significa invece che due individui non hanno bisogno di precedenti accordi (per es., su simboli arbitrari), per potersi comprendere: l'accordo è inerente all'organizzazione neurale di entrambi. A sostegno di un ruolo dei n. s. nel linguaggio vi sono molte prove: il sistema umano dei n. s. comprende infatti la parte posteriore dell'area di Broca, centro corticale essenziale per il linguaggio, ritenuta essere l'omologo umano dell'area premotoria F5 del macaco, in cui sono stati scoperti i neuroni specchio.

Studi elettrofisiologici condotti sulla scimmia ed esperimenti di brain imaging condotti sull'uomo hanno dimostrato che il sistema dei n. s. si attiva anche durante la produzione/osservazione di gesti comunicativi della bocca, della faccia e (esclusivamente nell'uomo) degli arti superiori. Se è vero, come propongono alcuni studiosi, che la comunicazione umana ha avuto origine dai gesti e dalle espressioni del volto, allora i n. s. avrebbero giocato un ruolo importante nell'evoluzione del linguaggio. Inoltre, studi di brain imaging condotti sull'uomo hanno dimostrato un'attivazione dei centri che presiedono all'esecuzione degli atti motori anche durante l'ascolto o la lettura di parole o frasi relative ad azioni. La scoperta del sistema dei n. s. ha mutato il nostro modo di concepire i meccanismi nervosi alla base di fondamentali aspetti della nostra intelligenza sociale, attribuendo un ruolo centrale al sistema motorio. Noi infatti non comprendiamo ciò che vediamo solo attraverso l'interpretazione cognitiva delle informazioni sensoriali che riceviamo dal mondo, ma anche grazie all'attivazione del nostro sistema motorio attraverso i n. s.; analoghi meccanismi di 'rispecchiamento' sono alla base della nostra capacità di capire le emozioni e le sensazioni altrui. Infine, anche la più sofisticata

facoltà cognitiva umana, il linguaggio, sembra legata (con modalità che sono ancora da approfondire) al meccanismo di rispecchiamento motorio. Questi risultati aprono nuove frontiere nello studio dell'intelligenza sociale e delle numerose patologie dell'intersoggettività, fra cui l'autismo.

Neuroni specchio

XXI Secolo (2010)

di Giacomo Rizzolatti, Maddalena Fabbri-Destro

L'uomo è un animale eminentemente sociale la cui vita dipende dalla capacità di capire cosa fanno gli altri, comprendendone le intenzioni e interpretandone i sentimenti. Senza questa capacità gli esseri umani non riuscirebbero a interagire gli uni con gli altri, né tanto meno a creare forme di convivenza sociale. Secondo il punto di vista tradizionale, le azioni degli altri, come pure le loro intenzioni e le loro emozioni, sono comprese mediante un processo inferenziale sostanzialmente simile a quello che usiamo per individuare le cause di fenomeni puramente fisici. In base a questo punto di vista, quando osserviamo una persona agire, il nostro sistema nervoso capta, mediante la vista e le altre modalità sensoriali, una serie di informazioni che un complesso apparato cognitivo elabora e paragona con precedenti esperienze simili. Alla fine di questo processo l'osservatore ha capito cosa fanno gli altri e quali sono le loro intenzioni.

Diversa è invece la teoria secondo la quale il meccanismo che ci permette di capire le azioni degli altri è radicalmente diverso da quelli impiegati per spiegare i processi fisici. Secondo questa impostazione, noi capiamo gli altri perché ci mettiamo 'nei loro panni', ci immaginiamo nella loro situazione e 'simuliamo' quello che faremmo se davvero fossimo in quel frangente. Volendo fare un paragone tra i due sistemi di comprensione sopra richiamati, potremmo dire che il primo ricalca l'atteggiamento tipico del detective (pensiamo, per es., alle sottili analisi di uno Sherlock Holmes), mentre il secondo rimanda alla comprensione in prima persona cara a molti fenomenologi e, in particolare, a Maurice Merleau-Ponty.

È possibile che, in certe condizioni, l'osservatore adotti effettivamente un atteggiamento alla Sherlock Holmes. Così come è possibile che in altre condizioni adotti un atteggiamento simulativo. Tuttavia, la mancanza di sforzo e la facilità con le quali normalmente viene compreso il comportamento degli altri

suggeriscono che possa esistere un diverso meccanismo, indubbiamente più diretto e immediato di quelli citati, che ci permetterebbe di capire gli altri senza la mediazione di processi inferenziali o la simulazione attiva del comportamento altrui.

Un'importante scoperta neurofisiologica avvenuta negli anni Novanta del 20° sec. ha messo in luce l'esistenza di un tale meccanismo di comprensione, grazie al quale le azioni eseguite dagli altri, captate dai sistemi sensoriali, sono automaticamente trasferite al sistema motorio dell'osservatore, permettendogli così di avere una copia motoria del comportamento osservato, quasi fosse lui stesso a eseguirlo. I neuroni che compiono questa trasformazione dell'azione da un formato sensoriale a uno motorio sono stati chiamati neuroni specchio. La loro scoperta ha reso possibile una nuova concezione del sistema motorio, aprendo inoltre la via all'indagine neurofisiologica di campi prima appannaggio esclusivo di discipline umanistiche.

Nelle pagine che seguono, dopo avere esposto i dati essenziali sulle proprietà dei neuroni specchio, esamineremo le ricerche sul 'sistema specchio' condotte negli ultimi anni mostrando la loro importanza, oltre che nell'ambito delle neuroscienze, anche nel campo della cognizione sociale.

Il sistema dei neuroni specchio nella scimmia

I neuroni specchio sono stati originariamente scoperti nella corteccia premotoria ventrale del macaco, una specie, come l'uomo, eminentemente sociale. Essi formano una particolare classe di cellule nervose che si attivano sia quando la scimmia esegue uno specifico atto motorio, per es. afferrare un pezzo di cibo, sia quando essa osserva un altro individuo (scimmia o uomo) eseguire un atto motorio identico o simile (fig. 1, parte superiore: il neurone specchio si attiva sia quando la scimmia afferra un oggetto (A) sia quando vede un altro individuo afferrarlo (B); sono indicate le corrispondenti scariche elettriche). I neuroni specchio non rispondono alla semplice presentazione del cibo o di altri oggetti che pure interessano l'animale, né si attivano all'osservazione di un'azione mimata senza la presenza dell'oggetto. Affinché il neurone specchio si attivi (o, per riprendere un'espressione usata spesso in fisiologia, 'spari') è necessaria l'effettiva interazione della mano con un oggetto bersaglio dell'azione (Rizzolatti, Craighero 2004).

Essendo neuroni motori, i neuroni specchio sparano, come gli altri neuroni presenti nella corteccia premotoria, in associazione a un atto motorio (per es., afferrare), mentre non si attivano per i singoli movimenti delle dita che formano tale atto motorio. Sulla base delle loro proprietà motorie, i neuroni specchio sono stati suddivisi in varie classi: tra queste le più comuni sono quelle dei neuroni dell'afferrare, del manipolare, dello strappare,

del tenere. I neuroni specchio non si attivano soltanto durante movimenti eseguiti con la mano: vi sono, infatti, neuroni specchio che sparano anche quando la scimmia compie o osserva atti motori eseguiti con la bocca.

Dopo la scoperta dei neuroni specchio nella corteccia premotoria, altri studi hanno dimostrato la loro presenza nel lobo parietale inferiore, in particolare nelle aree PFG e AIP. La parte inferiore della fig. 1 mostra la visione laterale del cervello di macaco con la parcellazione anatomico-funzionale della corteccia motoria frontale – aree indicate con la lettera F seguite da numeri arabi – e della corteccia parietale posteriore – aree indicate con la lettera P seguita da una (o più) lettere, secondo la convenzione stabilita dal neuroscienziato austriaco Constantin von Economo (1876-1931). Il riquadro verde di destra mostra le aree poste all'interno del solco intraparietale (IP): AIP, area intraparietale anteriore; LIP, area intraparietale laterale; MIP, area intraparietale mediale; PEip, area PE intraparietale; VIP, area intraparietale ventrale. Altre abbreviazioni: AS, solco arcuato superiore, AI, solco arcuato inferiore; C, solco centrale; L, solco laterale; STS, solco temporale superiore; Lu, solco lunato; Opt, area occipito-parietale; FEF, campi oculari frontali. Il riquadro rosso di sinistra mostra un ingrandimento della porzione posteriore del lobo frontale con indicata la suddivisione dell'area F5 nelle sue subaree costituenti: F5c (convessità), F5a (anteriore), F5p (posteriore). Queste ultime due aree sono poste nel labbro posteriore del solco arcuato.

Queste aree ricevono informazioni visive dalla corteccia del solco temporale superiore (STS) e sono riccamente connesse alla corteccia premotoria. STS, pur rispondendo all'osservazione di atti motori compiuti da altri, non deve essere considerato parte del sistema specchio, in quanto i suoi neuroni non posseggono proprietà motorie. Pertanto, il sistema dei neuroni specchio è costituito, nella scimmia, da due principali settori: la corteccia premotoria e il lobo parietale inferiore (Rizzolatti, Luppino 2001).

È lecito chiedersi perché il sistema motorio contenga neuroni che rispondono alla visione di atti motori eseguiti da altri e quale possa essere la loro funzione. L'ipotesi generalmente accettata è che i neuroni specchio sono necessari per una comprensione immediata dell'azione altrui. Per avere un'idea del meccanismo neurofisiologico alla base di questa comprensione si consideri l'esempio seguente. Un individuo, poniamo che si chiami Mario, afferra una tazzina di caffè. Quando compie quest'azione Mario sa cosa sta facendo. Tale sua conoscenza corrisponde all'attivazione di una serie di neuroni motori che preparano l'atto dell'afferrare la tazzina. Quando Mario osserva Anna che afferra una tazzina, gli stessi neuroni motori che si sono attivati durante l'atto motorio di Mario si attivano di nuovo, dando così a quest'ultimo la rappresentazione motoria (detta anche atto motorio potenziale) dell'atto compiuto da Anna. Mario quindi capisce cosa Anna sta facendo

perché l'atto motorio potenziale generato dall'osservazione di Anna corrisponde a quello che Mario genera volontariamente quando prepara o esegue lo stesso atto. Ecco in breve il meccanismo specchio.

Questa interpretazione del meccanismo specchio è stata avanzata, inizialmente in via teorica, usando come modello la teoria motoria del linguaggio dello psicologo statunitense Alvin M. Liberman (1917-2000). Secondo Liberman, la comprensione di un fonema non si basa sulle sue proprietà acustiche ma sulla capacità che esso ha di evocare in chi lo ascolta il programma motorio necessario per la sua produzione. Il meccanismo specchio appare essere la controparte neurofisiologica di tale idea. L'atto motorio evoca in colui che lo osserva il programma motorio richiesto per eseguirlo.

In questi ultimi anni una serie di esperimenti di neurofisiologia ha avvalorato questa spiegazione. Analizziamo come si è arrivati a tale risultato. Il più delle volte nel campo delle neuroscienze la via più diretta per stabilire la funzione di un sistema neurale è quella di distruggerlo e di esaminare i deficit che ne conseguono. Nel caso dei neuroni specchio, però, questo metodo non poteva essere applicato dato il numero delle aree coinvolte nel sistema. La distruzione del sistema specchio poteva produrre, infatti, un deficit cognitivo generalizzato, rendendo così impossibile la definizione delle sue funzioni specifiche.

Si è quindi adottata una strategia diversa. Si è pensato che, se i neuroni specchio realmente mediano la comprensione degli atti motori osservati, la loro attivazione dovrebbe riflettere il significato dell'azione anche là dove l'informazione visiva è parziale o addirittura del tutto assente. Se l'animale capisce l'atto motorio di chi agisce, i neuroni specchio dovrebbero attivarsi indipendentemente da quale sia la via che porta l'animale a capire ciò che osserva.

Due esperimenti hanno dimostrato che tale attivazione effettivamente avviene. Nel primo si è esaminata la capacità dei neuroni specchio di riconoscere un'azione sulla base del suono che la caratterizza. L'attività dei neuroni è stata registrata in due condizioni sperimentali: mentre la scimmia osservava un atto motorio accompagnato da un suono distintivo (come, per es., rompere un pezzo di carta o sbucciare un'arachide) e mentre ascoltava lo stesso suono senza vedere l'atto motorio. I risultati hanno mostrato che la maggior parte dei neuroni specchio rispondeva sia all'osservazione dell'atto motorio sia alla presentazione del suono. I neuroni che avevano tali proprietà sono stati chiamati neuroni specchio audiovisivi.

Il secondo esperimento è stato condotto allo scopo di stabilire se i neuroni specchio si sarebbero attivati anche quando la scimmia non vedeva lo sperimentatore compiere l'intero atto motorio che selettivamente attivava il

neurone, ma aveva elementi sufficienti per capire cosa stesse facendo. Anche in questo esperimento due erano le condizioni fondamentali: nella prima, la scimmia vedeva lo sperimentatore afferrare un oggetto (condizione di visione); nella seconda, la scimmia vedeva lo sperimentatore muovere il braccio verso l'oggetto per afferrarlo, ma non l'afferramento dell'oggetto che era nascosto da un pannello (condizione di non visione). Dai risultati è emerso che più della metà dei neuroni specchio dell'area premotoria si attivava nella condizione in cui la scimmia non vedeva l'effettivo afferramento dell'oggetto. Questo avveniva però solo nel caso in cui la scimmia sapeva che dietro lo schermo c'era del cibo, in caso contrario l'atto dello sperimentatore non evocava alcuna risposta. Ciò mostra come sia la rappresentazione mentale del significato dell'atto motorio dello sperimentatore, e non le contingenze visive, a determinare la scarica dei neuroni specchio.

Neuroni specchio-simili nella corteccia motoria

L'idea che il sistema motorio generi atti motori potenziali osservando quelli compiuti da altri ha avuto un ulteriore sviluppo negli ultimi anni. Si è osservato, infatti, che esistono neuroni nella corteccia premotoria dorsale e, addirittura, nell'area motoria primaria che si attivano durante l'osservazione di movimenti di raggiungimento diretti verso un bersaglio.

Prove dell'esistenza di questi neuroni derivano da due studi condotti su scimmie condizionate a compiere specifici movimenti. Nel primo, le scimmie imparavano ad azionare una leva il cui movimento determinava lo spostamento di un cursore, sullo schermo di un computer, da una posizione centrale a una periferica. Le scimmie erano premiate quando riuscivano a mettere il cursore in una posizione precisa, definita da un pallino colorato, posizione che variava da prova a prova. È risultato che sia nell'area motoria primaria sia nella premotoria dorsale vi erano neuroni che si attivavano non solo quando la scimmia eseguiva il compito, ma anche quando, immobile, vedeva il cursore (mosso dallo sperimentatore, il quale era però invisibile alla scimmia) spostarsi nella direzione corretta. Questi neuroni appaiono differire dai neuroni specchio 'classici' in quanto non richiedono, a differenza di questi ultimi, l'osservazione di un'interazione tra un effettore biologico e il suo bersaglio. Una spiegazione della loro attivazione potrebbe essere che la scimmia, nel vedere il cursore muoversi, si formi un'immagine mentale del proprio movimento. È più probabile, però, che il cursore che appare e si muove rappresenti per la scimmia un analogo (anche se astratto) di una mano che si muove e che il suo movimento verso il bersaglio evochi nella scimmia la rappresentazione del movimento della mano.

Anche nel secondo studio le scimmie erano allenate, usando ancora una leva, a muovere un cursore verso bersagli che in questo caso, però, comparivano continuamente uno dopo l'altro sullo schermo in diverse

posizioni. Anche in questo studio la scimmia eseguiva il compito o osservava il movimento del cursore, mosso dallo sperimentatore senza che questi fosse visibile. La condizione di osservazione prevedeva tre varianti: osservazione del cursore che raggiungeva il bersaglio, osservazione solo del bersaglio e osservazione solo del cursore che si muoveva sullo schermo. La registrazione dei neuroni ha mostrato che l'osservazione del cursore che raggiungeva il bersaglio determinava una scarica simile a quella registrata durante l'esecuzione; l'osservazione del cursore senza bersaglio o dei bersagli senza cursore non determinava invece alcuna risposta o causava risposte molto deboli.

Questi due studi mostrano come atti motori potenziali vengano generati non solo nel circuito specchio classico, ma anche nella corteccia premotoria dorsale e nella corteccia motoria e come in queste due aree non sia necessaria l'interazione mano-oggetto che può essere sostituita da oggetti che si muovono in maniera finalistica (Tkach, Reimer, Hatsopoulos 2007).

Il meccanismo specchio nell'uomo

La scoperta dei neuroni specchio nella scimmia ha ovviamente subito posto il problema della loro possibile esistenza nell'essere umano. Molteplici esperimenti hanno dimostrato che un meccanismo specchio è presente anche nell'uomo. Prove in tal senso sono state ottenute sia mediante tecniche non invasive di neurofisiologia, sia grazie a esperimenti di brain imag-ing (visualizzazione dell'attività cerebrale in vivo).

È noto da tempo che quando una persona compie dei movimenti, per es. chiude e apre la mano, i ritmi elettrici delle regioni centrali della corteccia cerebrale, registrati mediante elettroencefalografia (EEG), aumentano di frequenza o, per usare il gergo tecnico, si desincronizzano. La desincronizzazione dei ritmi cerebrali indica che la corteccia cerebrale aumenta la sua attività. Studi sia di EEG sia di magnetoencefalografia (MEG, una tecnica simile all'EEG ma basata sulla registrazione di campi magnetici generati dall'attività elettrica cerebrale) hanno mostrato che la semplice osservazione di un'azione determinava una desincronizzazione della corteccia analogo a quella che normalmente si registra durante l'esecuzione dell'azione, quasi che l'osservatore la stesse eseguendo. Nell'uomo, proprio come nella scimmia, l'azione osservata 'raggiunge' le aree motorie e le attiva.

Altre prove dell'esistenza del sistema specchio nell'uomo provengono da studi di stimolazione magnetica della corteccia motoria attraverso lo scalpo (TMS, Transcranic Magnetic Stimulation) e simultanea registrazione delle risposte dei muscoli controllati dalla corteccia stimolata. La logica alla base degli esperimenti è la

seguinte: se l'osservazione di un determinato atto motorio (per es., afferrare) causa, mediante il meccanismo specchio, un aumento dell'eccitabilità della zona di corteccia motoria che controlla i muscoli coinvolti in quell'atto motorio, l'eccitabilità di quella zona dovrebbe aumentare durante l'osservazione dell'atto motorio rispetto a una condizione di riposo. I risultati degli esperimenti di TMS hanno confermato quest'ipotesi: l'osservazione di un atto motorio eseguito da un altro individuo determina un aumento selettivo dell'attività dei muscoli coinvolti nell'esecuzione dell'atto motorio osservato.

Gli esperimenti di neurofisiologia hanno mostrato l'esistenza del meccanismo specchio nell'uomo; tuttavia, per la loro natura, non sono stati in grado di dare informazioni sulla sua localizzazione. Ciò è stato ottenuto usando tecniche di brain imaging: la tomografia a emissione di positroni o PET (Positron Emission Tomography) e la risonanza magnetica funzionale o fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging). Mediante tali tecniche si è mostrato che il sistema specchio che codifica gli atti motori è costituito nell'uomo, come nella scimmia, da due grandi regioni: il lobulo parietale inferiore e l'area premotoria ventrale più la parte posteriore del giro frontale inferiore (Rizzolatti, Sinigaglia 2006). Nella fig. 2 è rappresentata, in basso, la visione laterale del cervello di uomo con indicate le aree citoarchitettoniche secondo la suddivisione di Brodmann. In giallo sono evidenziate le aree che costituiscono il sistema specchio parieto-frontale. Nel riquadro rosso è riportata la visione ingrandita del lobo frontale. In giallo, il nodo frontale del sistema specchio frontale con indicate le possibili omologie tra uomo e scimmia (F5a, F5p e F5c) della porzione posteriore del lobo frontale.

Organizzazione

Il problema dell'organizzazione del sistema specchio parieto-frontale è stato affrontato in genere in esperimenti di fMRI in cui si facevano vedere a soggetti normali filmati che mostravano movimenti transitivi, caratterizzati da interazioni specifiche tra effettori biologici (mano, bocca, piede) e oggetti. Questi studi hanno mostrato che la corteccia premotoria è organizzata in maniera 'somatotopica': gli atti motori eseguiti con i diversi effettori risultano infatti localizzati in settori spazialmente separati, anche se parzialmente sovrapposti. L'osservazione degli atti motori eseguiti con il piede determina un'attivazione della parte dorsale dell'area premotoria ventrale, quella di atti motori compiuti con la bocca un'attivazione della parte ventrale della stessa area, mentre quella di atti motori compiuti con la mano un'attivazione in una zona intermedia. Sia l'osservazione di atti motori fatti con la mano sia quella di atti compiuti con la bocca interessano anche la parte posteriore della circonvoluzione frontale inferiore, dove nell'emisfero di sinistra è localizzata l'area di Broca.

Recentemente si è studiata la rappresentazione dei movimenti di raggiungimento di oggetti con la mano, isolandola dai movimenti di afferramento. I risultati hanno mostrato che l'osservazione dei movimenti di raggiungimento determina l'attivazione di una parte della corteccia premotoria distinta da quella che codifica l'afferramento; più precisamente, la massima attivazione è stata riscontrata attorno al solco frontale superiore nell'area premotoria dorsale.

La rappresentazione dei comportamenti motori nel lobo parietale è più complessa. Per quanto riguarda gli atti motori transitivi, si è visto che essi sono rappresentati nella regione attorno al solco intraparietale, con una tendenza dei movimenti della bocca a essere rappresentati verso la parte anteriore di questa regione, quelli del piede caudalmente e quelli della mano in una posizione centrale.

Un interessante dato è emerso da un recente esperimento di fMRI in cui i soggetti osservavano quattro atti motori (afferrare, tirare, lasciare cadere e spingere) eseguiti con la mano, il piede o la bocca. I risultati hanno mostrato che la logica dell'organizzazione del lobo parietale non è solo somatotopica, ma dipende anche dal significato dell'atto motorio. Gli atti motori positivi (quelli diretti verso colui che agisce, come afferrare o tirare) determinano un'attivazione del settore ventrale della regione intraparietale, mentre quelli negativi (diretti via da colui che agisce, come lasciare cadere o spingere) di un settore dorsale della stessa regione. L'interpretazione di questi dati è che la regione motoria della mano sia il fulcro di un sistema che risponde agli atti motori anche quando questi sono eseguiti con altri effettori. La zona ventrale generalizza gli atti motori positivi interpretandoli secondo il loro significato motorio indicato dalla codifica dei movimenti della mano e lo stesso fa la zona dorsale per gli atti motori negativi.

Altri studi hanno esaminato l'organizzazione del sistema specchio del lobo parietale durante l'osservazione di atti motori diversi da quelli che portano all'interazione con oggetti. Lo studio citato prima sui movimenti di raggiungimento ha così mostrato che l'osservazione di tali movimenti attiva una regione dorsale rispetto a quella dei movimenti di interazione distale posta nel lobulo parietale superiore. Anche i movimenti intransitivi hanno una rappresentazione parietale specifica; essi, indipendentemente se simbolici o privi di significato, determinano un'attivazione della parte posteriore del giro sopramarginale che si estende nel giro angolare. Infine, l'osservazione di atti motori eseguiti con strumenti attiva la parte più rostrale del giro sopramarginale, ventralmente all'area di rappresentazione della regione di interazione manuale con gli oggetti.

Sistema specchio ed esperienza motoria

Un interessante problema è il rapporto tra conoscenze motorie degli individui e sistema specchio. Gli atti motori maggiormente rappresentati nel sistema specchio sono quelli compiuti più di frequente dall'osservatore? Questo sistema è modificabile nell'adulto con tipi di esercizi motori specifici? Alcune indagini di fMRI hanno di recente affrontato questi problemi.

In un primo studio è stata esaminata l'intensità di attivazione del sistema specchio in ballerini di danza classica, in esperti di capoeira e in persone che non avevano mai danzato. Lo scopo dell'esperimento era quello di stabilire se le aree cerebrali di pertinenza del sistema specchio si attivavano in maniera diversa secondo l'esperienza nella danza dei vari individui. I risultati hanno mostrato che l'osservazione di passi di capoeira attiva il sistema dei neuroni specchio maggiormente negli esperti di capoeira rispetto ai ballerini classici e ai principianti. Viceversa, l'attivazione nei ballerini classici era maggiore quando osservavano un balletto classico rispetto alla capoeira.

In una ricerca successiva, ci si è chiesti se la differenza nell'attivazione nei tre gruppi dipendesse dal fatto che gli esperti di capoeira avessero una maggiore esperienza visiva di questa disciplina o se, invece, l'attivazione dipendesse dalla loro conoscenza motoria dei vari passi richiesti. Nella capoeira alcuni passi sono eseguiti sia da uomini sia da donne, mentre altri sono eseguiti solo da uomini o solo da donne. Partendo da questa osservazione sono stati presentati, durante un esperimento di fMRI, filmati di passi di danza eseguiti da ballerini e da ballerine. I risultati hanno mostrato che il sistema specchio si attivava di più quando i ballerini osservavano passi di danza eseguiti da individui dello stesso sesso. È quindi la conoscenza motoria e non l'esperienza visiva che rappresenta il fattore principale responsabile dell'attivazione del sistema specchio (Rizzolatti, Sinigaglia 2006).

Allo scopo di approfondire i risultati di questi studi, in un ulteriore esperimento è stata esaminata, settimana per settimana, la relazione tra l'apprendimento dei passi di danza e l'intensità dell'attivazione del sistema specchio. I risultati hanno dimostrato che a mano a mano che i ballerini imparavano i passi di danza vi era un incremento dell'attivazione del loro sistema specchio e che questo era in relazione con le capacità da parte dei ballerini di eseguirli.

Il sistema specchio codifica dunque gli atti motori compiuti da altri su quelli propri del patrimonio motorio dell'osservatore, e più questo è sviluppato più il sistema diventa efficace. Ma che cosa accade quando a osservare azioni manuali sono persone che non hanno né mani né braccia? Ci dobbiamo aspettare un'assenza

di attivazione del sistema specchio, in quanto l'osservatore manca del programma motorio per le azioni manuali, oppure dobbiamo aspettarci un'attivazione di un programma motorio analogo della bocca o del piede che permette di capire lo scopo dell'atto motorio osservato? Per rispondere a interrogativi simili è stato condotto un esperimento di fMRI in cui a due individui aplosici nati senza braccia e mani sono stati presentati filmati di atti motori eseguiti con la mano. I risultati dello studio hanno messo in luce un'attivazione del circuito specchio parieto-frontale dimostrando in tal modo che atti motori non appartenenti al repertorio motorio di un determinato individuo in termini di effettori vengono riconosciuti dall'osservatore grazie al fatto che lo scopo dell'atto motorio osservato recluta programmi motori analoghi eseguiti da altri effettori (per es., bocca, piede).

Sistema specchio e imitazione

Quando osserviamo gli altri, oltre a capire cosa fanno, siamo spesso in grado di ripetere immediatamente la loro azione o di apprendere nuovi comportamenti motori. Il meccanismo specchio con la sua capacità di trasformare immediatamente un atto motorio descritto in formato visivo in un atto motorio potenziale rappresenta un meccanismo neurale ideale per l'imitazione. Imitazione è un termine che ha diversi significati, due dei quali sono particolarmente rilevanti. Il primo, usato soprattutto in psicologia, definisce imitazione la capacità di replicare immediatamente un atto motorio noto compiuto da un altro; il secondo, proprio degli etologi, definisce imitazione la capacità di compiere azioni nuove dopo averle viste fare da un altro individuo, eseguendole nella stessa maniera in cui questi le compie.

Vi sono convincenti prove sperimentali, basate su studi di risonanza funzionale, che il sistema specchio è coinvolto sia nella ripetizione immediata di azioni fatte da altri sia nell'apprendimento di nuovi pattern motori. Vi è, però, un'importante differenza tra i due casi. La ripetizione immediata di un'azione osservata attiva il sistema specchio, senza il coinvolgimento di aree corticali di ordine superiore. Gli atti motori osservati reclutano direttamente i corrispondenti atti motori potenziali nell'osservatore, che è così in grado di imitarli.

L'apprendimento per imitazione avviene, invece, mediante un meccanismo più complesso. Durante l'apprendimento per imitazione oltre al sistema specchio si attiva, infatti, anche il lobo prefrontale e, in particolare, l'area 46, nota per essere coinvolta nella memoria di lavoro. Il meccanismo di base dell'apprendimento per imitazione sarebbe il seguente. Il sistema specchio trasforma gli atti motori elementari osservati da un formato visivo in un formato motorio. Gli atti motori codificati in questo formato raggiungono

il lobo prefrontale che li combina nel pattern motorio desiderato. Questo nuovo pattern motorio viene ritrasmeso al sistema specchio per la sua esecuzione (Fabbri-Destro, Rizzolatti 2008).

Capire le intenzioni degli altri

Esperimenti nella scimmia

Abbiamo parlato di comprensione di atti motori tralasciando volutamente il termine azione. Volendo definire questo termine, potremmo dire che per azione si intende la manifestazione esterna di un'intenzione ad agire internamente generata. Tradizionalmente, il problema dell'intenzionalità, di come questa si generi e come si traduca in movimenti, è stato trattato in ambito filosofico. Di recente, però, alcuni suoi aspetti sono diventati materia di indagine della neurofisiologia, per quanto riguarda sia le intenzioni di colui che agisce sia la comprensione dell'intenzione che sottende le azioni altrui.

Un problema studiato in questi anni è stato quello di capire se l'intenzione alla base di un'azione (come, per es., afferrare del cibo per mangiarlo) è presente a livello neurale fin dal primo atto motorio (afferrare) di questa azione. A tal fine sono stati condotti esperimenti su scimmie condizionate a prendere del cibo con due scopi diversi: in un caso la scimmia afferrava il cibo per metterlo in un contenitore, nell'altro per mangiarlo. Nella fig. 3A è rappresentato schematicamente il paradigma sperimentale: la scimmia afferra l'oggetto (1) e, a seconda della condizione sperimentale, o lo mette in un contenitore posto sul pianetto (2a) o lo porta alla bocca (2b). In alcune prove mette l'oggetto nel contenitore posto sulla sua spalla. Sono state scelte queste due azioni in quanto implicavano atti motori iniziali (raggiungere e afferrare) identici, e differivano soltanto nello scopo finale. L'ipotesi da verificare era se le diverse intenzioni che sottendono le due azioni si manifestassero nel sistema motorio già all'inizio dell'azione, quando la scimmia compiva gli atti motori iniziali comuni. L'ipotesi alternativa era che l'attività neurale responsabile di questi atti non fosse influenzata dallo scopo finale dell'azione. Sono stati quindi registrati nel lobulo parietale inferiore (LPI) singoli neuroni che codificano l'atto motorio dell'afferrare, e la loro attività è stata studiata nelle due condizioni sopra descritte. Dall'analisi dei risultati è emerso che circa due terzi dei neuroni studiati si attivavano con intensità diversa secondo lo scopo finale dell'azione. Alcuni di questi codificavano l'afferrare per portare alla bocca, altri l'afferrare per mettere nel contenitore. Nella fig. 3A sono rappresentate le risposte di tre neuroni motori registrati durante le condizioni di 'afferrare per portare alla bocca' (grasp to eat) e 'dell'afferrare per mettere nel contenitore' (grasp to place). Come si può vedere, l'unità 67 si attiva durante l'azione 'afferrare per portare alla bocca' ma non durante l'azione 'afferrare per mettere nel contenitore'; l'unità 161 presenta un

comportamento inverso; l'unità 158 si attiva durante entrambe le azioni. La scarica del neurone è allineata con l'istante in cui la scimmia tocca l'oggetto da afferrare.

Appare così chiaro che nell'LPI esistono neuroni (neuroni azione-specifici) che codificano gli atti motori in base alle intenzioni dell'agente. Come mai vi è questa organizzazione? Il vantaggio è evidente. I neuroni azione-specifici di un certo tipo sono connessi con altri neuroni che, quando attivati, portano all'esecuzione di una determinata azione. Avviene quindi che, quando i neuroni azione-specifici scaricano, reclutano automaticamente l'intera catena neuronale necessaria per l'esecuzione dell'azione: di conseguenza non devono ogni volta essere assemblati ex novo i neuroni necessari per compiere un'azione. Tale organizzazione permette una fluida esecuzione dell'azione desiderata (Fogassi, Ferrari, Gesierich et al. 2005).

Molti dei neuroni dell'afferrare dell'LPI si attivano anche quando la scimmia osserva lo sperimentatore eseguire un atto motorio: sono cioè neuroni specchio. Ci si è chiesti, quindi, se i neuroni azione-specifici dal punto di vista motorio fossero anche azione-specifici per l'osservazione. A tale scopo sono stati registrati neuroni dell'LPI e sono state studiate le loro proprietà nelle stesse condizioni dello studio precedente. Questa volta, però, la scimmia non era attiva, ma osservava lo sperimentatore prendere un oggetto o del cibo per metterlo in un contenitore oppure per portarlo alla bocca.

I risultati mostrano che la maggior parte dei neuroni studiati si attiva in modo diverso a seconda che l'atto motorio dell'afferrare, compiuto dallo sperimentatore, appartenga a una o all'altra azione. Nella fig. 3B sono mostrate le risposte visive dei neuroni specchio parietali registrati mentre la scimmia osserva lo sperimentatore afferrare il cibo per mangiarlo o per riporlo nel contenitore. Anche nella condizione 'osservazione', la risposta del neurone è selettiva per le due azioni: l'unità 87 risponde alla visione dello sperimentatore che afferra il cibo per portarlo alla bocca, l'unità 39 presenta un comportamento opposto, mentre l'unità 80 risponde ugualmente all'osservazione delle due azioni. La scarica del neurone è allineata con l'istante in cui lo sperimentatore tocca l'oggetto da afferrare. Come spiegare questa diversa attivazione? La situazione sperimentale conteneva sempre elementi che permettevano alla scimmia di capire cosa lo sperimentatore avrebbe fatto in seguito. Un elemento che dava informazioni sull'intenzione dello sperimentatore era, per es., l'oggetto su cui egli agiva. Il cibo significava 'mangiare', mentre un oggetto non edibile 'mettere nel contenitore'. Un altro indicatore era rappresentato dalla ripetitività dell'azione: se lo sperimentatore prendeva del cibo e lo metteva più volte nel contenitore, la scimmia poteva supporre che questa fosse l'intenzione dello sperimentatore anche nelle prove successive (Fogassi, Ferrari, Gesierich et al. 2005).

L'aspetto più interessante dell'esperimento non era, però, la ragione per cui i vari neuroni azione-specifici si attivavano selettivamente durante l'osservazione delle azioni altrui, ma il significato funzionale di questa attivazione. Abbiamo visto che la scarica del neurone motorio azione-specifico dell'afferrare facilita l'attività dei neuroni della catena nel quale è inserito, innescandola. Lo stesso avviene quando il medesimo neurone si attiva durante l'osservazione. Le conseguenze però sono diverse. L'osservatore, infatti, grazie all'attivazione della catena ha, nel caso dell'osservazione, una rappresentazione motoria dell'intera azione che l'agente intende fare. In questa maniera può comprendere la sua intenzione e predire il suo comportamento futuro.

Esperimenti nell'uomo

Una prima prova a favore dell'esistenza di un meccanismo di comprensione delle intenzioni altrui basato sul sistema specchio è stata fornita da uno studio di fMRI. In questo esperimento tre serie di filmati sono state presentate a soggetti volontari. Nella prima serie, definita contesto, venivano mostrati alcuni oggetti (una teiera, una tazza, un piatto con alcuni biscotti) sistemati come se una persona dovesse iniziare la colazione o come se l'avesse appena terminata. Nella seconda serie, definita azione, i soggetti vedevano la mano di una persona che afferrava una tazza senza alcun contesto; nella terza e ultima serie, definita intenzione, si vedeva la stessa mano che afferrava la tazza nei contesti prima e dopo la colazione. I contesti suggerivano ai soggetti quale potesse essere l'intenzione dell'agente che aveva afferrato la tazza: bere o sparecchiare la tavola.

Particolarmente interessante è stato il paragone tra le condizioni intenzione e azione: quando i soggetti comprendevano l'intenzione dell'azione osservata vi era un marcato aumento dell'attività sistema specchio e, in particolare, della parte posteriore del giro frontale inferiore di destra. È altresì interessante notare che l'osservazione dei video in cui la tazza era afferrata per bere determinava un'attivazione maggiore rispetto alla condizione in cui la tazza era afferrata per sparecchiare la tavola. Questi risultati sono in accordo con quelli ottenuti nella scimmia in cui vi sono molti più neuroni dedicati all'afferrare per mangiare rispetto a quelli che codificano l'afferrare per mettere nel contenitore (Rizzolatti, Sinigaglia 2006).

Un secondo esperimento di fMRI, basato sulla tecnica di inibizione da stimoli ripetuti, ha dimostrato che il sistema specchio dell'emisfero di destra si attiva quando il soggetto prevede il risultato di un'azione come quella di aprire una scatola indipendentemente dal modo in cui tale apertura viene eseguita. Questi dati sono stati interpretati come un'ulteriore prova a favore del fatto che il sistema specchio dell'emisfero destro rivesta un ruolo centrale nel processo di comprensione delle intenzioni alla base delle azioni degli altri (Hamilton, Grafton 2008).

Per approfondire il ruolo del sistema specchio nella comprensione delle intenzioni, è stato recentemente condotto un esperimento di fMRI in cui si è indagata l'attivazione corticale in azioni intenzionali rispetto ad altre in cui lo scopo desiderato sfugge per cause esterne a colui che compie l'azione. Ai soggetti sono stati presentati filmati di azioni fatte con differenti effettori, ognuno in doppia versione: uno nel quale l'attore raggiungeva lo scopo dell'azione (azione intenzionale; per es., afferrava un pezzo del gioco degli scacchi), l'altro in cui l'attore eseguiva un'azione simile ma senza raggiungere lo scopo (azione non intenzionale; per es., muoveva la mano per prendere un pezzo degli scacchi, ma inavvertitamente buttava giù alcuni pezzi). I risultati hanno mostrato che entrambi i tipi di azione attivavano il sistema specchio con la differenza che le azioni non intenzionali attivavano anche le aree 'attenzioneali', quelle cioè che si attivano quando l'attenzione dell'individuo è attratta da uno stimolo. Questo significa che quando un individuo osserva un'azione non intenzionale, il cervello descrive l'evento senza un aumento di attivazione del sistema specchio, come invece accade nel caso in cui il soggetto deve capire le intenzioni degli altri. La stranezza dell'evento viene segnalata mediante una maggiore attivazione delle aree attenzioneali.

In conclusione, i dati dell'uomo, come quelli della scimmia, mostrano che l'intenzione che sottende l'azione eseguita da altri è compresa grazie al sistema specchio. Questo, ovviamente, non implica che il meccanismo specchio sia l'unico che ci permette di capire le intenzioni degli altri: esistono anche altri meccanismi che ci fanno raggiungere il medesimo obiettivo mediante, per es., ragionamenti inferenziali. Tuttavia, quello che il sistema specchio offre è una conoscenza diversa, esperienziale, basata sull'attività di quei circuiti che adoperiamo quando siamo noi stessi a eseguire l'azione osservata in prima persona.

Sistema specchio e linguaggio

La scoperta del sistema specchio ha suscitato interesse e discussioni anche tra gli studiosi del linguaggio, in particolare in relazione al problema dell'evoluzione del linguaggio. Fin dai primi studi di brain imaging sul sistema specchio si è visto che l'osservazione di atti motori manuali attiva la parte posteriore del giro frontale inferiore dell'emisfero di sinistra, cioè la regione dove si trova l'area di Broca, universalmente nota come un'area del linguaggio che riveste un ruolo importante nella produzione dello stesso. La sua attivazione, durante l'osservazione di azioni manuali, ha suscitato molta sorpresa. Tale attivazione, tuttavia, non è poi così incredibile se si considera, come molti sostengono, che il linguaggio umano non si è evoluto dalle vocalizzazioni, dalle grida degli animali, ma dalla comunicazione gestuale, simile a quella che si può osservare nei primati superiori non umani oggi esistenti (Corballis 2002). Le vocalizzazioni degli animali,

come anche certi tipi di vocalizzazione umana, avrebbero come loro ruolo funzionale quello di informare sullo stato emotivo di chi le emette, ma scarse capacità, proprio per la loro intrinseca connotazione emozionale, di rappresentare il mondo esterno. Questo tipo di capacità di comunicare (la cosiddetta capacità referenziale), fondamentale nella comunicazione umana, deriverebbe invece dalla comunicazione gestuale. Soltanto più tardi nell'evoluzione suoni specifici si sarebbero associati ai gesti, portando infine allo sviluppo del linguaggio parlato.

Un altro motivo per cui la scoperta del sistema specchio ha suscitato enorme interesse è dovuto al fatto che essa permette di proporre un meccanismo in grado di chiarire un aspetto fondamentale della comunicazione, quello che riguarda la creazione di un legame diretto tra colui che manda un messaggio (mittente) e colui che lo riceve (destinatario). Un problema che ogni teoria della comunicazione deve risolvere è infatti quello della cosiddetta parità tra il mittente e il destinatario, spiegando come un segnale arbitrario emesso da un certo individuo possa assumere un preciso significato per il suo destinatario. Ciò vale sia per il linguaggio basato sui suoni sia per quello basato sui gesti. Ora, il meccanismo specchio consente di risolvere tale problema dal momento che esso 'trasforma' un'azione compiuta da un individuo in una rappresentazione di quella stessa azione nella corteccia motoria di chi la osserva. In altri termini, crea un legame diretto, non arbitrario, tra i due individui. Le azioni compiute da un individuo diventano messaggi che l'osservatore comprende senza che vi sia alcun accordo preliminare tra di loro, cosa che tra l'altro implicherebbe un ricorso all'infinito.

Un ulteriore aspetto interessante del sistema specchio riguarda il modo in cui riusciamo a decifrare i suoni linguistici. Come già ricordato, Liberman ha ipotizzato che la nostra capacità di percepire i fonemi non si basa sul loro aspetto acustico, ma sul fatto che essi sono in grado di evocare nell'ascoltatore un pattern motorio simile a quello che serve per emetterli. Ciò spiega perché riusciamo a percepire e considerare come identici, in significato, fonemi acusticamente molto diversi tra loro. Basti pensare a parole pronunciate con voce bassa o acuta, rauca o sintetizzata artificialmente. La teoria di Liberman, nota come teoria motoria del linguaggio, prevede che l'uomo posseda un meccanismo che trasforma i fonemi uditi nel loro equivalente motorio.

Questa ipotesi è stata saggiata sperimentalmente in uno studio di TMS. Gli autori hanno registrato i potenziali motori evocati (MEP, Motor Evoked Potential) dei muscoli della lingua in soggetti cui era stato chiesto di ascoltare stimoli acustici. Questi erano costituiti da parole o da pseudoparole contenenti una doppia f (baffo) o una doppia r (birra) e suoni bitonali. La f è una consonante labiodentale e non richiede, per essere pronunciata, un particolare coinvolgimento della lingua, mentre la r è una consonante linguopalatale e la sua pronuncia comporta un marcato coinvolgimento di tale organo. I risultati dell'esperimento hanno mostrato che l'ascolto

delle parole e delle pseudoparole contenenti la doppia r determinava un significativo aumento dei MEP registrati dai muscoli della lingua rispetto al caso dei suoni bitonali e delle parole e delle pseudoparole contenenti la doppia f (Rizzolatti, Sinigaglia 2006).

Questi dati mostrano che nell'uomo esiste un sistema specchio 'dedicato' per i suoni del linguaggio (echo mirror system): quando un individuo ascolta stimoli verbali vi è un'automata attivazione dei suoi centri motori responsabile dell'emissione dei fonemi presenti nelle parole ascoltate. Possedendo la copia motoria del fonema ascoltato l'ascoltatore lo distingue e percepisce.

Sistema specchio ed emozioni

Fino a questo punto abbiamo descritto meccanismi attraverso i quali comprendiamo le azioni altrui prive di un chiaro contenuto emozionale, le cosiddette azioni fredde. Nella vita di tutti i giorni, però, siamo chiamati a capire anche cosa provano gli altri e a inferire, dal loro comportamento, le loro emozioni. Dunque, le questioni su cui i ricercatori si sono concentrati sono state quelle di definire le strutture cerebrali che mediano la comprensione delle emozioni degli altri e di stabilire se il meccanismo specchio giochi un ruolo anche nel riconoscimento delle emozioni.

È ragionevole assumere che, come per la comprensione delle azioni, anche per il riconoscimento delle emozioni esistono due meccanismi distinti: il primo basato su un'elaborazione cognitiva degli aspetti sensoriali del comportamento emotivo; il secondo dipendente da un'attivazione diretta delle strutture coinvolte nella produzione delle emozioni. Si tratta di due meccanismi di riconoscimento delle emozioni radicalmente differenti. Mediante il primo, l'osservatore riconosce l'emozione espressa dall'altro ma non la prova, non la vive, semplicemente la inferisce. Grazie al secondo meccanismo, invece, il riconoscimento dell'emozione si basa su una reale esperienza emozionale analoga a quella di chi la vive e la esprime.

In questi ultimi anni, una serie di esperimenti è stata condotta allo scopo di verificare se le stesse strutture corticali che si attivano quando un individuo prova un'emozione si attivino anche quando questi osserva un'emozione simile in un'altra persona. Due sono state le emozioni particolarmente studiate: il disgusto e il dolore.

Il disgusto, pur non essendo riconosciuto da tutti come un'emozione di base, appare presente negli esseri umani indipendentemente da sesso, razza e classe sociale, tanto che già Charles R. Darwin lo considerava una

delle emozioni fondamentali della specie umana. Studi di fMRI hanno mostrato che i centri nervosi che si attivano maggiormente quando una persona prova disgusto sono l'insula, l'amigdala e la corteccia del cingolo anteriore.

Ma cosa avviene quando noi osserviamo una persona che esprime disgusto? Quali aree si attivano? Esiste un meccanismo specchio per il disgusto? Per rispondere a questi quesiti, è stato condotto un esperimento di fMRI che si basava su due condizioni sperimentali. Nella prima, ai soggetti era chiesto di annusare odori piacevoli, neutri o disgustosi, mentre nella seconda essi dovevano osservare l'espressione facciale di individui che, avendo annusato le stesse sostanze, esprimevano le emozioni relative. In accordo con i dati precedenti si è trovato che la stimolazione olfattiva con stimoli disgustosi (odore di uova marce) provocava attivazioni principalmente nell'insula, nell'amigdala e nella corteccia del cingolo anteriore. La stimolazione visiva con facce che esprimevano disgusto attivava varie aree corticali visive, l'insula anteriore di sinistra (ma non l'amigdala) e il cingolo anteriore. Il risultato più importante dell'esperimento è stato che le attivazioni dovute alla stimolazione con stimoli olfattivi disgustosi e quelle dovute a espressioni facciali che esprimevano disgusto evidenziavano una localizzazione identica nell'insula anteriore e nel cingolo. Appare, quindi, che tanto l'insula quanto il giro del cingolo contengono neuroni che si attivano sia durante l'esposizione a un odore disgustoso sia durante l'osservazione del disgusto in altri. Queste strutture appaiono dotate di un meccanismo specchio che trasforma stimoli visivi con contenuto emotivo in pattern visceromotori tipici dell'emozione osservata (Gallese, Keysers, Rizzolatti 2004).

Oltre che con il disgusto, attivazioni nell'insula anteriore e nella corteccia anteriore del cingolo sono state ottenute studiando soggetti che provavano dolore o immaginavano che un'altra persona provasse un dolore simile. Come lo studio sul disgusto anche questo studio di fMRI si componeva di due condizioni sperimentali. Nella prima si applicava alla mano dei soggetti (tutti di sesso femminile) uno stimolo elettrico leggermente doloroso mediante due piccoli elettrodi; nella seconda, i soggetti vedevano gli stessi elettrodi applicati alla mano del loro fidanzato. Ai soggetti era detto che il fidanzato avrebbe ricevuto lo stesso stimolo doloroso che loro avevano sentito. I risultati hanno mostrato che gli stessi siti dell'insula anteriore e della corteccia del cingolo che si attivavano durante la sensazione dolorosa, si attivavano anche quando i soggetti pensavano che i loro fidanzati provassero dolore (Sing-er, Seymour, O'Doherty et al. 2004). Come il disgusto anche il riconoscimento del dolore in altri è legato all'attivazione delle strutture che entrano in funzione quando è l'individuo che osserva a provare dolore in prima persona. Il riconoscimento del dolore altrui risulta quindi mediato da un meccanismo specchio.

L'ipotesi che il riconoscimento delle emozioni degli altri avvenga attraverso l'attivazione delle stesse strutture che si attivano quando noi proviamo quelle emozioni era già stata avanzata da Antonio R. Damasio e dai suoi collaboratori prima degli esperimenti appena descritti (Damasio 2003). Sulla base di studi neuro-psicologici essi avevano ipotizzato che il riconoscimento delle emozioni altrui dipendesse dall'attivazione di un circuito che codifica le emozioni degli altri come se fossero proprie (as if loop). In particolare, Damasio e i suoi collaboratori attribuivano un ruolo fondamentale nell'as if loop, oltre che all'insula, alle aree somatosensoriali, suggerendo che il riconoscimento delle emozioni altrui necessitasse dell'attivazione delle aree corticali in cui il corpo è rappresentato. Sebbene un contributo sensoriale alla comprensione dell'emozione sia certamente possibile, l'attivazione dell'insula rostrale e, di contro, l'assenza di attivazione nella corteccia somatosensoriale primaria quando si prova dolore oppure disgusto indica che il ruolo fondamentale nel riconoscimento delle emozioni è svolto dai sistemi visceromotori e non dalle aree sensoriali.

Il meccanismo specchio e l'autismo

L'autismo è una sindrome dello sviluppo del bambino caratterizzata da un comportamento sociale atipico, da disturbi della comunicazione, sia verbale sia non verbale, e da comportamenti ripetitivi. Alcuni anni fa è stata avanzata l'ipotesi che alla base dell'incapacità dei bambini con autismo di entrare in relazione con gli altri (di capire gli altri) vi fosse un malfunzionamento del sistema specchio. Dati sperimentali sia neurofisiologici (Ramachandran, Oberman 2006) sia di brain imaging (Iacoboni, Dapretto 2006) hanno dimostrato che effettivamente nei soggetti affetti da autismo vi è un deficit di attivazione del sistema specchio rispetto a soggetti con sviluppo tipico durante l'osservazione di azioni compiute da altri.

Recenti studi hanno esaminato come l'intenzione di chi agisce sia compresa da bambini con sviluppo tipico e da bambini con autismo. Abbiamo già ricordato come il sistema dei neuroni specchio sia organizzato in catene motorie che permettono all'individuo di trasformare le sue intenzioni in azioni. Si è studiata quindi l'attività di queste catene nei bambini con sviluppo tipico e nei bambini con autismo durante l'esecuzione di azioni e durante l'osservazione delle stesse azioni compiute da altri (fig. 4). A tale scopo è stato usato un paradigma sperimentale simile a quello impiegato nella scimmia: ai bambini dei due gruppi è stato chiesto di afferrare un pezzettino di cibo e portarlo alla bocca (fig. 4A, dall'alto in basso) o prendere un pezzettino di carta e metterlo in un contenitore (fig. 4B). Nella condizione 'osservazione', ai bambini era richiesto di osservare lo sperimentatore che eseguiva le medesime due azioni. Mentre poi il bambino effettuava queste prove veniva registrata l'attività elettromiografica del muscolo miloioideo, coinvolto nell'apertura della bocca.

Si è visto che nei bambini a sviluppo tipico il muscolo miloioideo presentava un incremento di attività nella condizione ‘portare alla bocca’ già durante la fase di raggiungimento, ovvero ben prima che i soggetti toccassero il cibo. Di contro, il muscolo rimaneva del tutto silente nella condizione sperimentale che prevedeva il mettere un pezzettino di carta nel contenitore (fig. 4C). Come interpretare questa anticipata attivazione del miloioideo? La risposta è semplice. Il muscolo miloioideo si attiva con anticipo perché l’intenzione alla base del portare alla bocca è già presente nelle fasi iniziali dell’azione (raggiungimento del cibo), e quest’intenzione recluta fin dall’inizio dell’azione gli atti motori necessari per soddisfarla. Il passo successivo è stato quello di vedere se la stessa catena motoria che si attiva in esecuzione si attiva anche durante l’osservazione delle due azioni sopra descritte. Gli esperimenti sui bambini a sviluppo tipico hanno dimostrato che effettivamente accade questo. Durante l’osservazione dell’azione ‘mangiare’ vi è un’evidente attivazione del miloioideo, mentre questa è assente nella condizione mettere nel contenitore (fig. 4D). In altre parole, quando il bambino osserva lo sperimentatore portare il cibo alla bocca, replica l’azione osservata e la rivive, per così dire, al suo interno (Cattaneo, Fabbri-Destro, Boria et al. 2007).

Lo stesso esperimento è stato eseguito anche su un gruppo di bambini con autismo ‘ad alto funzionamento’ (con quoziente di intelligenza nella norma). I risultati hanno mostrato che, a differenza dei bambini con sviluppo tipico, i bambini con autismo non mostravano alcuna attività elettromiografica nel muscolo miloioideo durante la fase di raggiungimento e afferramento del cibo. Il muscolo si attivava solo quando il bambino iniziava a sollevare il cibo per portarlo alla bocca (fig. 4E). Evidente era anche il deficit durante l’osservazione del portare il cibo alla bocca. In questa condizione il muscolo miloioideo nei bambini con autismo rimaneva sempre silente (fig. 4F).

Come interpretare questi dati? È chiaro che l’osservazione dell’azione eseguita da un altro non riesce ad attivare nei bambini con autismo quella copia motoria che compare nei bambini con sviluppo tipico. Questo non significa, però, che il bambino con autismo non capisca cosa fanno gli altri. Anzi, se interrogato, può rispondere correttamente. Come spiegare, dunque, questo paradosso?

In un recente esperimento sono state fatte vedere a bambini con sviluppo tipico alcune fotografie in cui una mano toccava un oggetto o lo afferrava. Gli oggetti potevano essere afferrati in due maniere diverse e il modo in cui ciò avveniva permetteva di capire perché l’agente afferrava l’oggetto. Era chiesto quindi ai bambini di spiegare cosa vedevano (toccare o afferrare) e nel caso dell’afferrare il perché dell’atto motorio. Per es., nel caso di una tazzina dovevano prima dire se la mano la toccava o la afferrava e poi, a seconda dell’atto motorio

(prensione per il manico o prensione dall'alto), specificare l'intenzione dell'agente (per bere o per spostare, rispettivamente). Sia i bambini a sviluppo tipico sia quelli con autismo distinguevano virtualmente senza errori il toccare dall'afferrare (l'atto motorio). Tuttavia, solo i bambini a sviluppo tipico spiegavano correttamente il perché dell'azione. I bambini con autismo davano anche loro una spiegazione, ma questa poggiava non sull'atto motorio osservato, ma sul riconoscimento della funzione d'uso più comune dell'oggetto di volta in volta in questione. Per riprendere il nostro esempio, la tazza era per loro sempre 'presa per bere', indipendentemente dal tipo di prensione. L'azione degli altri non era codificata in base all'atto motorio osservato, ma in base all'uso comune dell'oggetto osservato. Quello che i bambini con autismo, quindi, non risultano in grado di fare è interpretare le azioni degli altri attivando il proprio pattern motorio corrispondente: il loro mondo, infatti, è fatto di cose e non di esseri che agiscono come loro.

Tornando all'esperimento elettromiografico, vi è un importante dato che occorre sottolineare: la difficoltà di reclutamento del sistema motorio nei bambini durante l'esecuzione delle azioni. Questa difficoltà cambia la prospettiva di come interpretare la causa fisiologica primaria del deficit autistico. Questa sembra risiedere, prima ancora che nell'incapacità di 'rispecchiare' le azioni degli altri, nell'incapacità di organizzare il proprio comportamento intenzionale. Mancando una normale organizzazione delle catene motorie, anche la comprensione delle intenzioni degli altri basata sull'attivazione di queste catene (comprensione esperienziale) diventa deficitaria.

Conclusioni

Il sistema dei neuroni specchio è stato scoperto alla fine del 20° secolo. Oggi sappiamo molto sulla sua organizzazione anatomica e su come esso funziona. Esistono tuttavia varie lacune, la più importante delle quali riguarda il suo sviluppo. I sistemi specchio sono innati? E se sì, entro che limiti? E ancora, è innato tanto il sistema specchio responsabile della comprensione delle emozioni quanto quello alla base della comprensione delle azioni 'fredde'? Infine, nell'ambito di queste ultime, il sistema specchio ha la stessa origine per i movimenti della mano, per i quali è facile postulare l'apprendimento, e per i movimenti della bocca e della faccia, per i quali invece un simile assunto appare molto più difficile?

Si sa poco, inoltre, sull'esistenza di un eventuale sistema specchio sottocorticale che potrebbe mediare certi fenomeni di imitazione immediata già presenti alla nascita, quando la corteccia cerebrale è ancora immatura, come, per es., l'imitazione della protrusione della lingua. Un meccanismo specchio sottocorticale potrebbe essere alla base anche di veri e propri fenomeni di contagio, come lo sbadiglio.

Un altro interessante campo d'indagine che certamente si svilupperà nei prossimi anni è quello della possibile presenza del meccanismo specchio in specie animali diverse dai primati. Di recente la presenza del meccanismo specchio è stata dimostrata negli uccelli e, più precisamente, nel passero di palude. Nel telencefalo di questa specie esistono infatti neuroni che rispondono in modo temporalmente preciso alla presentazione uditiva di certe sequenze di suoni e quando l'uccello emette la medesima sequenza. Se si interrompe il feedback uditivo il pattern di attività non cambia, indicandone la loro natura essenzialmente motoria.

Importante sarebbe anche dimostrare l'esistenza del meccanismo specchio in specie, quali, per es., i roditori, comunemente usate nella sperimentazione animale. La dimostrazione dell'esistenza del meccanismo specchio in queste specie avrebbe un interesse non solo concettuale ma anche medico-applicativo, permettendo di affrontare il problema della specificità istologica e chimica del sistema specchio. A loro volta queste conoscenze potrebbero creare la possibilità di avere un modello animale per studiare a livello cellulare e molecolare i disturbi causati da un deficit di funzionamento del sistema specchio.

Neuropsicologia del Linguaggio

XXI Secolo (2010)

di Gianfranco Denes

Neuropsicologia del linguaggio

Da circa un secolo e mezzo nell'ambito degli studi scientifici sulla mente si è progressivamente sviluppata l'idea che il linguaggio, come le altre facoltà cognitive, rappresenta il prodotto finale di un 'organo mentale' specifico della nostra specie, sostenuto da una struttura fisica dedicata posta all'interno del sistema nervoso centrale. Una struttura non monolitica, ma costituita da più componenti distinte, moduli, che, nel loro insieme, formano un'architettura funzionale e anatomica, la cui natura può essere indagata sperimentalmente.

La ricerca delle basi biologiche del linguaggio non si è limitata a chiarire le modalità secondo le quali le unità astratte che lo compongono sono rappresentate all'interno del sistema nervoso, ma ha consentito di verificare, modificare o infine proporre nuovi modelli teorici sottostanti il linguaggio. Questi risultati sono stati ottenuti

sia attraverso lo studio di persone che in seguito a una lesione cerebrale hanno perso una o più componenti del sistema linguistico, divenendo afasiche, sia, più recentemente, attraverso l'uso delle nuove tecnologie di visualizzazione cerebrale in vivo (o neuroimaging), come la PET (Positron Emission Tomography) e la fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging).

Anatomia del linguaggio

I primi e per molti versi fondamentali contributi allo sviluppo di modelli neurologici e funzionali di elaborazione del linguaggio sia parlato sia scritto derivano dall'analisi delle correlazioni fra la perdita di una componente del sistema linguistico conseguente a una lesione cerebrale acquisita (afasia) e il riscontro post mortem della lesione cerebrale sottostante.

Si sono così sviluppati, a partire dalla seconda metà dell'Ottocento, modelli di elaborazione del linguaggio che postulavano, da un lato, una separazione fra conoscenze linguistiche e patrimonio intellettuale e, dall'altro, una distinzione anatomica e funzionale fra strutture e processi deputati alla produzione e alla comprensione del linguaggio parlato.

Il modello più conosciuto e ancora oggi più diffuso, specie in ambito clinico, è quello risalente a Karl Wernicke (*Der aphasische Symptomenkomplex. Eine psychologische Studie auf anatomischer Basis*, 1874). Secondo il famoso neurologo, il linguaggio è separato dal pensiero: persone divenute sorde prima che il linguaggio si sia sviluppato (sordi preverbali) possiedono in genere un normale patrimonio cognitivo; nelle prime fasi di apprendimento del linguaggio il bambino può ripetere parole di cui non conosce il significato.

Per Wernicke le strutture critiche per l'elaborazione del linguaggio parlato sono situate all'interno dell'emisfero sinistro (lo stesso che controlla la preferenza manuale in oltre il 90% della popolazione, ed è definito perciò come dominante): nell'area di Broca (dal nome del neurologo che nel 1861 descrisse il primo caso di perdita della facoltà del linguaggio articolato conseguente a una lesione cerebrale), posta anteriormente all'area motoria corrispondente alla rappresentazione dei muscoli fonoarticolatori e localizzata nella circonvoluzione frontale inferiore sinistra, sono depositati i programmi motori necessari per l'articolazione delle parole. Di conseguenza, una sua messa fuori uso (per una causa vascolare, traumatica o di altro genere) porterà a un disturbo di produzione del linguaggio parlato e scritto, mentre la comprensione linguistica sarà clinicamente nella norma (afasia di Broca). Nell'area di associazione acustica, situata nella parte posteriore della circonvoluzione superiore temporale sinistra, in stretta connessione con l'area acustica

primaria, avviene invece il processo di decodificazione del linguaggio, per cui gli stimoli uditivi sono trasformati in unità linguistiche, i fonemi. Una lesione a livello di tale zona si evidenzierà con un deficit selettivo della comprensione del linguaggio, sia parlato sia scritto (afasia sensoriale o di Wernicke). Le due aree sono comunicanti attraverso una connessione corticale diretta a livello del fascicolo arcuato interno. La figura 1 rappresenta il modello di elaborazione del linguaggio creato da un allievo di Wernicke, Ludwig Lichteim (Über Aphasie. Aus der medizinischen Klinik in Bern, «Deutsches Archiv für klinische Medizin», 1885, 36, pp. 206-68; trad. ingl. On aphasia, «Brain», 1885, 7, pp. 433-84): tale modello prevede l'esistenza di un livello inferiore dove vengono elaborate le componenti sensorio-motorie (aree di Broca e Wernicke) e un livello superiore dedicato all'elaborazione semantico-lessicale. Un sistema di fibre permette lo scambio di informazioni fra i centri.

All'interno di questo modello, la comprensione del linguaggio è possibile attraverso l'attivazione dell'immagine acustica della parola che, a sua volta, attiva un insieme distribuito di immagini sensoriali e motorie, responsabili della rappresentazione concettuale specifica per la parola. Di converso, la produzione spontanea inizia dall'attivazione della rappresentazione concettuale che, a sua volta, attiva in parallelo le immagini motorie e sensoriali associate al concetto. La lettura ad alta voce è possibile attraverso una connessione diretta fra il centro delle immagini visive e il centro motorio per l'articolazione delle parole, mediante un processo di transcodificazione grafema-fonema; il processo opposto permette la realizzazione della scrittura.

Nuovi modelli neurologici del linguaggio

L'introduzione nella pratica clinica e nella ricerca dei nuovi metodi di neuroimaging, quali la TAC (Tomografia Assiale Computerizzata) e la RM (Risonanza Magnetica), associata al crescente interesse da parte di psicologi e linguisti per lo studio dei disturbi afasici, ha reso possibile correlare in vivo e con sempre maggiore precisione la lesione cerebrale al deficit linguistico, analizzato alla luce di sofisticati modelli teorici di elaborazione del linguaggio.

Contrariamente al paradigma statico su cui si basa il metodo di correlazione anatomo-clinico, i nuovi metodi di indagine funzionale, PET e fMRI, permettono di indagare, in soggetti sani, le relazioni fra strutture neurali e funzione in maniera diretta, non basandosi sull'impatto della lesione cerebrale sul linguaggio, ma rilevando, con estrema precisione anatomica, gli indici dell'attività neuronale del cervello normale in azione. Per es., Daniela Perani e i suoi collaboratori, in uno studio PET su soggetti normali (Perani, Cappa, Schnur et al.

1999), hanno dimostrato che l'elaborazione di parole di differente classe grammaticale o semantica (nomi, verbi, parole astratte) attiva, all'interno dell'emisfero sinistro, aree diverse.

È stato così possibile non solo confermare la topografia e verificare l'organizzazione interna delle classiche aree del linguaggio (Broca e Wernicke) e la loro integrazione con altre aree corticali e sottocorticali che contribuiscono a formare una rete neurale di larga scala, ma anche fornire un apporto sperimentale a nuovi modelli neurologici sottostanti le abilità linguistiche.

Andrea Moro e i suoi collaboratori (Moro, Tettamanti, Perani et al. 2001), in uno studio PET su soggetti normali, hanno dimostrato un'attivazione dell'area di Broca e dell'area omologa dell'emisfero destro durante compiti di elaborazione morfosintattica. Nello stesso studio, inoltre, si è osservata un'attivazione del nucleo caudato sinistro e dell'insula soltanto durante il compito sintattico.

Darren R. Gitelman e i suoi collaboratori (Gitelman, Nobre, Sonty et al. 2005), in uno studio fMRI, hanno sottoposto un gruppo di soggetti normali a un compito di elaborazione di parole che prevedeva due tipi di presentazione (uditiva e scritta) e tre tipi di analisi (semantica, fonologica e ortografica). Il primo compito consisteva nel decidere se due parole fossero sinonimi (lapis-matita); il secondo se rimassero (attore-colore); il terzo se fossero composte dalle stesse lettere (pera-rape). È stato rilevato un pattern di attivazione neuronale, comune per tutte le prove, nelle aree ventrolaterale frontale, supplementare motoria e temporoccipitoparietale dell'emisfero sinistro, nell'insula e nel lobo destro del cervelletto. Il compito semantico attivava invece le parti più anteriori del lobo frontale di sinistra e la porzione laterale della corteccia temporale, mentre un'attivazione frontale posteriore si verificava nei compiti di analisi fonologica; un'attivazione parietale sinistra era infine evidente nei compiti di analisi ortografica.

Un approccio diverso, non modulare, è stato invece proposto da alcuni autori che postulano un legame fra rappresentazione motoria e percettiva del linguaggio: per es., Friedemann Pulvermüller e i suoi collaboratori (Pulvermüller, Huss, Kherif et al. 2006), in uno studio fMRI su soggetti normali, hanno dimostrato che durante l'ascolto di fonemi occlusivi bilabiali (/p/) e dentali (/t/) si registra un'attivazione contemporanea sia a livello delle aree uditive del lobo temporale sia delle aree motorie precentrali, con un'ulteriore specificazione a seconda del fonema elaborato: in corrispondenza della rappresentazione motoria delle labbra per /p/ e della lingua per /t/.

Tali dati si accordano bene con quelli ricavati dalla scoperta del sistema dei neuroni specchio (Rizzolatti, Sinigaglia 2006): accanto a neuroni visuomotori 'canonici' che rispondono alla presentazione di uno stimolo visivo, nella corteccia premotoria frontale (area 5) della scimmia è stata identificata una particolare classe di neuroni che si attivano sia durante l'esecuzione sia durante l'osservazione di azioni compiute da un'altra scimmia o dallo sperimentatore. Successivamente, è stato identificato un sistema specchio più ampio che interessa, oltre alle regioni frontali, anche i lobi parietali, e che si attiva quando si osservano azioni eseguite sia con gli arti sia con i muscoli orofacciali e si ascoltano i suoni corrispondenti. Il sistema dei neuroni specchio potrebbe quindi rappresentare il meccanismo neurofisiologico attraverso il quale il linguaggio si è sviluppato, a partire da un'origine primitivamente gestuale della comunicazione.

Il passo successivo è tentare di definire, in termini sia temporali sia funzionali, il passaggio dal gesto alla comunicazione uditivo-orale. L'ipotesi più plausibile è quella di un passaggio graduale da una modalità all'altra, attraverso mutazioni successive, permettendo la progressiva introduzione a scopo comunicativo di movimenti orofacciali, fino ad arrivare alla vocalizzazione. Ancora oggi, d'altronde, gesti manuali sincronizzati con la parola fanno parte della comunicazione linguistica, come per ricordare una comune origine. È ben evidente una forte somiglianza fra i movimenti facciali eseguiti dall'uomo durante la produzione di fonemi e quelli eseguiti dai primati durante la produzione di suoni, come schiocchi delle labbra o della lingua o battere dei denti: per Michael Studdert-Kennedy (2000), la struttura motoria di base delle sillabe deriva dalla successione dei movimenti di apertura e chiusura della bocca usati nel processo di masticazione e deglutizione del cibo, fino a evolvere successivamente nei gesti tipici della fonazione.

Basi neurologiche della lingua dei segni

Lo studio di pazienti sordi profondi che, in seguito a un ictus cerebrale, hanno perso la capacità di usare la lingua dei segni, ha permesso di dimostrare che le stesse aree che elaborano il linguaggio nella modalità orale-uditiva sono cruciali nell'elaborazione della lingua dei segni. Tali osservazioni cliniche sono state in gran parte confermate dagli studi di neuroimaging. In generale è stata riscontrata un'identità anatomica fra linguaggio parlato e segnato, osservando un'attivazione del giro prefrontale sinistro, all'altezza della regione di Broca, nei compiti sia impliciti sia espliciti di produzione di segni, mentre un'attivazione dell'area di Wernicke è stata rilevata in compiti di percezione della lingua dei segni.

In contrasto con i dati clinici, nei quali l'afasia dei segnanti si è riscontrata solo in seguito a una lesione dell'emisfero sinistro, alcuni studi di neuroimaging funzionale hanno evidenziato, oltre a un'attivazione delle

regioni canoniche, una marcata attivazione del lobo parietale sinistro, specializzato nell'analisi visuo-spaziale, soprattutto durante l'elaborazione di frasi che richiedono un uso 'referenziale' dello spazio: nel linguaggio dei segni, infatti, alcune strutture linguistiche usano le caratteristiche spaziali dei ruoli semantici e il luogo di produzione in maniera topografica. Alcuni segni (classificatori) distinguono la forma, la consistenza e il numero degli elementi lessicali cui si legano; analogamente, nella produzione di frasi la forma della mano corrispondente ai verbi di moto si accorda con le caratteristiche fisiche degli oggetti (come sono maneggiati, la loro forma o funzione), specificando il percorso e la direzione del movimento del nome cui si riferiscono. Rispetto all'elaborazione di frasi 'non topografiche', in cui lo spazio segnato è usato unicamente come la regione per l'esecuzione di segni dove il movimento o la posizione del segno è puramente fonologica (per es., il fiore è rosso), nella produzione di una frase del tipo il professore ha criticato lo studente, il segno corrispondente a professore viene posto in posizione più alta, con il verbo che punta in basso verso studente. Si può quindi ipotizzare che, nei segnanti, il lobo parietale sinistro sia specificamente attivo nell'elaborare, nello spazio, l'esatta configurazione e localizzazione delle mani nel rappresentare oggetti, agenti e azioni.

Il lessico

Il sistema lessicale di una lingua è composto dall'insieme delle singole voci conosciute (circa 50.000 in una persona adulta). L'accesso a tale repertorio, sia in produzione sia in comprensione, è estremamente efficiente e rapido: possiamo, infatti, elaborare 3-4 parole al secondo, indipendentemente dalla scolarità e dalla lingua parlata. Le grammatiche tradizionali propongono una classificazione delle parole secondo criteri di tipo semantico, per cui la classe dei nomi è formata prevalentemente da parole che significano entità o oggetti, mentre la classe dei verbi è costituita soprattutto da parole che designano azioni o processi.

Di grande interesse neuropsicologico è la distinzione fra parole a classe aperta e parole a classe chiusa. La classe aperta, che comprende nomi, verbi, aggettivi e avverbi, è sottoposta a un continuo ricambio. La classe chiusa, formata da articoli, pronomi, preposizioni e congiunzioni, contiene invece un numero finito di membri e non si modifica nel tempo.

Organizzazione del lessico mentale

I modelli correnti di elaborazione lessicale sono in prevalenza di tipo multicomponentiale, e prevedono la presenza di un sistema semantico-concettuale amodale e di quattro lessici, due di entrata, fonologico e ortografico, e due di uscita (fig. 2). I lessici sono collegati con il sistema semantico, che viene attivato in

entrata durante i compiti di comprensione uditiva o visiva, mentre il sistema stesso attiva i lessici di uscita fonologico e ortografico nei compiti di produzione. Infine, l'accesso ai lessici di entrata è preceduto da uno stadio di analisi ortografica o fonologica, mentre nel processo di produzione è prevista una connessione con sistemi di interfaccia, i buffer fonologici e ortografici, costituiti essenzialmente da magazzini di memoria a breve termine nei quali l'informazione viene conservata per il tempo necessario ad attivare il piano articolatorio oppure ortografico.

La validità di tale modello è stata per molti anni solo di natura neuropsicologica; soltanto di recente studi di neuroimaging funzionale hanno dimostrato aree differenti di attivazione cerebrale in compiti di elaborazione fonologica oppure semantica di parole presentate per via uditiva o scritta.

In alcuni pazienti è stata riscontrata una dissociazione fra denominazione scritta e orale, con deficit o risparmio selettivo per una modalità, per cui un paziente può scrivere correttamente il nome di un oggetto (sedia) ma, alla successiva richiesta di dirne il nome, ne indica uno errato (tavola). Tali casi sono particolarmente importanti anche nel delineare l'architettura funzionale del linguaggio scritto, in quanto, come verrà specificato successivamente, dimostrano che si può arrivare alla forma ortografica senza una precedente mediazione fonologica.

In altri casi è stato possibile dimostrare un'indipendenza funzionale e anatomica fra i lessici fonologici di input e output: alcuni pazienti (sordi verbali), pur in presenza di un normale udito periferico, non comprendono il linguaggio parlato, mentre la comprensione del linguaggio scritto e la denominazione sia orale sia scritta è nella norma. Infine, le dissociazioni con risparmi o deficit fra evocazione della forma della parola e comprensione della stessa hanno definitivamente contribuito a separare la conoscenza della forma fonologica da quella semantica. Per es., alcuni pazienti dimostrano una difficoltà selettiva nei compiti di denominazione con comprensione conservata, mentre altri cadono sia nei compiti di comprensione sia in quelli di produzione, dimostrando quindi all'interno del sistema lessicale l'esistenza di due componenti indipendenti, una più centrale, attiva sia nei compiti di produzione sia in quelli di comprensione, e una più periferica, costituita dal magazzino delle forme fonologiche e ortografiche.

Categorie semantiche e classi grammaticali

Lo studio di pazienti con deficit ristretti a specifiche categorie semantico-lessicali ha consentito di formulare differenti ipotesi riguardanti l'organizzazione funzionale e il substrato neurologico del sistema lessicale-

semantico. In particolare, tre sono state le categorie che hanno dimostrato la maggior specificità in termini di elaborazione sia cognitiva sia neurale: gli esseri viventi (animali e vegetali), gli oggetti inanimati (in particolare gli utensili) e gli oggetti della conoscenza denotati da un nome proprio oppure ‘esemplari unici’ (persone e luoghi geografici). Per quanto riguarda la classe grammaticale, numerosi sono gli studi che hanno cercato di distinguere i meccanismi anatomico-funzionali specifici per i nomi e i verbi.

Esseri viventi e manufatti

Elizabeth K. Warrington e Tim Shallice (1984) hanno effettuato un’analisi dettagliata di quattro pazienti che, in seguito a una lesione temporale bilaterale, dimostravano una difficoltà a denominare o comprendere il significato di parole corrispondenti ad animali, vegetali e cibi, mentre l’elaborazione di parole che definivano oggetti di uso comune era nettamente superiore; altri pazienti con le stesse lesioni presentavano una dissociazione inversa.

A livello teorico, due sono stati i modelli proposti per spiegare tali deficit. Secondo una prima interpretazione, di tipo riduzionista, l’organizzazione della conoscenza è determinata dalle caratteristiche percettive o funzionali corrispondenti al significato delle parole: per es., la conoscenza di entità biologiche (animali, piante e frutta) è basata su fattori che riguardano principalmente aspetti percettivi (ha il mantello pezzato o una forma allungata o, nel caso di vegetali, ha un sapore o un colore particolare), mentre quella di manufatti (utensili) è legata al loro uso (serve per tagliare o per battere); ne deriva quindi che una lesione delle aree cerebrali legate all’elaborazione sensoriale (principalmente visiva, ma anche gustativa o olfattiva) o alla rappresentazione del movimento legato allo specifico item porterà alla comparsa di deficit per categorie semantiche differenti.

Per Alfonso Caramazza e Bradford Z. Mahon (2006), invece, la semantica è organizzata in ‘campi’ (domains), sottesi da circuiti neurali specifici, stabilitisi, nel corso dell’evoluzione, in seguito a un processo di selezione naturale. La necessità di poter rapidamente ed efficientemente giudicare la potenziale utilità o pericolosità di esemplari appartenenti a differenti categorie semantiche ha determinato lo sviluppo di circuiti neurali funzionalmente e anatomicamente separati che permettono di distinguere un vegetale commestibile da uno velenoso, se un animale sia un predatore o un oggetto di preda, o, infine, se la persona che abbiamo di fronte sia un amico o una persona sconosciuta di cui non conosciamo le intenzioni. A sostegno di tale ipotesi sono stati descritti pazienti che, all’interno della categoria ‘biologica’, presentavano un deficit concettuale o lessicale ristretto alla categoria degli animali, senza un contemporaneo deficit di elaborazione semantico-

lessicale per cibi e strumenti musicali, per la cui identificazione è necessaria un'elaborazione prevalentemente su base percettiva.

Nomi propri

Ogni grammatica distingue i nomi comuni dai nomi propri: questi possono essere definiti come sintagmi nominali che hanno esclusivamente valore 'referenziale', usati (come i pronomi personali e i dimostrativi) solo 'per riferirsi a', o denominare persone, specifici luoghi geografici o marchi di fabbrica. In genere, in corso di afasia, si osserva un deficit lessicale sia per i nomi propri sia per i nomi comuni, ma sono stati descritti alcuni casi (rari) di risparmio o, più frequentemente, di deficit selettivo dei nomi propri (nomi di persona e termini geografici, oppure solo nomi di persona) rispetto ai nomi comuni. L'anomia per i nomi propri non è sottesa da un meccanismo unico: in alcuni casi è dovuta a un'incapacità selettiva ad accedere, all'interno del lessico di uscita, alla forma fonologica e ortografica corrispondente, simile ai lapsus dei parlanti non cerebrolesi, con conoscenza semantica conservata. In altri casi, invece, il deficit è semantico, per cui il paziente non è in grado di fornire una descrizione concettuale adeguata corrispondente alle persone di cui non ricorda il nome.

Su tale base è stato così possibile delineare, a livello sia teorico sia di implementazione neurologica, un modello specifico di elaborazione dei nomi propri: il primo stadio prevede la presenza di sistemi di riconoscimento specifici per unità singole (nel caso delle persone il viso, la voce, la descrizione verbale). Ottenuta la rappresentazione concettuale, viene attivata la corrispondente forma fonologica, depositata all'interno del lessico di uscita che a sua volta contiene una distinzione fra nomi comuni e nomi propri.

Classe grammaticale

Nell'afasia di Broca, i nomi sono prodotti più facilmente dei verbi. Al contrario, nelle afasie fluenti il deficit è specifico per i nomi, con possibili dissociazioni fra nomi propri e nomi comuni. Tre sono le ipotesi proposte per spiegare la ragione della differenza di elaborazione fra le due classi grammaticali: una prima semantica, una seconda lessicale e una terza sintattica, che inquadra il deficit selettivo per l'elaborazione dei verbi nel complesso dell'agrammatismo.

Secondo la prima ipotesi i verbi, per es. scrivere o camminare, esprimono un'azione, e si associano quindi alla rappresentazione di un movimento, venendosi così a formare associazioni neuronali stabili fra le aree del linguaggio e quelle poste in prossimità della corteccia motoria, deputate all'elaborazione e programmazione

dei movimenti corporei. In questa prospettiva, quindi, non è tanto la classe grammaticale quanto la semantica a determinare la differente base funzionale e anatomica fra nomi e verbi.

Una conferma dell'ipotesi semantica alla base della dissociazione nomi-verbi è venuta da uno studio PET eseguito su soggetti normali (Vigliocco, Warren, Siri et al. 2006), in cui si è osservata un'attivazione delle aree motorie dell'emisfero sinistro in compiti di elaborazione visiva di parole legate a un movimento (tuffi, atterraggio, scuote, galoppo), indipendentemente dalla classe grammaticale (nome-verbo). Al contrario, l'elaborazione di parole con caratteristiche simili alle precedenti ma esprimenti qualità sensoriali (solletico, oscurità, annusa, luccicano) ha determinato un'attivazione delle aree temporobasali e frontali inferiori dell'emisfero sinistro, indipendentemente dalla classe grammaticale.

Per Caramazza e Argye E. Hillis (1991a), indipendentemente dalla localizzazione cerebrale, esiste all'interno dei lessici fonologici e ortografici un'organizzazione per classi grammaticali: tale ipotesi è sostenuta dalla prestazione di alcuni pazienti che compiono un numero maggiore di errori semantici in compiti di denominazione di verbi rispetto ai nomi, ma soltanto nella modalità scritta.

L'ipotesi che il deficit selettivo nell'elaborazione dei verbi sia di origine sintattica è stata avanzata da numerosi autori. Per Eleanor M. Saffran e i suoi collaboratori (Saffran, Schwartz, Marin 1980), per es., il deficit nell'elaborazione dei verbi presentato dai pazienti con afasia di Broca si colloca all'interno di un quadro più ampio di danno del sistema morfosintattico, caratterizzato clinicamente da agrammatismo.

In conclusione, è improbabile che solo un unico fattore sia alla base della diversità di elaborazione fra nomi e verbi, e, in una prospettiva neuropsicologica, solo l'analisi accurata delle varie componenti alla base delle due classi lessicali potrà chiarire la natura dei deficit selettivi presentati dai pazienti.

Basi neurologiche del lessico

L'introduzione dei metodi di neuroimaging ha permesso di affinare l'approccio anatomo-clinico allo studio delle basi neurologiche del lessico, dimostrando una partecipazione attiva di zone dell'emisfero sinistro anche al di fuori delle aree di Wernicke e Broca, con parziale segregazione all'interno del lobo temporale sinistro delle basi neurali corrispondenti a singole categorie semantiche: tale sistema comprende la corteccia temporale inferiore, media e posteriore, e alcune aree di associazione frontale. Questo vasto sistema è alla base dell'elaborazione sia degli aspetti sensoriali e motori degli input più 'periferici' sia dell'elaborazione

semantica vera e propria: in particolare, le aree temporobasali sembrano sostenere la capacità di organizzare la conoscenza in categorie semantiche distinte. In un importante lavoro che combina i dati provenienti dallo studio di pazienti con deficit semantico-lessicali con quelli derivati da uno studio PET su soggetti normali, Hanna Damasio e i suoi collaboratori (Damasio, Tranel, Grabowski et al. 2004) hanno identificato, all'interno dell'emisfero sinistro, aree corticali specifiche per l'elaborazione di differenti categorie semantiche, postulando un'organizzazione in senso anteroposteriore del lobo temporale inferiore, con le aree anteriori dedicate alla semantica di persone, mentre le zone posteriori elaborano la conoscenza di esseri viventi (animali e vegetali).

Per i nomi propri, sia gli studi di neuroimaging sui soggetti normali sia i dati clinici concordano nell'ipotizzare, all'interno dell'emisfero sinistro, un circuito neurale, centrato sul lobo temporale, dedicato ai vari aspetti dell'elaborazione delle specificità semantiche e delle forme lessicali denotate dai nomi propri. Come sopra accennato, tale segregazione funzionale e neuronale potrebbe, in una prospettiva evolutiva, essere particolarmente vantaggiosa, in quanto permette di riconoscere con rapidità e precisione l'identità di conspecifici.

Nella maggioranza dei casi, il deficit lessicale specifico per i verbi è conseguente a una lesione che comprende le aree anteriori del linguaggio, inclusa l'area di Broca, mentre, al contrario, un deficit ristretto alla categoria dei nomi è stato descritto in seguito a una lesione retrorolandica sinistra, centrata sulla corteccia temporale (Daniele, Giustolisi, Silveri et al. 1994). Analogamente, in una serie di studi svolti in soggetti normali mediante l'uso di varie tecniche di indagine si sono evidenziati pattern diversi di attivazione neuronale in compiti di elaborazione di nomi e verbi. È stata riscontrata un'attivazione neuronale in corrispondenza dell'area dorsolaterale frontale e temporo-laterale sinistra in compiti di elaborazione di verbi, mentre l'elaborazione di nomi si accompagnava a un'attivazione emisferica diffusa, prevalente a sinistra (Perani, Cappa, Schnur et al. 1999).

In conclusione, dagli studi clinici e di neuroimaging sembra emergere un quadro di prevalente coinvolgimento delle aree posteriori dell'emisfero sinistro nei compiti di elaborazione dei nomi, mentre l'elaborazione dei verbi, specie se di moto, si accompagna ad attivazione delle aree anteriori, frontoparietali, suggerendo una stretta relazione fra rappresentazione dei verbi e conoscenza spaziale legata all'azione espressa dai verbi.

Basi neurologiche e architettura funzionale del linguaggio scritto

L'apprendimento e l'uso del linguaggio scritto sono sottesi da sistemi funzionali e neurologici che si sono sviluppati adattando e modificando parti del sistema visivo a compiti specifici, quali il riconoscimento di lettere e parole. Tali processi sono in gran parte indipendenti sia da sistemi di riconoscimento per altre classi di stimoli visivi, quali oggetti o facce, sia da quelli per il linguaggio parlato, con possibilità di dissociazioni fra la capacità di leggere e scrivere e quella di parlare e comprendere il linguaggio per via uditiva. Tali sistemi agiscono in maniera rapida, efficiente e automatica, tanto che si può parlare di un 'istinto della lettura' che entra in azione indipendentemente dalla volontà.

Sistemi ortografici

A differenza di quanto accade per l'identificazione e denominazione di figure e di alcuni simboli grafici (per es., i segnali stradali), caratterizzati da una corrispondenza diretta fra oggetto (o idea) e simbolo, e i cui primi esempi risalgono alla preistoria, la scrittura è caratterizzata da un processo di trasformazione di ogni suono con valore linguistico (fonema, sillaba o parola) nella corrispondente unità scritta. Attualmente nel mondo vengono usati più sistemi ortografici: quello ideografico (kanji), usato in Cina e in parte in Giappone, in cui a ogni singolo segno corrispondono suono e significato di una parola; quello sillabico (per es., la scrittura giapponese kana), in cui vengono rappresentate graficamente le sillabe; quello alfabetico, in cui a ogni segno (grafema, composto da uno o più lettere) corrisponde un suono (fonema). Nelle lingue che usano il sistema alfabetico, il grado di corrispondenza fra fonemi e grafemi è variabile: in alcune lingue, come il serbo-croato, l'applicazione delle regole di transcodificazione scritto-suono permette di ricavare la fonologia o l'ortografia di qualsiasi grafema o fonema (ortografie trasparenti). Per altre lingue invece, come il francese o l'inglese, la corrispondenza fra grafema e fonema può non essere univoca. In francese può succedere che diversi grafemi corrispondano a un solo fonema (per es., i cinque grafemi au, aux, eau, eaux e o corrispondono tutti al suono / o/). Ancora più complicato è il caso dell'inglese, in cui non solo esistono, come in francese, differenti grafemi che rappresentano lo stesso suono, ma la pronuncia di un grafema può spesso dipendere dai grafemi precedenti della stessa parola. In tali sistemi ortografici (ortografie opache) esistono parole regolari, la cui ortografia e pronuncia sono ricavabili dall'applicazione di meccanismi sublessicali di conversione grafema-fonema, e parole irregolari, spesso ad alta frequenza d'uso, la cui lettura e scrittura è sottesa da operazioni non predicibili sulla base di regole. Un altro sistema ortografico è rappresentato dalla scrittura dell'arabo e dell'ebraico: le lettere che compongono una parola sono per lo più consonanti, mentre la maggior parte delle vocali è omessa.

L'ortografia dell'italiano, comunemente considerata del tipo trasparente, presenta invece alcune eccezioni: per es., la consonante occlusiva velare sorda /k/ è realizzata in tre modi differenti, come in cane, quasi, chiodo; viceversa, il grafema gl viene pronunciato /gl/ in glicerina ma /ʎ/ in aglio o luglio. Esistono poi parole ad alta frequenza prese a prestito da lingue straniere, la cui lettura e scrittura non possono essere ricavate adottando le regole specifiche per l'italiano scritto. Inoltre, la posizione dell'accento in una parola scritta non è sempre determinabile su basi esclusivamente fonologiche: in italiano non vi è, infatti, una regola costante che permetta di prevedere dove comparirà l'accento; in molti casi solo la precedente conoscenza del suono o il contesto permettono di comprenderlo (per es., nella parola scritta ancora, che potrà essere pronunciata /'ankora/ o /an'kora/).

Per una nuova anatomia della lettura

Il primo modello per l'elaborazione del linguaggio scritto, di tipo associazionistico, fu proposto dal neurologo Jules Déjerine (*Contribution à l'étude anatomo-pathologique et clinique des différentes variétés de cécité verbale*, «Comptes rendus hebdomadaires des séances et mémoires de la Société de biologie», 1892, 4, pp. 61-90), sulla base dell'osservazione anatomo-clinica di due pazienti con disturbi isolati della lettura (alesia) e della scrittura (agrafia) conseguenti a danno cerebrale. Secondo Déjerine il riconoscimento delle singole lettere che compongono una parola scritta si attua nei centri visivi occipitali; le informazioni così elaborate vengono quindi trasmesse al centro della memoria visiva delle parole, a sua volta connesso con il centro della memoria uditiva, ove si realizza la comprensione. La lettura ad alta voce è possibile invece attraverso la connessione tra il centro della memoria visiva delle parole e il centro motorio dell'articolazione della parola. Nella scrittura su dettato si realizza il processo opposto: i centri della memoria uditiva e/o della memoria articolatoria attivano i centri della memoria visiva delle parole, e quindi i corrispondenti programmi motori per la realizzazione grafica.

Ambedue i processi avvengono quindi attraverso un meccanismo sublessicale: nella lettura, le lettere che compongono le singole parole sono elaborate singolarmente, in modo seriale, trasformando ogni lettera in un fonema, quindi assemblate per essere convertite in parole udite. Il processo opposto avviene nella scrittura, in cui le parole, scomposte nei fonemi costituenti, sono trasformate in stringhe di lettere.

La possibilità di evidenziare sperimentalmente, attraverso gli strumenti di neuroimaging funzionale, il substrato neurologico attivo durante i vari stadi di elaborazione di tale linguaggio ha permesso di dettagliare ulteriormente il modello anatomico di elaborazione del linguaggio scritto.

Dopo una prima analisi percettiva a livello della corteccia visiva primaria, la successiva elaborazione degli stimoli grafici è sottesa dalle aree di associazione visiva dei due emisferi, specie nelle porzioni ventromediali. Durante la presentazione all'emicampo visivo sia destro sia sinistro di stringhe di lettere corrispondenti a parole, studi di neuroimaging (Cohen, Dehaene 2004) hanno rilevato un'attivazione del giro fusiforme posto alla base del lobo temporale (area per la forma visiva delle parole).

Di particolare importanza è stato infine il riscontro di differenti attivazioni neurali in lingue che adottano diversi sistemi ortografici: Eraldo Paulesu e i suoi collaboratori (Paulesu, McCrory, Fazio et al. 2000) hanno dimostrato che studenti italiani leggono più velocemente parole italiane di quanto studenti inglesi leggano parole inglesi. Gli stessi autori, in due studi PET, hanno riscontrato che la lettura di parole inglesi, a ortografia opaca, attiva soprattutto la circonvoluzione temporale posteroinferiore sinistra e il giro frontale inferiore, in funzione durante l'elaborazione lessicale, mentre la lettura di parole italiane attiva il giro temporale superiore sinistro, in funzione durante l'elaborazione dei fonemi.

Modelli cognitivi di lettura

Il modello di Déjerine non tiene conto di alcune peculiarità della lingua scritta, in particolare l'esistenza di alcuni sistemi ortografici nei quali, come detto sopra, non sempre l'ortografia o la pronuncia corretta di una parola scritta sono ricavabili dalla stretta applicazione di regole sublessicali.

John C. Marshall e Freda Newcombe (1973) hanno scardinato la convinzione che l'elaborazione del linguaggio scritto avvenga unicamente per via sublessicale. Essi hanno descritto infatti due forme distinte di dislessia acquisita, la dislessia profonda e la dislessia di superficie. La prima è caratterizzata da un'incapacità di leggere le 'non parole' (stringhe di lettere prive di significato) e da errori semantici nella lettura delle parole (paralessie semantiche, per cui una parola, per es. verde, viene letta rosso). Nella dislessia di superficie, il paziente, pur essendo in grado di leggere sia le non parole sia le parole regolari, compie errori di 'regolarizzazione' nella lettura di parole irregolari, che sono lette applicando le regole di conversione scritto-suono.

A un'analisi più puntuale della prestazione dei pazienti furono inoltre rilevati importanti effetti di classe sia grammaticale sia lessicale: da parte di molti pazienti dislessici le parole a classe aperta (nomi, aggettivi, verbi) vengono lette e scritte più accuratamente rispetto alle parole a classe chiusa (articoli, preposizioni, pronomi e

congiunzioni), indipendentemente dalla complessità grafemica, così come le parole concrete rispetto a quelle astratte.

Marshall e Newcombe hanno proposto quindi un'interpretazione teorica delle dislessie, riferendosi a un modello esplicito sottostante i meccanismi cognitivi della lettura. Il modello è espresso in forma diagrammatica, ed è composto di 'scatole' e 'frece' (fig. 3). La lettura di parole conosciute avviene attraverso l'attivazione della via lessico-semantiche: nel lessico di entrata visivo la parola viene riconosciuta; l'attribuzione del significato avviene nel sistema semantico, e da lì si ha l'attivazione del suono corrispondente nel lessico di uscita fonologico. È possibile tuttavia leggere correttamente le parole conosciute, pur senza comprenderne il significato, attraverso la via lessicale-fonologica (in rosso nella figura) che prevede un collegamento diretto tra il lessico di entrata visivo e quello di uscita fonologico. Al contrario, la via non lessicale (in blu) è utilizzata quando occorre leggere parole mai viste o non parole. In questo caso, le lettere che costituiscono lo stimolo scritto vengono convertite, attraverso un sistema di regole, nei fonemi corrispondenti. Una volta ottenuta una rappresentazione fonologica astratta, attraverso sia la via lessicale sia quella non lessicale, l'informazione passa in un magazzino di memoria a breve termine (buffer fonologico), che la mantiene per il tempo necessario a pianificare i processi di articolazione per la produzione ad alta voce.

Se, in seguito a un danno cerebrale, la via lessicale non è percorribile, si verificheranno errori nella lettura di parole irregolari, che saranno regolarizzate (per es., un soggetto di madrelingua francese leggerà la parola *femme* come /'fem/ e non /'fam/), mentre le parole regolari e le non parole saranno lette correttamente (dislessia di superficie). In italiano anche una parola regolare potrà essere letta scorrettamente per mancata conoscenza della posizione dell'accento tonico.

Al contrario, in caso di danno alla via fonologica, la lettura sarà possibile attraverso una via lessicale, attivando una rappresentazione semantica che media il passaggio tra la forma stampata e la realizzazione sonora: in altre parole, una volta riconosciuta la stringa grafemica, ne viene attivato il significato e successivamente la forma fonologica. Ovviamente non sarà possibile la lettura di non parole, prive di rappresentazione semantica (dislessia fonologica).

Le paralessie semantiche hanno origine, secondo l'interpretazione originale di Marshall e Newcombe, da un deficit parziale della via semantica-lessicale, privata dell'appoggio sublessicale, che porta a una difficoltà a recuperare la rappresentazione semantica o fonologica della parola scritta.

Modelli cognitivi di scrittura

In analogia con i modelli di lettura, i modelli attuali di scrittura favoriscono un modello a due vie, per cui la corretta ortografia può essere ottenuta attraverso due meccanismi, sostanzialmente autonomi, il primo sublessicale, basato sul processo di conversione fonema-grafema, e il secondo di tipo semantico-lessicale.

È possibile scrivere correttamente sotto dettatura una parola conosciuta attraverso un meccanismo che prevede il riconoscimento della stringa di fonemi nel lessico di entrata uditivo. Successivamente si attiva il significato e infine è possibile l'attivazione della rappresentazione ortografica corrispondente, immagazzinata nel lessico grafemico di uscita. Al contrario, qualora si debba scrivere una parola che non è mai stata udita prima, si convertiranno i fonemi costituenti nei corrispettivi grafemi. Il prodotto finale di questo processo verrà inviato al buffer grafemico, dove verrà trattenuto fino al completamento della forma grafica.

La procedura di tipo sublessicale, che forzatamente esige tempi maggiori della procedura lessicale, è valida per ottenere una corretta ortografia delle parole regolari, caratterizzate da una costante corrispondenza fonema-grafema. Tuttavia, come sopra specificato, esistono molte parole la cui ortografia non può essere correttamente ottenuta solo attraverso l'applicazione di regole di conversione sublessicale: in italiano, per es., dato che uno stesso suono può essere realizzato con lettere differenti, si potranno ottenere delle non parole omofone e pseudomografe, per es. quore o cuadro. Per tali ragioni è stato proposto che l'ortografia delle parole ad alta frequenza e/o con ortografia irregolare sia immagazzinata in un lessico ortografico di uscita. Il recupero di tali entrate ortografiche è mediato dal sistema semantico. La rappresentazione ortografica astratta così ottenuta sarà inviata al buffer ortografico per la scrittura o per lo spelling («compitazione») ad alta voce.

La necessità di postulare l'esistenza di una rappresentazione ortografica autonoma da quella fonologica è sostenuta sia dall'esistenza nel lessico di parole irregolari sia, e soprattutto, dall'evidenza neuropsicologica. Sono stati infatti descritti, come detto sopra, pazienti che compivano errori semantici in una sola modalità di output: per es., i pazienti di Caramazza e Hillis (1991b) producevano errori semantici solo nella denominazione orale.

Struttura della forma ortografica

Una volta ottenuta una rappresentazione ortografica astratta, è necessario che questa sia mantenuta in un sistema di memoria a breve termine per il tempo necessario alla sua realizzazione fisica (spelling scritto e

orale). Le prime ipotesi, derivate essenzialmente dallo studio dei lapsus calami nei soggetti normali e caratterizzati da sostituzioni, omissioni, inserzioni o trasposizioni di lettere, ipotizzavano che la rappresentazione ortografica fosse rappresentata come una sequenza di grafemi, definita dall'identità e dalla posizione dei singoli grafemi nella sequenza. L'accurata analisi degli errori compiuti da alcuni pazienti con danno al buffer grafemico (Miceli, Capasso 2006) è invece in favore di una rappresentazione basata su più variabili, che specifica cioè sia l'ordine seriale, sia lo status vocale consonante, sia l'identità del grafema e la presenza di geminate all'interno della stringa.

Il passo successivo è rappresentato dalla selezione della forma allografica: i grafemi, infatti, possono essere realizzati in diverse varianti (allografi), caratterizzate da forme percettivamente diverse (A, a, A, a). La selezione dell'allografo avviene sulla base sia della posizione del grafema all'interno della parola sia della classe di appartenenza (per es., sono scritti con l'iniziale in maiuscolo sia i nomi propri sia le prime parole di ogni frase).

Una volta recuperato l'allografo, lo stadio successivo consiste nell'attivazione del corretto programma grafomotorio: qui sono specificate la direzione, la dimensione e la forma relativa dei tratti che compongono le varie lettere, che possono essere realizzate da strumenti diversi (penna, bomboletta spray, piede nel caso di scrittura sulla sabbia) e sono in grado di influire sulle caratteristiche individuali della scrittura. Lo stadio finale infine specifica i dettagli grafici in specifiche istruzioni neuromuscolari.

Neuroscienze. Basi fisiologiche dei processi decisionali

Enciclopedia della Scienza e della Tecnica (2007)

di Camillo Padoa-Schioppa

Un processo decisionale è un processo attraverso il quale avviene una scelta. Le basi fisiologiche dei processi decisionali hanno recentemente attirato un crescente interesse scientifico, e molta ricerca in questo campo è in corso. È dunque probabile (e auspicabile) che un censimento dell'attuale letteratura risulterà datato già tra pochi anni. Oggi si possono recensire oltre 1700 pubblicazioni scientifiche che trattano della fisiologia dei processi decisionali. In parte a motivo del fatto che si tratta di un campo in rapida evoluzione, il termine

decision-making si trova usato in contesti e in relazione a sistemi biologici anche molto diversi tra loro: dalla drosophila che sceglie tra varie possibili rotte di volo, alla sanguisuga che sceglie se nuotare o strisciare, all'umano che sceglie tra diversi possibili investimenti finanziari. In questa sede ci limitiamo a considerare alcune linee di ricerca sulle basi fisiologiche di comportamenti che riteniamo meglio corrispondere alla comune intuizione di che cosa siano una scelta o una decisione.

In particolare, sono stati condotti esperimenti sull'attività cerebrale dei Primati in relazione a tre processi cognitivi: la decisione percettiva, la selezione del movimento e la scelta economica. Va detto, tuttavia, che i confini tra questi diversi processi cognitivi non risultano ancora del tutto definiti. Per esempio, le aree del lobo parietale del cervello sono funzionalmente intermedie tra quelle sensoriali e quelle motorie e non è del tutto chiaro se l'attività di singoli neuroni che ne fanno parte vada più propriamente interpretata come sensoriale o come motoria. Di conseguenza, l'attività neuronale registrata nell'area intraparietale laterale (area LIP) negli esperimenti di decisione percettiva, che viene di solito interpretata come un segnale percettivo, potrebbe invece rappresentare la pianificazione di un movimento oculare, ed essere quindi qualitativamente simile all'attività neuronale registrata nella stessa area LIP negli esperimenti di selezione del movimento. Per quanto riguarda i processi di scelta economica, esistono almeno due possibili modelli cognitivi attualmente in discussione. Da un lato, alcuni autori sostengono che la scelta economica sia una scelta tra atti motori che ha luogo in particolare nel lobo parietale; se questo fosse vero, la scelta economica e la selezione del movimento sarebbero due espressioni di uno stesso processo fisiologico e cognitivo. Dall'altro, un certo numero di risultati sperimentali suggerisce che la scelta economica sia essenzialmente una scelta tra beni che ha luogo in particolare nel lobo frontale. Naturalmente la questione è di natura empirica, e si può sperare che un quadro più chiaro emerga nei prossimi anni. Infine, esiste l'ipotesi che, in vari processi di scelta, il soggetto assegni mentalmente un valore alle opzioni offerte, e poi decida sulla base di questo valore. Dal punto di vista fisiologico, sia gli esperimenti sulla scelta economica sia quelli sulla selezione del movimento mostrano neuroni la cui attività codifica il (o è modulata dal) valore. D'altra parte, si sa ancora molto poco a proposito del processo di decisione, ovvero di comparazione dei valori. Possiamo sperare che la ricerca dei prossimi anni faccia luce anche su questa fondamentale questione.

Sommario

1. Decisione percettiva. 2. Selezione del movimento. 3. Scelta economica.

1. Decisione percettiva

La percezione sensoriale, per esempio di uno stimolo visivo, avviene di solito in modo così immediato che è difficile intuire i complessi meccanismi neuronali e computazionali che la generano. Solo quando sfidiamo in qualche modo le nostre abilità percettive ci accorgiamo che esse sono limitate, e possiamo studiarne i meccanismi. Per esempio, la percezione di un oggetto in movimento e della direzione del suo moto non richiedono di solito alcuno sforzo. Si possono però creare situazioni nelle quali percepire la direzione del moto è difficile e richiede una decisione.

La fig. 2 illustra un paradigma sperimentale che viene usato per studiare tale decisione percettiva. Un soggetto-scimmia è seduto di fronte a uno schermo e mantiene lo sguardo fisso su un punto posto al centro dello stesso, dove appare uno stimolo visivo detto cinetogramma a puntini (o random dot kinetogram). In ogni dato istante è presente sullo schermo un certo numero di puntini bianchi, e ogni decina di millisecondi ciascun puntino viene spostato in una specifica direzione (moto coerente) oppure sostituito da un altro puntino che compare in una posizione scelta a caso. La percentuale di puntini spostati coerentemente varia. In una situazione estrema, tutti i puntini vengono sostituiti a caso con puntini che appaiono in altre posizioni (0% di coerenza): in questo caso, alcuni puntini possono apparire localmente in moto in diverse direzioni, ma la direzione netta del moto è nulla. In un'altra situazione estrema, tutti i puntini vengono spostati in un'unica direzione (100% di coerenza), per esempio verso sinistra. Infine, ci sono molte possibilità intermedie, nelle quali solo una certa percentuale (per es., la metà) di puntini viene spostata in una certa direzione (in questo caso, 50% di coerenza). Il moto coerente può essere verso sinistra oppure verso destra, e il compito della scimmia è quello di riportare con un movimento oculare la direzione netta del moto. L'accuratezza e la velocità con le quali il soggetto riesce a percepire la direzione netta del moto dipende dal livello di coerenza (fig. 2A). Per coerenza >25%, l'accuratezza è vicina al 100% e i tempi di reazione sono brevi (<450 msec); per coerenza vicina allo 0%, l'accuratezza è pari circa al 50% (ovvero la scimmia 'tira a indovinare') e i tempi di reazione sono lunghi (>800 msec). In altre parole, variando con continuità il livello di coerenza si può rendere il compito arbitrariamente difficile. Il processo mentale sottostante può essere interpretato come un processo decisionale, nel senso che la scimmia deve 'decidere' in che direzione percepire il moto netto. In particolare, quando questo ha bassa coerenza, la decisione (cioè la percezione) è più difficile e il soggetto deve integrare (accumulare) l'informazione visiva per un periodo più lungo. Quali meccanismi neuronali danno luogo alla percezione visiva del moto del cinetogramma?

A partire dalla fine degli anni Cinquanta del Novecento sono state scoperte molte cose sul funzionamento del sistema visivo. Oggi sappiamo che i fotoni che arrivano nella retina generano degli spikes (o potenziali d'azione) nelle cellule gangliari, le quali proiettano nel talamo, e da lì nella corteccia visiva primaria (V1). Ciascun neurone di V1 ha un piccolo campo recettivo, ovvero una porzione limitata del campo visivo (di diametro variabile da una frazione di grado a qualche grado) tale che il neurone si attiva ('risponde') solo se un

particolare stimolo è posto al suo interno. I neuroni di V1 processano aspetti molto semplici degli stimoli visivi, per esempio i bordi delle superfici. Poiché tutta l'informazione visiva passa da V1, si può dire che il resto del nostro sistema visivo, che globalmente forma circa un terzo della nostra corteccia, elabora informazioni processate da V1. Da V1 originano due distinte cascate (o flussi) di aree visive, che elaborano aspetti progressivamente più complessi degli stimoli visivi. Le aree del flusso ventrale, che terminano nel lobo temporale, processano l'identità dello stimolo visivo, lo riconoscono. Le aree del flusso dorsale, che terminano nel lobo parietale, processano gli aspetti spaziali e temporali dello stimolo visivo, lo localizzano. Queste ultime sono anche le aree del sistema visivo più direttamente legate all'iniziazione del movimento, in particolare del movimento oculare.

Per quanto riguarda specificamente la percezione del movimento, è di fondamentale importanza l'area detta MT (Middle temporal). Così come i neuroni di V1, anche quelli di MT hanno un campo recettivo (il cui diametro, più grande, varia da qualche grado a qualche decina di gradi). La loro caratteristica principale è quella di avere anche una direzione di movimento preferita: ciascun neurone si attiva solo se è presente uno stimolo visivo nel suo campo recettivo e se tale stimolo si muove nella sua direzione preferita. I neuroni di MT non hanno memoria, nel senso che la loro attività in ogni dato istante dipende solo dalla posizione e dalla direzione del moto dello stimolo in quell'istante. Globalmente, i campi recettivi e le direzioni preferite della popolazione neuronale di MT ricoprono l'intero campo visivo e 360° di direzioni del moto, cosicché, se si potesse registrare simultaneamente l'attività di tutti i neuroni di quest'area, si otterrebbe un'informazione accurata e istantanea degli stimoli visivi in moto davanti al soggetto. Tutto ciò indica che l'attività neuronale di MT è necessaria ma non sufficiente perché venga percepita la direzione del moto del cinetogramma. Infatti, a bassi livelli di coerenza, l'informazione a disposizione sullo schermo in ogni dato istante è insufficiente; per eseguire il compito, la scimmia deve accumulare informazione nel tempo. È quindi necessario che un'altra popolazione neuronale, diversa da MT, processi l'accumulazione, o l'integrale, dell'attività neuronale registrata in MT.

Una serie di esperimenti di Bill Newsome, Michael Shadlen e collaboratori mostra che l'attività dei neuroni dell'area intraparietale laterale (area LIP) riflette proprio questo integrale. Tale regione cerebrale può essere considerata l'interfaccia tra il sistema visivo e quello oculomotorio. Così come i neuroni di V1 e di MT, anche i neuroni di LIP rispondono a stimoli presentati in una zona limitata del campo visivo. In aggiunta, i neuroni di LIP sono attivi se la scimmia esegue o pianifica un movimento oculare (o saccade) diretto verso quella stessa zona del campo visivo. Tale zona viene quindi chiamata il 'campo di risposta' (response field) del neurone. Negli esperimenti di Newsome, la direzione netta del moto può essere verso destra oppure verso sinistra, e la scimmia riporta la direzione percepita con una saccade. Per esempio, se la direzione netta del moto è verso destra, la scimmia fa una saccade verso un punto sulla destra dello schermo; se la direzione netta

del moto è verso sinistra, la scimmia fa una saccade verso un punto sulla sinistra dello schermo. I neuroni studiati da Newsome hanno il campo di risposta localizzato intorno a uno dei due punti verso il quale la scimmia fa la saccade (per es., il punto a destra). La loro attività durante il compito è illustrata nella fig. 3B, dove l'ascissa rappresenta il tempo di esposizione al cinetogramma e l'ordinata l'attività neuronale. I diversi colori delle curve si riferiscono a differenti livelli di coerenza (da 0% a ~50%). Le curve a sinistra della figura sono allineate con l'istante in cui il cinetogramma ha inizio, e sono interrotte in corrispondenza della saccade della scimmia. Le curve a destra sono allineate con l'istante in cui la scimmia muove gli occhi. Le curve continue si riferiscono a saccades dirette verso il campo di risposta, quelle tratteggiate a saccades dirette fuori dal campo di risposta. Guardando in particolare le curve continue a sinistra, si può osservare che l'attività neuronale cresce durante l'esposizione al cinetogramma. Soprattutto si nota che la velocità con la quale essa aumenta dipende dal livello di coerenza del cinetogramma: per alti livelli di coerenza l'attività neuronale cresce rapidamente, mentre per bassi livelli lo fa lentamente. In ogni caso, la curva si interrompe – cioè la scimmia indica la direzione percepita – quando l'attività neuronale di LIP supera una certa soglia (ca. 55 spikes/sec).

Se intendiamo il processo percettivo che ha luogo quando la scimmia osserva il cinetogramma come un processo decisionale nel quale l'animale deve decidere in che direzione percepisce il moto, la risposta neuronale di LIP può essere interpretata come legata allo stato decisionale della scimmia. In ogni istante, l'attività neuronale in LIP riflette l'evidenza accumulata in favore di una certa percezione, e quando quest'evidenza supera una certa soglia la scimmia indica la propria percezione. In questo senso, Shadlen e Newsome concludono che l'attività di LIP rappresenta la base fisiologica di un processo di decisione percettiva. Risultati analoghi sono stati ottenuti più recentemente per altre modalità sensoriali, in particolare per il tatto.

2. Selezione del movimento

La selezione del movimento è storicamente considerata il processo decisionale per eccellenza, in buona parte perché nello studio del comportamento animale l'atto motorio è in definitiva l'unica risposta misurabile. Per studiare le basi fisiologiche della selezione del movimento, si usano paradigmi sperimentali nei quali un animale deve scegliere tra un numero limitato di atti motori permessi. Per esempio, in una famosa serie di esperimenti di Paul Glimcher e colleghi, soggetti-scimmia scelgono tra due possibili movimenti oculari. Questi esperimenti, che hanno dato luogo a un importante tentativo di sintesi teorica, sono per molti versi simili a quelli di Newsome e Shadlen, salvo che in questo caso lo stimolo visivo non è ambiguo. Durante le registrazioni, la scimmia fissa inizialmente un punto al centro di uno schermo. Successivamente, un pallino

rosso e uno verde appaiono a destra e a sinistra del punto di fissazione e, dopo un certo intervallo, la scimmia indica la sua scelta con una saccade verso uno dei due (fig. 4A). In un primo esperimento, ai due pallini sono associate diverse quantità di succo di frutta. Per esempio, in una condizione, la scimmia riceve 0,26 ml di succo di frutta per la scelta del rosso e 0,09 ml di succo di frutta per la scelta del verde. Questa condizione dura per circa cento prove, dopo di che le quantità associate ai due pallini cambiano. Nella condizione successiva, la scimmia riceve, per esempio, 0,09 ml di succo di frutta per la scelta del rosso e 0,26 ml di succo di frutta per la scelta del verde. Anche questa condizione dura per circa cento prove, dopo di che le quantità associate ai due pallini cambiano di nuovo. In ogni sessione sperimentale, la scimmia viene testata in sei o sette condizioni diverse. Dal punto di vista comportamentale, si osserva che le sue scelte seguono la variabilità delle condizioni, nel senso che, in ogni condizione, l'animale sceglie di solito il pallino al quale è associata una maggiore quantità di succo di frutta.

In parte sulla scia dei lavori di Newsome e Shadlen, Glimcher e colleghi hanno concentrato le loro registrazioni fisiologiche sui neuroni dell'area LIP, ponendo sempre uno dei due pallini al centro del campo di risposta del neurone la cui attività veniva registrata. La fig. 4B illustra il principale risultato di questi esperimenti. Il pannello di destra mostra l'attività di un particolare neurone registrata in due differenti condizioni, nelle quali la saccade verso il campo di risposta 'vale' 0,26 ml (linea nera) oppure 0,09 ml (linea grigia). Si può chiaramente notare che il neurone si attiva in entrambe le condizioni, ma che la risposta è molto più pronunciata quando la quantità di succo di frutta è maggiore. Variando sistematicamente le condizioni sperimentali, si osserva una relazione lineare tra l'attività di ciascun neurone di LIP e la quantità di succo di frutta associata alla saccade corrispondente (fig. 4C). In questo senso, si può dire che la risposta dei neuroni di LIP è modulata dal valore associato al corrispondente movimento oculare.

Questo risultato viene confermato ed esteso da altri esperimenti, nei quali ai due pallini è associata la stessa quantità di succo di frutta, che viene però rilasciata con probabilità diverse. In un esperimento, le probabilità associate a diversi colori variano da una condizione all'altra, analogamente a come variavano le quantità nell'esperimento iniziale. Per esempio, in una certa condizione ai pallini rosso e verde sono rispettivamente associate probabilità pari a 0,8 e 0,2, in un'altra condizione le probabilità sono 0,3 e 0,7, ecc. Dal punto di vista comportamentale, si osserva che la scimmia sceglie generalmente il pallino associato alla probabilità più elevata. Coerentemente, la risposta dei neuroni di LIP varia linearmente con la probabilità, essendo più pronunciata quando la probabilità di ricevere il succo di frutta è più alta. Si può quindi affermare che l'attività dei neuroni di LIP è modulata dal valore atteso che è associato al corrispondente movimento oculare. Ulteriori esperimenti, nei quali le probabilità associate variano da prova a prova, mostrano che tale attività è modulata anche dal valore relativo. In altre parole, date una determinata quantità di succo di frutta e una determinata probabilità di ottenerlo con una certa saccade, la risposta del neurone corrispondente è più pronunciata se altre

potenziali saccades valgono poco o nulla (ovvero se non c'è competizione), ed è invece meno pronunciata se altre potenziali saccades hanno valore confrontabile o maggiore.

Sulla base di questi risultati, Glimcher propone un modello per i meccanismi fisiologici della selezione del movimento. Ogni neurone di LIP ha un particolare campo di risposta e diversi neuroni hanno differenti campi di risposta, cosicché la popolazione di LIP nel suo insieme ricopre l'intero campo visivo. Tale popolazione può dunque essere considerata una sorta di mappa di tutti i possibili movimenti oculari. Le sue connessioni anatomiche indicano che essa contribuisce ai movimenti dell'occhio non direttamente, bensì attraverso proiezioni verso altre aree, in particolare FEF (Frontal eye fields) e SC (Superior collicoli), che a loro volta controllano i muscoli dell'occhio (fig. 5A). I risultati sperimentali descritti indicano che, almeno nelle particolari condizioni degli esperimenti, la risposta di ciascun neurone di LIP è proporzionale al valore atteso relativo che è associato al corrispondente movimento oculare. Secondo Glimcher, l'attività dei neuroni di LIP rappresenta quindi una forma di utilità fisiologica, che viene letta da aree successive (FEF e SC) e che in sostanza determina la selezione del movimento oculare (fig. 5B). Questo modello, sostiene Glimcher, potrebbe applicarsi anche in natura, dove le scimmie, così come gli umani, muovono gli occhi frequentemente (in media, circa tre volte al secondo) e spesso in modo inconscio. Infatti, ogni volta che compie un movimento oculare, l'animale deve in un certo senso scegliere dove guardare. Si può immaginare che la scelta avvenga sulla base di un valore assegnato a ogni possibile saccade, la quale potrebbe essere determinata attraverso la rappresentazione di un'utilità fisiologica in LIP. Inoltre, un meccanismo simile potrebbe prendere parte alla selezione di qualsiasi atto motorio. Infatti, così come l'area LIP rappresenta i movimenti oculari, altre regioni del lobo parietale rappresentano altri movimenti, per esempio quelli del braccio. Analogamente a quanto osservato in LIP, si può immaginare che l'attività dei neuroni di queste altre aree sia proporzionale al valore relativo associato al corrispondente movimento, e che ogni volta che viene eseguito un dato movimento esso sia determinato attraverso la rappresentazione di un'utilità fisiologica. In questo senso, quello proposto è un modello generale per i meccanismi fisiologici della selezione del movimento.

L'aspetto più ambizioso della proposta di Glimcher si basa sulla semplice osservazione che ogni scelta che compiamo, da cosa mangiare a pranzo ad acquistare una casa, si estrinseca in definitiva attraverso un atto motorio. Nella scelta di cosa mangiare a pranzo, potrebbe trattarsi per esempio del gesto con cui la mano indica un certo piatto sul menu del ristorante; nell'acquisto di una casa, dell'apposizione della firma sul contratto d'acquisto. In questo senso, i meccanismi neuronali che sottendono alla selezione del movimento, ovvero l'attività dei neuroni di LIP e di altre aree del lobo parietale, potrebbero rappresentare un percorso comune attraverso il quale vengono effettuate tutte le scelte, incluse, per l'appunto, quella del cibo e della casa. Naturalmente, molti passaggi di tale percorso comune rimangono oscuri: per esempio, dove e come venga determinato il valore associato a ciascun movimento. Ciò nonostante, se il modello nel suo insieme fosse

accurato, esso rappresenterebbe uno schema generale per tutti i processi di scelta, che sarebbero in buona sostanza tutti processi di selezione del movimento. Come quando di un puzzle si è ormai capito il senso della figura, rimarrebbero solo da incastrare alcuni pezzi.

Quest'ultima affermazione è per molti versi provocatoria. Infatti, molti fanno fatica a credere che decisioni come che cosa mangiare, che prendiamo consciamente e in media due o tre volte al giorno, vengano determinate attraverso gli stessi processi fisiologici e cognitivi che determinano la scelta di dove posare gli occhi, che facciamo inconsciamente e circa tre volte al secondo (cioè ca. 200.000 volte al giorno). Inoltre, dal punto di vista introspettivo, si ha la sensazione che molte decisioni possano essere prese indipendentemente dal particolare atto motorio usato per rivelarle. Per esempio, quando si sceglie un piatto dal menu di un ristorante, ci sembra che la nostra decisione non dipenda dal particolare gesto con il quale comunichiamo con il cameriere, sia esso un movimento della mano o la pronuncia di una particolare sequenza di parole. Usando un concetto proprio delle scienze cognitive e dell'intelligenza artificiale, sembra intuitivo pensare a un'organizzazione modulare, nella quale 'scegliere' e 'muovere' costituiscono processi mentali distinti. Al contrario, nel modello psicologico proposto da Glimcher, ogni decisione avviene attraverso una competizione tra diversi potenziali atti motori, cosicché la scelta e il controllo motorio sono inestricabili, ed esiste un unico processo mentale 'scegliere/muovere'.

A parte l'intuizione introspettiva, il modello di Glimcher inteso come modello generale per i meccanismi di scelta ha due punti deboli. Il primo, più teorico, è che da un punto di vista computazionale un'organizzazione modulare è certamente più efficiente. Il secondo, più empirico, è il fatto che lesioni del lobo parietale, cioè delle aree che secondo Glimcher sono preposte a tutti i tipi di scelta, portano tipicamente a deficit visuo-motori e non a deficit nei comportamenti di scelta (per es., pazienti affetti dalla sindrome di Balint ignorano un intero lato del campo visivo). Al contrario, deficit nei comportamenti di scelta si osservano tipicamente in pazienti con lesioni del lobo frontale. In conclusione, anche se l'ipotesi che la selezione del movimento avviene secondo i meccanismi proposti da Glimcher rimane valida, queste osservazioni mettono in discussione l'idea che tutti i processi di scelta siano processi di selezione del movimento. Questi argomenti suggeriscono invece che esistono diversi tipi di scelta, alcuni dei quali hanno meccanismi diversi da quelli preposti alla selezione e preparazione degli atti motori.

3. Scelta economica

Per 'scelta economica' si intende il processo mentale che ha luogo quando un individuo sceglie tra diverse opzioni, offerte in modo non ambiguo e che non prevedono una risposta esatta: la decisione dipende dalle preferenze soggettive. Il motivo per cui tale scelta è detta economica è che la disciplina che se ne è

tradizionalmente occupata è l'economia. Moltissimi comportamenti si possono descrivere come scelta economica, dalla scelta tra diversi cibi a quella tra possibili investimenti finanziari, oppure tra lavorare e guadagnare di più o godere di più tempo libero. Da un punto di vista cognitivo, secondo l'ipotesi più accreditata, la scelta economica richiede due processi mentali, nei quali il soggetto assegna mentalmente un valore alle opzioni offerte e poi decide di conseguenza.

Per quanto riguarda le basi fisiologiche della scelta economica, una letteratura piuttosto vasta indica che le aree più direttamente coinvolte sono quelle del lobo frontale, e in particolare la corteccia orbitofrontale (area OFC). Infatti, sia studi clinici su pazienti umani sia esperimenti sulle scimmie mostrano che lesioni corticali concentrate in OFC provocano deficit in vari comportamenti di scelta. Per esempio, i soggetti spesso presentano disturbi dell'alimentazione e/o iperoralità, eccessiva propensione al rischio, comportamenti impulsivi di vario genere, disturbi sociali e della personalità. Più recentemente, in studi che usano la risonanza magnetica funzionale (fMRI), è stato osservato che OFC si attiva specificamente quando le persone scommettono e quando guadagnano del denaro. Inoltre, esperimenti condotti da Edmund Rolls e colleghi sulle scimmie mostrano neuroni in OFC che rispondono al gusto di particolari cibi o bevande, ma che possono anche essere modulati dallo stato di sazietà. Per esempio, un neurone che risponde specificamente quando l'animale beve un certo succo di frutta può presentare un'attività molto ridotta dopo che di quel particolare succo di frutta è stata consumata una grande quantità (sazietà selettiva). Infine, uno studio di Leon Tremblay e Wolfram Schultz mostra che alcuni neuroni di quest'area rispondono quando le scimmie ricevono, tra due bevande, quella che è la loro preferita. Per l'esperimento vengono usati tre succhi di frutta: A, B e C, con ordine di preferenza $A > B > C$. In una particolare condizione, l'animale può ricevere A oppure B, e un neurone risponde quando riceve A ma non quando riceve B; in un'altra condizione, l'animale può ricevere B oppure C, e lo stesso neurone risponde quando riceve B ma non quando riceve C.

Esperimenti condotti più recentemente da Camillo Padoa-Schioppa e John Assad mostrano che l'area OFC è specificamente coinvolta nei processi di valutazione che hanno luogo durante la scelta economica. La fig. I.A illustra il paradigma sperimentale usato. Una scimmia fissa inizialmente un punto al centro dello schermo, e due serie di quadratini colorati appaiono a destra e a sinistra del punto di fissazione. Il colore dei quadratini indica il tipo di succo di frutta, e il loro numero indica la quantità. Per esempio, se vengono presentati tre quadratini verdi e un quadratino blu, la scimmia si trova a scegliere tra tre gocce di tè alla menta e una goccia di succo d'uva: dopo un intervallo, essa indica la propria scelta con un movimento oculare, e poco dopo riceve il succo corrispondente. Da una prova all'altra variano sia le quantità dei due succhi sia la configurazione spaziale. Per esempio, in alcune prove la scimmia sceglie tra sei gocce di tè alla menta e una goccia di succo d'uva, in altre tra una goccia di tè alla menta e due gocce di succo d'uva, ecc. Queste combinazioni rappresentano diversi tipi di offerta. Ogni tipo di offerta viene presentato in molte prove, nelle quali varia la

configurazione spaziale dei due succhi. Per esempio, in prove nelle quali l'animale sceglie tra tre gocce di tè alla menta e una goccia di succo d'uva, quest'ultimo viene offerto metà delle volte a destra e metà delle volte a sinistra.

Di solito, alle scimmie il succo d'uva (succo A) piace più del tè alla menta (succo B). In altre parole, se gli viene offerta una goccia di succo d'uva o una goccia di tè alla menta (offerta 1A:1B), esse scelgono quasi sempre il succo d'uva. D'altra parte, se il tè alla menta è in quantità sufficiente, le cose cambiano. Per esempio, se l'offerta è di una goccia di succo d'uva o di dieci gocce di tè alla menta (offerta 1A:10B) le scimmie scelgono quasi sempre il tè alla menta. Un tipico profilo di scelta è illustrato nella fig. I.B, dove l'ascissa indica il tipo di offerta e l'ordinata la percentuale delle volte in cui l'animale sceglie il succo B. Si osserva che, nella sessione, la scimmia sceglie una goccia di succo d'uva quando sono disponibili una o due gocce di tè alla menta, sceglie il succo d'uva circa la metà delle volte quando sono disponibili tre gocce di tè alla menta, e sceglie quasi sempre il tè alla menta se gliene vengono offerte quattro o più gocce. Questo profilo di scelta viene interpretato in termini di valore dei due succhi: nel caso specifico, il valore del succo d'uva è pari a tre volte quello del tè alla menta. Per una stima più accurata del rapporto di valore, si usa un fit sigmoidale e si assume una funzione di valore lineare, da cui si ottiene $1A=3B$. Tale equazione permette di mettere diverse quantità dei due succhi sulla stessa scala di valore: per esempio, se misuriamo i valori in unità di B, il valore di 1A è uguale a 3, il valore di 2A è uguale a 6, il valore di 1B è uguale a 1, il valore di 2B è uguale a 2, il valore di 3B è uguale a 3, ecc. Questo paradigma sperimentale permette quindi di studiare la rappresentazione neuronale del valore economico (naturalmente, il rapporto di valore tra i due succhi varia in sessioni diverse o se si usano succhi diversi).

Se la scelta tra differenti succhi di frutta avviene effettivamente attraverso un processo mentale nel quale la scimmia assegna in ogni prova un valore alle due quantità di succo offerte, ci aspettiamo che esistano dei neuroni che codificano il valore dei due succhi. Supponiamo, per esempio, che un certo neurone codifichi il valore scelto, indipendentemente dal tipo di succo. In questo caso, l'attività del neurone dovrebbe essere bassa quando l'animale sceglie 1A oppure 3B (valore scelto=3), un po' più alta quando esso sceglie 2A oppure 6B (valore scelto=6), e ancora più alta quando sceglie 3A oppure 10B (valore scelto=10). Gli esperimenti di Padoa-Schioppa e Assad mostrano che molti neuroni in OFC presentano precisamente questo tipo di risposta. Per esempio, la fig.I.C mostra l'attività di un neurone registrata nella stessa sessione in cui è stato osservato il profilo di scelta della fig. I.B. Con queste coordinate, l'attività del neurone segue una caratteristica curva a U. La stessa risposta neuronale si può anche studiare separatamente per prove nelle quali la scimmia sceglie il succo A o il succo B (fig. I.D): in questo caso, si può notare che il rapporto tra le due pendenze ($a_A/a_B = -2,8 \pm 0,7$) è statisticamente uguale al rapporto di valore tra i due succhi ($n=3,0$), come da attese se in effetti il

neurone codifica il valore del succo scelto. Analizzando l'attività del neurone direttamente in funzione del valore scelto si osserva una chiara relazione lineare (fig. I.E).

Da un punto di vista logico, si può osservare che l'attività neuronale che codifica il valore scelto rappresenta il risultato del processo decisionale. D'altra parte, se l'attribuzione del valore è un'operazione funzionale al processo di scelta, è necessario che la scimmia assegni un valore separatamente a ciascuno dei due succhi di frutta offerti. In questo senso, è particolarmente importante il fatto che nella stessa area OFC si trovino anche neuroni che codificano il valore di uno dei due succhi offerti indipendentemente dal valore dell'altro (e indipendentemente dalla scelta). Per esempio, l'attività del neurone della fig. 6A riflette il valore del succo B offerto indipendentemente dal valore del succo A; analogamente, altri neuroni riflettono il valore del succo A offerto indipendentemente dal valore del succo B. Si può dunque affermare che i neuroni di questo tipo rappresentano il valore offerto. Se contribuissero effettivamente alla scelta, essi dovrebbero essere attivi soprattutto mentre l'animale la compie: in effetti, dalle registrazioni fisiologiche risulta che i neuroni che codificano il valore offerto sono massimamente attivi subito dopo l'apparizione dell'offerta sullo schermo. In aggiunta ai neuroni che codificano il valore offerto e il valore scelto, un terzo tipo di neuroni studiati in OFC codifica il gusto del succo di frutta scelto (fig. 6B). Dalle registrazioni fisiologiche si evince che essi sono massimamente attivi subito prima e subito dopo il rilascio del succo. In conclusione, i tre tipi di neuroni osservati in OFC, che codificano rispettivamente il valore offerto, il valore scelto e il gusto, rappresentano tre aspetti del processo decisionale che è sotteso alla scelta tra diversi succhi e, più in generale, ai comportamenti di scelta economica.

La caratteristica fondamentale che distingue OFC da altre aree corticali è che i suoi neuroni non hanno un campo di risposta. In altre parole, la loro attività non dipende dalle contingenze sensoriali e motorie della scelta. Questo vuol dire che l'attività dei neuroni di OFC, che codificano per esempio il valore scelto, non varia se un certo succo di frutta è offerto a destra e l'altro a sinistra anziché viceversa. Analogamente, essa non varia se la scimmia ottiene un certo succo con un movimento oculare verso destra anziché verso sinistra. È particolarmente importante notare la differenza tra l'attività neuronale di OFC e quella di LIP. Infatti, così come le risposte neuronali di OFC, anche le risposte neuronali di LIP possono essere descritte in termini di valore del succo di frutta, ma in LIP il valore modula risposte che sono per loro natura sensoriali o motorie. Al contrario, l'attività dei neuroni di OFC codifica il valore economico in modo astratto, indipendentemente dal particolare atto motorio con il quale la scimmia rivela la sua scelta. Considerato in relazione al modello di Glimcher, ciò sembra indicare che, essenzialmente, la scelta economica sia una scelta tra beni e non una scelta tra atti motori. In questo quadro, i risultati sperimentali indicano che l'area OFC costituisce un substrato fisiologico del processo di assegnazione del valore attraverso il quale avviene la scelta economica.

LIBERTA' UMANA, CAUSALITA, NEUROETICA

XXI Secolo (2009)

di Mario De Caro

Libertà umana, causalità, neuroetica

Il dibattito su libertà e responsabilità tra filosofia e scienza

A chi domandasse se in questo primo scorcio di secolo la discussione sui venerandi enigmi del libero arbitrio e della responsabilità morale sia stata segnata da un tema dominante, non si potrebbe che dare una risposta affermativa. Una questione ha suscitato, infatti, grande attenzione: ovvero quali siano le conseguenze che, a livello filosofico, vanno tratte dagli ingenti risultati raggiunti negli ultimi anni dalle scienze che studiano il mondo umano, con particolare riguardo alle neuroscienze, le scienze cognitive e la sintesi neodarwiniana (che al suo interno, oltre alla teoria dell'evoluzione, include anche la genetica). Più specificamente, la domanda è se – e nel caso con quali modalità e in quale misura – le nuove acquisizioni scientifiche lascino ancora aperta la possibilità di concepire gli esseri umani come dotati di libertà e di responsabilità per le azioni che essi appaiono compiere intenzionalmente. È così tornato in auge un metodo classico di sviluppare la discussione filosofica sulla libertà e la responsabilità umane: il metodo che si impernia sul confronto delle nostre più profonde intuizioni riguardo a noi stessi con le acquisizioni scientifiche sulla struttura nomologico-causale del mondo naturale di cui, in quanto esseri fisici, anche noi facciamo parte. Tale metodo di indagine era già stato utilizzato da molti dei maggiori filosofi dell'età moderna (si pensi, per es., a René Descartes, a Gottfried Leibniz, a David Hume e a Immanuel Kant), ma negli ultimi anni del Novecento esso era stato sostanzialmente subordinato – secondo i canoni metodologici della filosofia analitica classica – a una diversa strategia, che s'incentrava sulla pura analisi concettuale e, dunque, ignorava le indicazioni che arrivavano dal campo scientifico.

Recentemente John R. Searle, autorevole pensatore contemporaneo, ha brillantemente condensato il senso della sfida che le scienze pongono attualmente alla filosofia. A giudizio di Searle, il compito fondamentale che i filosofi si trovano oggi davanti è quello di comprendere «come possiamo far rientrare la concezione di noi stessi in quanto agenti dotati di mente, e che possono creare significati e sono liberi e razionali, in un universo che consiste interamente di brute particelle fisiche, che non hanno mente, né significato, né libertà, né razionalità» (Searle 2007, p. 5). In altri termini, la questione fondamentale è come si possa conciliare la prospettiva secondo la quale il pensiero e l'agire umani vanno visti come manifestazioni dell'intrinseca

intenzionalità, della libertà e della razionalità della mente umana – una prospettiva propria del senso comune, della maggior parte della tradizione filosofica e di buona parte delle scienze umane – con il punto di vista adottato dalle scienze della natura, secondo cui gli esseri umani, essendo composti esclusivamente da particelle materiali, possono godere soltanto di proprietà che, in linea di principio, sono esplicabili per mezzo dell'apparato concettuale delle scienze della natura.

In questo saggio verranno prima discussi alcuni dei più significativi tentativi recenti di studiare la questione del libero arbitrio utilizzando, generalmente con ambizioni riduzionistiche o eliminazionistiche, lo strumentario teorico-sperimentale delle neuroscienze. Quindi si analizzeranno due ambiziose proposte di interpretazione delle categorie della morale con strumenti tratti dalle neuroscienze e dalla teoria dell'evoluzione. In conclusione, si prenderanno in esame alcune concezioni del libero arbitrio e della responsabilità morale che, pur assumendo un punto di vista naturalistico, non hanno ambizioni riduzionistiche né eliminazionistiche.

Libero arbitrio e neuroscienze

Il contributo più discusso tra quelli che le neuroscienze hanno apportato al dibattito sul libero arbitrio è certamente quello di Benjamin Libet, neurofisiologo scomparso nel 2007, già in servizio alla Stanford university. Questo scienziato ha fornito una presentazione complessiva di una lunga serie di pionieristici esperimenti da lui escogitati, al fine di studiare i meccanismi sottostanti ai processi decisionali e il rapporto tra il livello della decisione consapevole e quello dei processi neurali sottostanti (Libet 2004). Nel più celebre dei suoi esperimenti, Libet chiede al soggetto sperimentale di compiere un semplice movimento come la flessione di un dito; questo movimento deve essere compiuto spontaneamente, quando il soggetto abbia avvertito l'impulso a compierlo. Allo stesso tempo, il soggetto deve controllare, usando uno speciale orologio, il momento esatto in cui avverte l'impulso a flettere il dito; nel frattempo, un'apparecchiatura misura l'attività elettrica del suo cervello. Sulla base di centinaia di ripetizioni dell'esperimento, Libet ha osservato che il soggetto avverte l'impulso a flettere il dito circa 200 millisecondi prima dell'azione. Il dato più interessante, tuttavia, è che 550 millisecondi prima del compimento di quest'azione (e dunque 250 millisecondi prima che il soggetto sia consapevole dell'impulso a flettere il dito) nel suo cervello si verifica un rilevante incremento dell'attività elettrica (readiness potential, ovvero 'potenziale di prontezza') che, come mostra l'analisi statistica, è causalmente correlato all'esecuzione dell'azione. Tutto ciò dovrebbe indurci a concludere, secondo Libet, che l'atto volizionale in realtà ha una causa inconscia e, dunque, non può essere definito libero nel senso che la tradizione filosofica ha dato a questo termine. Al soggetto resta però, secondo lo scienziato, una

sorta di 'libertà di veto', nel senso che nei 200 millisecondi che separano la consapevolezza dell'impulso a piegare il dito e l'effettivo compimento di quest'azione l'agente può decidere di interrompere la catena causale che porterebbe a tale azione. Molti interpreti, tuttavia, sono stati più radicali di Libet e hanno concluso che i suoi esperimenti dimostrano, o almeno suggeriscono, l'infondatezza dell'idea tradizionale del libero agire nel suo complesso.

In realtà varie ragioni dovrebbero invece portarci a ritenere che gli esperimenti di Libet, per quanto interessanti e certo degni di analisi, non hanno conseguenze tanto ovvie per quanto riguarda la vexata quaestio del libero arbitrio. In primo luogo, bisogna considerare che un imponente orientamento della filosofia occidentale ha sostenuto che la libertà è perfettamente compatibile con la determinazione e, anzi, secondo molti, addirittura la richiede. L'argomento è, nella sostanza, semplice: ciò che veramente conta nella nostra intuizione della libertà è che il soggetto possa fare quanto vuole fare; e, in questo senso, è irrilevante che la sua volontà possa essere predeterminata (come, secondo molti, gli esperimenti di Libet dimostrerebbero). Contro questa concezione detta compatibilismo sono state mosse rilevanti obiezioni: ciò non significa però che la si possa placidamente ignorare, come fanno invece quanti sulla base degli esperimenti di Libet concludono immediatamente che la libertà umana non esiste. Un analogo discorso si può fare per la famiglia di concezioni del libero arbitrio che si richiamano a Kant: secondo questo punto di vista, il discorso sulla libertà non va collocato al livello fenomenico, ma a quello noumenico, e, a questo livello, la libertà si dimostra condizione di possibilità della responsabilità morale e dell'imperativo categorico e, dunque, la sua realtà non può in alcun modo essere posta in dubbio. In tempi recenti sono stati sviluppati autorevoli tentativi di riprendere questa concezione in una direzione naturalistica lato sensu (per es., da parte di Peter Strawson e John McDowell): e anche queste proposte non possono essere ignorate da chi voglia sostenere che gli esperimenti di Libet dimostrano l'illusorietà del libero arbitrio.

Ma alla tesi che gli esperimenti di Libet dimostrino l'illusorietà del libero arbitrio si possono muovere anche obiezioni più specifiche. Così, tali esperimenti si prestano ad alcune obiezioni metodologiche: è corretto, per es., equiparare la valutazione soggettiva delle esperienze coscienti con la misurazione oggettiva degli eventi neurali? E in che senso l'azione di piegare il dito 'spontaneamente' può essere considerata il paradigma dell'azione libera? Inoltre, come va interpretato esattamente il cosiddetto potenziale di prontezza? Tuttavia le obiezioni più importanti sono altre due. Innanzitutto, l'esperimento sembra presupporre un'analisi fenomenologica poco accurata dei processi volitivi. Come argomentato in modo convincente da Maxwell Bennett e Peter Hacker (2003), infatti, l'esperimento di Libet si incentra sul momento in cui nel soggetto insorge la consapevolezza dell'impulso a piegare il proprio dito: in realtà, tuttavia, il darsi di tale impulso non

è né condizione necessaria né condizione sufficiente di un'azione volontaria. Non è condizione necessaria (e dunque possono esserci azioni volontarie senza l'impulso a compierle) perché spesso quando compiamo volontariamente un'azione non avvertiamo alcun impulso a compierla: si pensi a quando, guidando, sterziamo per curvare, o a quando mangiando portiamo una posata verso la bocca o, ancora, a quando pronunciamo intenzionalmente una frase durante una normale conversazione.

D'altra parte, la presenza dell'impulso ad agire non è nemmeno sufficiente per agire volontariamente: spesso, infatti, un tale impulso precede azioni non volontarie, come quando ci viene da starnutire o quando sbadigliamo di fronte a un interlocutore poco brillante. Inoltre, chi interpreta gli esperimenti di Libet come se dimostrassero che le nostre azioni apparentemente volontarie discendono in realtà da cause inconscie dimentica che in realtà prima dell'attivazione del 'potenziale di prontezza' si dà un altro momento causalmente molto rilevante ai fini del compimento dell'azione, ossia il momento in cui il soggetto sperimentale accetta di seguire le indicazioni dello sperimentatore. Può darsi che anche tale momento abbia dei determinanti inconsci, ma nulla nell'esperimento di Libet prova che le cose stiano così; dunque, sino a quando non verranno portate prove in questo senso, i fautori del libero arbitrio saranno autorizzati a sostenere che, nella situazione sperimentale libetiana, una decisione volontaria del soggetto inizia la catena causale che lo porta a piegare il dito (in questo senso si potrebbe persino ipotizzare che sia quella decisione a causare l'insorgere del potenziale di prontezza).

Dopo gli esperimenti di Libet un gran numero di ricerche è stato dedicato, in campo neurofisiologico, a temi legati alla questione del libero arbitrio e alla dinamica dei processi decisionali. Molto discusso, in questo senso, è stato il volume *The illusion of conscious will* (2002) dello psicologo della Harvard university Daniel M. Wegner; una concezione per molti aspetti simile a quella di Wegner, ma con molta attenzione alla teoria dell'evoluzione oltre che alle neuroscienze, è stata sviluppata da Daniel C. Dennett (2003). La tesi di Wegner è che l'esperienza fenomenologica della volontà cosciente – per mezzo della quale noi ci consideriamo autori delle nostre azioni – è in realtà ingannevole, nel senso che noi ci illuderemmo di causare le azioni che compiamo, ma l'efficacia causale sarebbe propria soltanto dei processi cerebrali che per loro natura sono, e sempre rimarranno, inconsci. A sostegno della sua tesi, Wegner porta un notevole numero di esperimenti: nondimeno, va notato, la sua rimane un'audace estrapolazione dal particolare al generale. Inoltre, per buona parte, i casi studiati da Wegner riguardano (come già capitava nel caso degli esperimenti di Libet) situazioni estremamente artificiali, costruite in laboratorio, e non situazioni reali, in cui i processi di deliberazione riguardano cose che ci stanno veramente a cuore e che dunque ponderiamo attentamente. Un'altra obiezione contro le argomentazioni di Wegner è che egli assume una tesi fenomenologicamente dubbia, poiché

attribuisce al senso comune (e alla filosofia) la tesi che le azioni volontarie siano causate dagli stati coscienti che abbiamo nel momento in cui pensiamo di causarle. In realtà, una cosa sembra essere la causazione volontaria delle azioni, un'altra la nostra consapevolezza di tale causazione: e non è affatto detto che le due coincidano.

Ancora più recentemente, nella linea delle ricerche di Libet è stato pubblicato su «Nature neuroscience» un articolo, già molto dibattuto, scritto da un gruppo di scienziati che operano in Germania e in Belgio, dal significativo titolo di Unconscious determinants of free decisions in the human brain (Soon, Brass, Heinze et al. 2008). Questi autori hanno studiato, sulla base di una sofisticata tecnica statistica (la pattern recognition), l'attività cerebrale associata con una scelta, apparentemente libera, operata dai soggetti sperimentali. Già il brevissimo abstract dell'articolo mostra le ambizioni riduzionistiche che animano questo progetto; esso, anzi, può essere considerato una sorta di manifesto dell'intero movimento che si propone di dare conto in maniera esaustiva della questione del libero arbitrio con strumenti di carattere neurofisiologico. Tale abstract merita dunque di essere riportato nella sua interezza: «C'è stata una lunga controversia concernente la possibilità che le decisioni soggettivamente 'libere' siano determinate da attività cerebrali che le precedono. Noi abbiamo verificato che il risultato di una decisione può essere codificato nell'attività cerebrale della corteccia prefrontale e parietale sino a 10 secondi prima che esso raggiunga la consapevolezza. Questo ritardo presumibilmente riflette l'operazione di una rete di aree di controllo di alto livello che cominciano a preparare una decisione imminente ben prima che essa raggiunga la consapevolezza» (p. 543).

La conclusione degli autori è che la nostra decisione conscia, e apparentemente libera, di compiere un'azione può essere preceduta di ben dieci secondi da eventi cerebrali che determinano causalmente quell'azione (con un intervallo temporale, dunque, di più di trenta volte maggiore di quello ipotizzato da Libet). L'esperimento che gli autori portano a sostegno della loro tesi richiedeva ai soggetti sperimentali di rilassarsi mentre tenevano il dito indice e quello medio poggiati su due pulsanti e fissavano il centro di uno schermo, sul quale scorreva una serie di lettere dell'alfabeto. Veniva poi richiesto loro di scegliere liberamente, quando avvertivano un impulso in tal senso, se premere il pulsante destro o quello sinistro, verificando quale lettera appariva in quel momento sullo schermo; nel frattempo gli sperimentatori misuravano, per mezzo della risonanza magnetica funzionale (fMRI, functional Magnetizing Resonance Imaging), la risposta emodinamica del cervello dei soggetti. Il risultato sorprendente è stato che, sulla base della risposta emodinamica cerebrale che anticipava ampiamente (sino a 10 secondi) la decisione consapevole da parte dei soggetti, gli sperimentatori erano in grado di prevedere con un margine del 60% di accuratezza se la loro decisione sarebbe stata quella di premere il bottone destro o il sinistro.

Questo esperimento è certamente molto interessante e, da un punto di vista metodologico, più sofisticato degli esperimenti, comunque importanti, di Libet. La questione da porsi, tuttavia, è se esso sia in grado di provare, o almeno di suggerire, che le nostre intuizioni sul libero arbitrio siano illusorie, come abstract e titolo dell'articolo suggeriscono. In proposito, peraltro, va ricordato che la tesi secondo cui tutto il nostro agire è causalmente determinato (ovvero è necessitato dagli eventi del passato in accordo con le leggi di natura) è stata maggioritaria nel mondo occidentale sin da quando si affermò la nuova scienza di Galileo Galilei e di Isaac Newton. In questo senso, allora, se anche si dimostrasse che le decisioni degli esseri umani sono determinate neurofisiologicamente, le implicazioni che ciò avrebbe per il libero arbitrio non sarebbero inattese. D'altra parte, anche per questo articolo si può ripetere quanto detto riguardo a Libet, ossia che vi sono tradizioni filosofiche assai importanti, per le quali l'eventuale determinazione del nostro agire non comporterebbe ipso facto la negazione della nostra libertà. Ma alla tesi principale dell'articolo si possono opporre anche obiezioni più specifiche. In primo luogo, come detto, secondo questo esperimento un determinato pattern neurologico predice con un 60% di accuratezza se la decisione che i soggetti prenderanno sarà quella di premere il bottone destro o il sinistro. Tale risultato è evidentemente significativo, dal punto di vista statistico; tuttavia, esso non sarebbe di per sé in grado di compromettere l'idea di libertà, persino se i risultati di questo esperimento si potessero applicare a tutte le decisioni umane (il che, naturalmente, è da dimostrare). Non vi è infatti alcuna ragione di credere (né mai nessun filosofo lo ha fatto) che gli esseri umani siano integralmente liberi, né che tutte le scelte che essi compiono possano dirsi libere. Tutt'al più, l'esperimento mostra che nel 60% dei casi i soggetti sono determinati nelle loro decisioni; resta dunque un 40% di indeterminazione: una percentuale comunque rilevante della quale chi voglia continuare a difendere l'idea della libertà può tranquillamente accontentarsi. Inoltre, contro la tesi dell'articolo si può avanzare un'importante critica già accennata a proposito degli esperimenti di Libet, ovvero che le relative situazioni sperimentali non sono affatto tipiche delle azioni libere. Anche durante questo esperimento, infatti, veniva chiesto ai soggetti sperimentali di notare quando essi sentivano l'impulso a premere il bottone destro oppure quello sinistro. Come già detto nel caso di Libet, tuttavia, una corretta analisi fenomenologica mostra che sentire l'impulso a compiere una determinata azione non è né condizione necessaria, né condizione sufficiente per compiere un'azione libera.

L'indagine scientifica sulla moralità

Che la neurofisiologia possa contribuire in modo decisivo a illuminare senso, modalità e finalità dell'etica è tesi che incontra oggi grande fortuna. Anzi, come capita spesso nei casi in cui si intravede la possibilità di

notevoli successi conoscitivi, questo progetto ha anche dato vita a una nuova scienza, o meglio alla ridefinizione di una scienza appena nata: la neuroetica. Quando fu fondata, all'inizio degli anni Novanta del secolo scorso, la neuroetica non era altro che una branca della bioetica applicata alle neuroscienze: affrontava cioè temi di ovvia rilevanza morale, come i limiti che la chirurgia e le terapie neurologiche non dovrebbero superare. Oggi, tuttavia, molti pensano che si dovrebbe dare alla neuroetica un senso ulteriore, legandola ai temi della riflessione morale (Boella 2008). In questo senso, una posizione radicale è espressa da Michael Gazzaniga (2005) – neurofisiologo di fama internazionale per i suoi studi sui cosiddetti split brains e autorevole membro del Council on bioethics insediato dal presidente degli Stati Uniti George W. Bush – che ha esplicitamente sostenuto che la neuroetica è il campo in cui le questioni morali possono essere affrontate investigando i loro corrispettivi neurologici: «abbiamo bisogno di una bussola morale» ha dichiarato Gazzaniga in un discorso alla New York academy of sciences «e le neuroscienze hanno qualcosa da dire rispetto alle importanti questioni morali da cui tutti siamo toccati» (<http://www.nyas.org/publications/readersRport.asp?articleID=32>; 4 marzo 2009). Ambiziosamente, dunque, Gazzaniga non si propone unicamente di spiegare la genesi neurofisiologica delle pratiche morali (il che, in effetti, potrebbe anche essere un obiettivo ragionevole), bensì di contribuire, con la bussola delle scoperte neurofisiologiche, alla risoluzione dei dilemmi morali. Un tale progetto, tuttavia, si presta ad alcune rilevanti critiche di carattere filosofico.

In particolare, ignorando in buona misura il secolare dibattito sul libero arbitrio e la responsabilità morale, Gazzaniga afferma che presto – semplicemente guardando ai dati neurofisiologici – sarà possibile prevedere le decisioni e i comportamenti degli individui. E ciò, naturalmente, non potrà che scuotere la concezione tradizionale della responsabilità morale. In secondo luogo, egli ritiene che i correlati neurofisiologici dell'empatia e, in generale, dei comportamenti altruistici e morali, siano la chiave d'accesso per affrontare in modo fecondo le questioni dell'etica. Che l'etica abbia una base neurologica, in effetti, appare plausibile e gli studi sui neuroni specchio del gruppo parmense di Giacomo Rizzolatti, Vittorio Gallese e Leonardo Fogassi aprono orizzonti molto interessanti sul tema. La domanda che dobbiamo porci, tuttavia, è se la determinazione dei correlati neurologici dell'empatia e degli atteggiamenti morali possa contribuire a risolvere i dilemmi morali. Consideriamo un esempio. Alcuni individui pensano che l'aborto sia immorale, mentre altri che non lo sia. Concediamo pure (anche se ciò non pare affatto scontato) che un giorno giungeremo a determinare che tra gli individui appartenenti ai due gruppi contrapposti ci sia una specifica e osservabile differenza cerebrale: come potremo stabilire, guardando i loro tracciati neurali, chi ha ragione e chi ha torto? Come faremo cioè a determinare se l'aborto è moralmente lecito oppure no? Alle tesi di Gazzaniga, in sostanza, viene spontaneo opporre un dubbio: non sarà che il conflitto tra il concetto di responsabilità morale, da una parte, e l'apparato concettuale delle neuroscienze, dall'altra, deriva semplicemente dal fatto che l'etica appartiene a un piano di

discorso incommensurabile al discorso delle scienze naturali, ma non per questo illegittimo? Ogni naturalista, è ovvio, concorda sulla tesi che i nostri giudizi etici siano espressione di pensieri che sono dotati di una qualche base neurofisiologica (che, è ovvio, sarebbe del massimo interesse conoscere): ma perché mai la base neurofisiologica dovrebbe esaurire il significato di quei giudizi? In definitiva, sebbene si pregi di riferirsi agli stupefacenti progressi delle neuroscienze, il riduzionismo neuroetico di Gazzaniga sembra informato a uno scientismo obsoleto.

Insieme al coté neurofisiologico, il tentativo di colonizzare l'etica da parte dei fautori di una filosofia improntata alla scientificità assume però anche una diversa forma, che si basa sull'ipotesi che l'ambito dell'etica possa essere illuminato ricorrendo al ricco strumentario che oggi ci è messo a disposizione dalla teoria dell'evoluzione. Anche in questa impresa, peraltro, è stata mobilitata una scienza di assai recente sviluppo, la psicologia evoluzionistica (che, va detto, di per sé ha credenziali ben più solide della neuroetica di Gazzaniga). Tale prospettiva – sviluppata inizialmente da Leda Cosmides e John Tooby e ripresa attualmente da un gran numero di scienziati, filosofi e antropologi, come Dennett, Dan Sperber, Steven Pinker e Richard Dawkins – si propone di spiegare le proprietà e i meccanismi psicologici, nonché alcuni fenomeni culturali come l'etica e la religione, nei termini di predisposizioni specie-specifiche prodotte dalla selezione naturale. La psicologia evoluzionistica si accompagna con una concezione (detta atavismo) secondo la quale il cervello è un sistema fisico evolutosi sviluppando circuiti che i meccanismi della selezione naturale hanno 'selezionato', in quanto rivelatisi appropriati alle sfide del contesto ambientale. In particolare, il cervello degli esseri umani sarebbe strutturato ancora oggi in moduli specializzati nella risoluzione delle sfide che Homo sapiens doveva affrontare nella savana (Tooby, Cosmides 2005). Secondo questo punto di vista, allora, il cranio umano ospita ancora oggi una mente dell'Età della pietra: e se questo fosse corretto le ricadute per gli ambiti delle attività umane sarebbero ovviamente di notevole portata; e la morale, in questo senso, non farebbe eccezione. Molti progetti di ricerca sono stati dunque sviluppati nel tentativo di mostrare le radici evolutive della morale, talora (sebbene non sempre) con uno spirito fortemente riduzionistico. Un caso particolarmente interessante è offerto dallo psicologo della Harvard university Mark Hauser, autore di un best seller dal titolo *Moral minds. How nature designed our universal sense of right and wrong* (2006; trad. it. 2007).

A differenza di Gazzaniga, Hauser è molto prudente nel precisare che il suo studio ha soltanto carattere descrittivo: non ha dunque la pretesa di dare conto della componente normativa dell'etica. A suo giudizio, – piuttosto, quando si dà una spiegazione evolutiva di un determinato tratto comportamentale, è cruciale spiegare quali furono i vantaggi adattativi che permisero ai portatori di quel tratto di passare il test della selezione naturale. In effetti, è plausibile sostenere che la capacità di produrre comportamenti e giudizi morali

abbia potuto offrire notevoli vantaggi sul piano della coesione sociale, e dunque anche su quello della competizione evolutiva. Ma Hauser va oltre questa assai plausibile osservazione, quando afferma che esiste una sorta di innata e universale «grammatica della morale» (che egli ritiene analoga alla grammatica universale postulata da Noam Chomsky per la capacità linguistica): un articolato complesso di meccanismi che soggiacerebbe alla produzione dei nostri comportamenti e dei nostri giudizi morali. Tali meccanismi, secondo Hauser, sarebbero inconsci; però, al contrario dei fenomeni inconsci freudiani, essi rimarrebbero in linea di principio del tutto opachi ai tentativi di comprensione cosciente da parte dell'agente. In questa luce, allora, le spiegazioni che diamo dei nostri comportamenti e dei nostri giudizi morali sarebbero mere razionalizzazioni a posteriori, che ben poco avrebbero a che fare con i veri meccanismi causali che generano tali comportamenti e giudizi. In questa prospettiva, l'unico modo di comprendere i meccanismi della grammatica morale sarebbe dunque quello di ricorrere allo strumentario oggettivante delle varie scienze della natura: e in questo senso la teoria della selezione naturale potrebbe giocare un ruolo centrale. L'idea di Hauser, dunque, è che nel corso della storia dell'evoluzione i comportamenti e i valori morali siano stati selezionati per gli indubbi vantaggi adattativi che offrivano; in questo modo, così, tali comportamenti e valori si sarebbero iscritti nel codice genetico della nostra specie. Una comunità di egoisti morali, d'altra parte, non sarebbe sopravvissuta a lungo, mentre la solidarietà tra gli individui è un eccellente fattore di coesione e permette un ottimo adattamento alle pressioni ambientali. E in questo modo, per usare una terminologia che non è di Hauser, circa 50.000 anni fa Homo moralis avrebbe vinto la sua battaglia evolutiva contro Homo amoralis.

Secondo Hauser, l'idea della grammatica morale innata spiega perfettamente i comportamenti morali universali (quelli che sarebbero espressi, a suo giudizio, da precetti come: «comportati con gli altri nel modo in cui vorresti che gli altri si comportassero con te» e «non commettere adulterio»). D'altra parte, al di là di questi principi morali generalissimi, è un fatto che le varie culture si distinguono profondamente per i rispettivi insiemi di credenze etiche. Per Hauser, tuttavia, questo fatto non va visto come un'obiezione alla sua teoria, perché – esattamente come capita con la capacità linguistica universale, che prende forme anche molto diverse a seconda della comunità linguistica nella quale un individuo nasce – la capacità etica universale viene declinata diversamente a seconda dei contesti culturali in cui ci capita di venire educati.

Tutto ciò è intellettualmente molto stimolante; ci dobbiamo però chiedere quali fenomeni spieghi esattamente. Certamente sul piano della genesi delle capacità morali le tesi di Hauser non paiono affatto peregrine. Tuttavia spiegare la genesi di un fenomeno non equivale a spiegarne né il senso, né la portata; in effetti, quando Hauser tenta di porsi a questo livello 'alto' di spiegazione, le sue tesi paiono assai meno soddisfacenti. Innanzitutto, la

stessa analogia fondante dell'argomentazione di Hauser sembra molto debole: Chomsky ebbe buon gioco ad argomentare in favore dell'innatismo linguistico contro le concezioni comportamentistiche, perché poté apportare a proprio sostegno il celebre argomento della 'povertà dello stimolo', ovvero la tesi che il torrenziale output linguistico di un bambino che abbia iniziato a parlare non si può giustificare a partire dall'assai più esiguo input che il bambino riceve dal mondo esterno. In morale, però, non esiste qualcosa come la 'povertà dello stimolo': almeno sino all'età della ragione, infatti, noi semplicemente tendiamo a replicare le modalità di comportamento e di giudizio che ci vengono insegnate e che apprendiamo dall'esperienza.

In secondo luogo, un gran numero di dati antropologici mette in questione la tesi secondo cui esistono universali morali. Per es., come detto, secondo Hauser, un caso di presunto universale di questo tipo sarebbe il precetto «comportati con gli altri nel modo in cui vorresti che gli altri si comportassero con te»; ma in molte culture che incorporano elementi di razzismo questo non è affatto un precetto valido nel caso in cui 'gli altri' appartengano a un'etnia o a una cultura ritenute inferiori. Per fare un solo esempio tra i moltissimi possibili, nella *Politica* Aristotele – dando evidentemente voce a un sentimento comune nell'Attica del 4° sec. a.C. – accettava come pienamente lecita la possibilità che un persiano divenisse schiavo di un greco, mentre l'inverso sarebbe stato a suo giudizio contro natura, perché avrebbe sovvertito le gerarchie naturali; e un discorso analogo si potrebbe fare per un altro presunto universale morale quale «aiuta i bambini e i deboli» (un precetto il cui peso viene relativizzato da molte culture con modalità assai variabili rispetto al suo ambito di applicazione). In terzo luogo, se anche si concedesse che qualche universale morale esista veramente e che la grammatica morale sia in grado di darne adeguatamente conto, dovremmo ancora chiederci come mai tali universali siano violati con tanta frequenza. In realtà, un precetto come quello che chiede di comportarsi con gli altri come si vorrebbe che essi si comportassero verso di noi viene di fatto costantemente violato in gran parte delle società e delle civiltà; oppure si pensi, in questo senso, al precetto «non commettere adulterio» (anch'esso citato da Hauser come esempio di universale morale). La morale, certo, ci dice che un tale comportamento non dovrebbe verificarsi: ma in questo modo, appunto, siamo passati dal piano descrittivo a quello normativo, su cui programmaticamente (e saggiamente) Hauser dichiara di non volersi pronunciare.

C'è poi da considerare il fatto che molte volte le diverse culture giudicano diversamente quali comportamenti siano morali e quali no. Anche in questo caso meccanismi del tipo di quelli suggeriti da Hauser potrebbero, in effetti, giocare un ruolo, ma questi meccanismi, per ammissione dello stesso studioso, non sono affatto in grado di spiegare il contenuto di quei giudizi morali. Il piano su cui la sua spiegazione si pone, dunque, è tutt'al più quello delle *enabling conditions*, delle condizioni che rendono fisicamente possibile la produzione dei comportamenti e degli enunciati morali. Ma la lista delle *enabling conditions* delle pratiche morali ne

comprende di molto varie (è necessario che esista una comunità di individui; è necessario avere un apparato fonatorio adeguato per formulare linguisticamente i giudizi morali; è necessario che la specie umana non sia stata spazzata via da una glaciazione ecc.). E nessuna di queste condizioni è in grado di dare conto del contenuto specificamente morale di tali pratiche. A questo proposito, si può citare un'obiezione avanzata da Hilary Putnam (2004) contro tutti i tentativi di dare conto dell'ambito morale con spiegazioni naturalistiche come quelle di Hauser. Come possono tali concezioni, chiede Putnam, spiegare il passaggio che, attorno all'anno 1000 a.C., si ebbe da una famiglia caratterizzata da etiche incentrate sulle virtù guerresche (eroismo, fierezza, forza fisica ecc.) a una famiglia di etiche, come quelle orientali o per alcuni aspetti quella ebraica, che privilegiavano invece virtù come la compassione? Le teorie evoluzionistiche semplicemente non possiedono strumenti concettuali sufficienti per spiegare una differenza tanto cruciale. In generale, sembra che il tentativo di ricondurre l'etica a comportamenti altruistici istintuali filogeneticamente remoti può certamente avere validità nello spiegare la naturalezza dell'essere umano. Tuttavia quando tale riduzione viene concepita come esaustiva e senza residui, allora essa sembra lasciare fuori quanto di più importante vi è nell'etica.

D'altra parte, ogni tentativo di spiegare, a partire da categorie evolutive, il contenuto dei giudizi morali – e non solo la loro genesi – va incontro anche a un'importante obiezione di principio. Concediamo pure che il contenuto dei giudizi etici si riduca al fatto che le azioni che essi descrivono offrano un vantaggio evolutivo a chi le compie. Ora immaginiamo che tra centomila anni la specie umana sia evoluta in modo tale che tutti riterranno eticamente giusto uccidere i malati gravi (tale situazione non pare impossibile, perché certamente da questa pratica potrebbero derivare alcuni vantaggi per gli altri individui e per la specie nel suo complesso). Ebbene, non siamo forse nella condizione di dover dire che in quel caso l'evoluzione porterebbe all'affermarsi di valori etici errati? Potrebbe capitare insomma che tra il piano del dover essere (quello genuinamente morale) e quello dell'essere (quello dell'evoluzione) si crei uno scarto incolmabile. E questo mostra che il tentativo di ricondurre, senza residui, l'ambito dell'etica a quello dell'evoluzione è un classico esempio di quella fallacia naturalistica di cui già un secolo fa parlava George Edward Moore.

Concezioni antiriduzionistiche

Non tutte le attuali riflessioni sulla libertà e la responsabilità tentano di spiegare tali concetti con lo strumentario concettuale della neurofisiologia o della teoria dell'evoluzione. Nel già citato volume di J.R. Searle (2007), per es., viene elaborata una concezione che rientra in una famiglia detta libertarismo, per la quale da una parte la libertà umana è un dato di fatto e dell'altra è incompatibile con il determinismo. Concezioni di questo tipo devono dunque fare appello a qualche forma di causazione indeterministica oppure,

alternativamente, negare che il libero arbitrio possa essere compreso in termini causali. Secondo Searle, in particolare, quando si dà un'azione libera si presentano dei gap (vuoti o lacune) nella catena causale che a partire da certi stati mentali (desideri e credenze) porta al compimento di quell'azione, ovvero momenti indeterministici in cui non si danno condizioni sufficienti per gli eventi che seguiranno. In questo modo, per Searle, è possibile che nella catena causale intervengano momenti deterministici che fanno sì che a livello psicologico si possano prendere decisioni e compiere azioni, senza che l'agente sia causalmente determinato. Contro questa concezione si possono però muovere obiezioni abbastanza rilevanti. In primo luogo, essa si impegna pesantemente sul terreno empirico assumendo che nel cervello occorrono fenomeni indeterministici causalmente rilevanti (una tesi, questa, estremamente controversa). In secondo luogo, si può ripetere nei confronti di Searle un argomento classico, già proposto, per es., da Hume. In sé, infatti, il mero indeterminismo fisico – comportando la semplice casualità degli accadimenti – non sembra affatto garantire la libertà, e anzi secondo alcuni la rende impossibile. Se fosse vero l'indeterminismo, infatti, le azioni umane sarebbero fisicamente indeterminate; nulla, dunque, ne determinerebbe il verificarsi e, a fortiori, nemmeno gli agenti. Così, se fosse vero l'indeterminismo, gli agenti non potrebbero esercitare alcun controllo sulle proprie azioni; e dunque la libertà collasserebbe sul caso. E in effetti è innegabile che l'idea di libertà che ci sta a cuore (quella connessa all'autonomia degli esseri umani, alla loro responsabilità, retribuzione, dignità e razionalità) non possa essere confusa con l'idea di caso, di mera accidentalità. Searle, come altri autori che sviluppano concezioni simili, non pare disporre di repliche convincenti a questo argomento.

Una forma più radicale di libertarismo, detta agent causation (causazione dell'agente), riprende invece elementi delle concezioni di Aristotele, Thomas Reid e Kant. Secondo questo punto di vista, affinché le nostre attribuzioni di responsabilità morale siano legittime è necessario postulare che gli agenti godano di poteri causali peculiari e che essi non siano determinati nell'esercizio di tali poteri. In anni recenti, il più autorevole sostenitore di questa visione è stato il filosofo della Indiana university Timothy O'Connor (2000) che ha difeso una versione naturalisticamente orientata della causazione agentiva. In particolare, O'Connor si è ricollegato alla tradizione dell'emergentismo, la concezione secondo la quale ogni complesso organico è caratterizzato da proprietà 'emergenti', ovvero da proprietà la cui comparsa (sebbene dipenda dal darsi di specifiche condizioni fisico-chimiche) non può essere predetta né spiegata a partire dalle proprietà delle parti costituenti il complesso organico. In questo senso secondo il punto di vista dell'emergentismo, «il tutto è superiore alla somma delle parti». Secondo O'Connor, dunque, sebbene i peculiari poteri causali degli agenti dipendano, per la loro esistenza, dalle proprietà microstrutturali del cervello, tali poteri presentano caratteristiche irriducibili ai poteri causali del livello microstrutturale. È in questo modo che, secondo O'Connor, si spiega la possibilità della causazione top down, ovvero la possibilità che gli agenti hanno di modificare causalmente lo stato del

mondo senza essere in ciò determinati. Più precisamente, a suo giudizio, il possesso delle proprietà causali emergenti non produce direttamente effetti nel mondo fisico; piuttosto tale possesso mette l'agente nelle condizioni di determinare causalmente cambiamenti nel mondo, compatibilmente con le leggi della fisica. La libertà degli agenti, dunque, consisterebbe nella scelta su come e quando esercitare le peculiari capacità causali di cui essi dispongono. Lo stesso O'Connor, d'altra parte, riconosce che questo quadro è altamente speculativo e può essere contestato – e di fatto viene contestato – da due diversi punti di vista. Da una parte, a livello dell'analisi concettuale, molti filosofi criticano la tesi che il possesso di speciali poteri causali da parte degli agenti sia condizione necessaria del libero arbitrio. Dall'altra parte, a livello dell'analisi empirica, questa concezione della libertà è vincolata alla correttezza di una particolare ipotesi, che soltanto la ricerca empirica può, in linea di principio, valutare. A livello empirico, peraltro, O'Connor insiste che la sua ipotesi è suffragata dalla ricerca di una importante (sebbene minoritaria) parte del mondo scientifico contemporaneo: in effetti, alcuni importanti scienziati ed epistemologi – come Ilya Prigogine, Nancy Cartwright e alcuni biologi contemporanei – hanno presentato teorie secondo le quali i dati scientifici attualmente in nostro possesso non escludono affatto la possibilità che un quadro emergentistico, come quello delineato da O'Connor, possa essere corretto. In questa prospettiva teorica, la questione dell'emergenza, e con essa anche quella del libero arbitrio, potranno essere risolte soltanto quando arriveremo a disporre di una teoria complessiva del mondo naturale.

Una proposta in qualche misura simile a quella sostenuta da O'Connor è stata sviluppata da John Dupré (2001). Criticando fortemente il riduzionismo e lo scientismo di molte concezioni contemporanee, Dupré ha sviluppato un'altra concezione emergentistica, sostenendola sulla base di una concezione della scienza radicalmente empiristica, secondo i dettami della cosiddetta Scuola di Stanford (di cui fanno parte anche Cartwright, Ian Hacking e Peter Galison). La tesi di Dupré, in sostanza, è che il modo migliore di affrontare la questione del libero arbitrio è di inquadrarla in un contesto ontologico di tipo pluralistico, ma non dualistico in senso cartesiano: ovvero di assumere, da una parte, che la realtà è composta di livelli autonomi e irriducibili, caratterizzati da proprietà diverse, dall'altra che condizione necessaria (sebbene non sufficiente) dell'esistenza di tutte le entità, di qualunque livello, è che esse risultano dall'aggregazione originaria di particelle fisiche. Se ciò è vero, l'errore cruciale delle concezioni tradizionali è di cercare di ricondurre le nostre azioni al quadro della causalità fisica sottostante ai nessi causali che portano al compimento delle azioni (e in questo senso è irrilevante che tale rete sia concepita con un carattere deterministico oppure indeterministico). In realtà, secondo Dupré, lo stato della scienza contemporanea e una corretta analisi filosofica mostrano che non ci sono ragioni né empiriche né concettuali per pensare che la causalità sia ubiqua, e neppure per affermare che esistono leggi di natura universali e inderogabili. Con un atteggiamento empiristico radicale, Dupré guarda

piuttosto a ciò che le scienze naturali oggi effettivamente ci mostrano e conclude che le presunte ‘leggi naturali’ in realtà valgono soltanto per ambiti molto delimitati (per es., i movimenti dei corpi del Sistema solare) o in ambienti sperimentali estremamente artificiali. Insomma, secondo Dupré non c’è – al momento almeno – alcuna ragione empirica per concludere che le azioni umane facciano parte di un’universale rete causale retta da leggi fisiche ineludibili.

In questa prospettiva Dupré sviluppa e difende due tesi piuttosto eterodosse nel dibattito contemporaneo sul libero arbitrio. Innanzitutto egli sostiene che gli esseri umani, lungi dall’essere schiavi di un’onnivora causalità esogena, sono in realtà tra i pochi portatori di poteri causali genuini. Inoltre, secondo Dupré, la libertà umana può essere compresa soltanto considerando, senza illecite ambizioni riduzionistiche, il quadro dei contesti sociali, culturali e politici in cui noi esercitiamo la nostra peculiare capacità di agire responsabilmente. È in una prospettiva di questo genere – che riconosce legittimità conoscitiva, oltre che alle scienze naturali, alle scienze umane e al senso comune – che il pluralismo può esserci di aiuto ad affrontare un problema tanto complesso quanto lo è quello del libero arbitrio.

Anche contro il pluralismo emergentistico di Dupré, tuttavia, si possono muovere obiezioni sostanziali. In primo luogo, anche questa concezione presuppone tesi che empiricamente sono ben lungi dall’essere provate o persino corroborate come, per es., la falsità dei principi di conservazione della fisica. In secondo luogo, il pluralismo di Dupré è visto da molti critici come filosoficamente rinunciatario, perché nega che si possano dare spiegazioni complessive e unificanti della realtà naturale. Secondo altri, infine, questa concezione tenta di riportare in auge una forma di dualismo rispetto ai rapporti tra la mente e il corpo che la scienza avrebbe ormai reso del tutto obsoleta.

Va ricordato, poi, che non mancano oggi autori che hanno cercato di sviluppare teorie della libertà che appartengono alla concezione alternativa al libertarismo, ovvero al già citato compatibilismo, secondo il quale il libero arbitrio è perfettamente compatibile con il determinismo causale, se non lo presuppone addirittura. In questa prospettiva si collocano due importanti volumi, uno di Dennett (2003) e l’altro di Alfred Mele (2006), quest’ultimo, in particolare, si caratterizza per un programmatico pluralismo teorico: infatti, oltre a un modello compatibilistico del libero arbitrio, ne sviluppa anche uno libertario. Comunque, anche le concezioni compatibilistiche si trovano a dover affrontare alcune obiezioni estremamente insidiose, e in particolare il cosiddetto consequence argument (The Oxford handbook of free will, 2002). Alla luce delle difficoltà in cui si trovano oggi irrette tutte le principali concezioni del libero arbitrio, non sorprenderà che anche sul piano strettamente filosofico – oltre che su quello empirico, di cui si è già detto in precedenza – stiano diventando

sempre più comuni opzioni teoriche che denunciano tanto la nozione di libero arbitrio quanto quella di responsabilità morale come irrimediabilmente illusorie: e un ottimo esempio in questo senso è il volume di Saul Smilansky dall'esplicito titolo *Free will and illusion* (2000).

Complessivamente si può senz'altro dire che il dibattito attuale su libero arbitrio e responsabilità morale sia estremamente variegato e che, in questo contesto, si confrontino posizioni assai diverse tra loro, nessuna delle quali appare dominante. Su una tesi almeno la maggior parte degli autori sembra tuttavia concordare: ovvero che ai filosofi che si occupano di libertà e responsabilità non sia più consentito ignorare le ingenti acquisizioni che, sulla strada della comprensione della natura umana, ci vengono oggi dall'ambito scientifico.

Neuroscienze e Fenomenologia

XXI Secolo (2009)

di Vittorio Gallese

Neuroscienze e fenomenologia

Premessa

Uno degli obiettivi principali della ricerca contemporanea delle neuroscienze cognitive, cioè di quella branca delle neuroscienze che ha come oggetto di studio gli aspetti più sofisticati del nostro comportamento intelligente, è il progetto di naturalizzazione della cognizione o intelligenza sociale, consistente nella comprensione della natura dei processi neurali che regolano le relazioni interpersonali, l'intersoggettività. Il problema consiste nel capire quali sono i meccanismi nervosi che ci consentono di entrare in comunicazione con i nostri simili, di trasmettere loro i nostri desideri, le nostre credenze, le nostre intenzioni, e, contemporaneamente, comprendere ciò che gli altri fanno e perché lo fanno. Il fine ultimo di questo progetto è quello di chiarire la connessione tra i meccanismi di funzionamento del cervello e le nostre competenze cognitive sociali. Potremmo dire che uno degli interrogativi fondamentali cui Edmund Husserl (1859-1938), padre della fenomenologia, aveva cercato di dare una risposta, oggi può essere fatto proprio dalle neuroscienze cognitive: com'è possibile studiare la soggettività, l'approccio in prima persona alla realtà, in modo da poterla descrivere scientificamente senza limitarsi a comprenderla nel modo ineffabile dell'introspezione, che non consente la comunicazione oggettiva tipica della scienza?

Uno degli aspetti principali della corrente filosofica inaugurata da Husserl, e poi proseguita (Costa, Franzini, Spinicci 2002) secondo varie e differenti declinazioni – spesso in conflitto tra loro – da filosofi come Martin Heidegger, Maurice Merleau-Ponty, Paul Ricœur, Emmanuel Lévinas e Jan Patočka, consiste nell'indagare le modalità con cui si costituisce l'esperienza che facciamo del mondo, cercando di capire da dove traggano la propria validità e legittimità gli oggetti di tale esperienza, a partire da quelli più semplici, come le cose che popolano la nostra vita quotidiana (per es., tazze di caffè, lavagne ecc.), sino a quelli più complessi, come gli enti matematici, i principi della logica, le leggi scientifiche, ma anche e soprattutto gli altri soggetti.

Fino a che punto il pensiero fenomenologico può aiutare l'indagine neuroscientifica? E in che modo i risultati della ricerca neuroscientifica possono aiutare a riformulare l'approccio fenomenologico? È possibile oggi 'naturalizzare' la fenomenologia? Il presente contributo cerca di evidenziare, da un lato, come aspetti importanti della riflessione fenomenologica trovino attualmente evidenti riscontri nei risultati dell'indagine neuroscientifica, e, dall'altro, come i risultati della ricerca empirica condotta dalle neuroscienze cognitive possano fornire un valido contributo a una nuova formulazione, se non a una risoluzione, di svariati problemi di natura filosofica che per decenni sono stati e che tuttora sono al centro della ricerca fenomenologica.

Naturalizzare la fenomenologia o fenomenologizzare le neuroscienze?

Il tentativo di fare interagire neuroscienze e fenomenologia ha preso corpo in origine come progetto di naturalizzazione della ricerca fenomenologica (Naturalizing phenomenology, 1999), cui ha contribuito negli ultimi decenni, tra gli altri, Francisco Varela. Lo scienziato cileno acquisì notorietà internazionale per avere introdotto, assieme a Humberto Maturana, il concetto di autopoiesi, mediante il quale si sottolineava l'intrinseco nesso tra funzione e struttura, tipico di ogni forma vivente. Varela approfondì durante tutta la sua carriera il ruolo dell'interazione corpo-ambiente nei processi cognitivi, approdando infine alla formulazione programmatica di un nuovo approccio allo studio della coscienza e dei processi cognitivi definito neurofenomenologia. Secondo Varela (1996), la neurofenomenologia costituisce un approccio interdisciplinare allo studio del problema della coscienza capace di coniugare la metodologia empirica delle neuroscienze con l'analisi in prima persona propria della fenomenologia. In questo modo, secondo Varela, si può superare il dualismo corpo/mente, mettendo al centro dell'indagine empirica il Leib, cioè il corpo nel vivo dell'esperienza, che può essere considerato tanto dal punto di vista di un'analisi filosofica trascendentale quanto dal punto di vista dello studio empirico dei processi nervosi che lo sottendono.

Questa impostazione, tuttavia, può risultare assai problematica, se non addirittura paradossale, soprattutto se si tiene presente che a partire dai suoi esordi la fenomenologia si è programmaticamente contrapposta all'atteggiamento naturalistico della scienza psicologica, nonché, secondo molti, delle attuali neuroscienze.

Già prima di Husserl, Franz Brentano e Wilhelm Dilthey avevano posto al centro delle proprie riflessioni l'indagine dei vissuti (Erlebnisse) di coscienza. Il progetto originale della fenomenologia messo a punto da Husserl consisteva nel raffinare tale indagine nel tentativo di fare emergere la dimensione costitutiva dell'esperienza. Un tale progetto si proponeva come alternativo alle strategie epistemiche della coeva psicologia naturale, in particolare di quella fisiologica, incapaci di cogliere, a detta di Husserl, l'effettiva esperienza dello psichico ridotto a mera cosa tra le cose.

Queste polemiche non appartengono però solo al passato. La frattura suggerita da Dilthey tra scienze della natura e scienze dello spirito continua ad alimentare il dibattito contemporaneo nella filosofia della mente e all'interno delle scienze cognitive. Le stesse critiche mosse da Husserl al naturalismo, in nome dell'analisi fenomenologica della dimensione psichica e dei processi che sottendono il nostro avere a che fare con le cose del mondo (altri soggetti inclusi), possono in qualche misura essere applicate anche all'approccio neuroscientifico allo studio della natura umana.

Ciò è tanto più vero dopo lo sviluppo delle potenti tecniche di visualizzazione per immagini dell'attività cerebrale, come la risonanza magnetica funzionale o fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging). Tali tecniche ci hanno messo in grado di osservare direttamente ciò che accade nel nostro cervello quando siamo impegnati in una varietà di compiti percettivi, esecutivi e cognitivi. Dovremmo, tuttavia, essere consapevoli dei rischi derivanti dall'affidarsi ciecamente al solo potere euristico di queste tecniche correlative, se non supportate da un'analisi fenomenologica dei processi (percettivi, esecutivi e cognitivi) indagati, nonché dai dati neurofisiologici derivanti dallo studio diretto dell'attività dei singoli neuroni (per ora in gran parte esclusivamente possibile nel modello animale). I rischi di un mero approccio correlativo aumentano ulteriormente se i dati ottenuti con tali tecniche sono acriticamente utilizzati in modo strumentale per convalidare modelli e nozioni concernenti la natura della mente umana e il suo funzionamento ritenuti veri a priori.

Queste problematiche sono particolarmente evidenti nello studio della cognizione sociale. Trasferire automaticamente nel cervello un modello della mente umana quale quello proprio delle scienze cognitive classiche, che appiattisce ed esaurisce la cognizione sociale a una mera utilizzazione degli atteggiamenti

proposizionali della psicologia ingenua – credenze, desideri, intenzioni –, può condurci a risultati errati. È indubbio che nella vita quotidiana descriviamo il comportamento altrui utilizzando il vocabolario della psicologia ingenua. In questo modo possiamo, per es., dire che gli altri fanno certe cose sulla base di una data intenzione di farlo, a sua volta finalizzata al soddisfacimento di un desiderio, dato un certo sistema di credenze. Tuttavia, il linguaggio può ingannarci per via della sua ‘costitutività’, vale a dire per la sua capacità di fornire un apparente statuto ontologico ai concetti-parole che la psicologia ingenua normalmente impiega per descrivere le competenze mentalistiche che pensiamo di utilizzare ogni volta che vogliamo spiegare il comportamento altrui. Queste definizioni linguistiche non si traducono necessariamente in entità reali nel cervello.

Come ci insegna la fenomenologia, la cognizione sociale non è soltanto ‘metacognizione sociale’, cioè il pensare esplicitamente al contenuto della mente altrui per mezzo di simboli o di altre rappresentazioni in un formato proposizionale. Le possibilità di trovare nel nostro cervello aree contenenti i correlati neurali di credenze, desideri e intenzioni come tali sono probabilmente vicine allo zero. Una simile ricerca, dal vago sapore neofrenologico, costituisce una forma degenera di riduzionismo che non porterà da nessuna parte.

L’approccio standard delle neuroscienze cognitive alla cognizione sociale si trova a dovere fronteggiare un altro problema, quello della ‘fallacia mereologica’ (Bennett, Hacker 2003), vale a dire il problema di attribuire alle parti di un organismo caratteri che sono proprietà dell’intero. La mentalizzazione, il modo con cui spieghiamo il comportamento altrui attribuendo un ruolo causale a stati mentali interni, comporta un livello di competenza personale, e, per questo motivo, la mentalizzazione non può essere interamente ridotta all’attività subpersonale di gruppi di neuroni nelle aree della corteccia cerebrale, ipoteticamente specializzate nella ‘lettura della mente’. I neuroni, infatti, non sono agenti epistemici, non sono soggetti di conoscenza. I neuroni ‘conoscono’ solo il passaggio degli ioni attraverso le loro membrane. Il mentalizzare ha bisogno di una persona, che potremmo definire come un sistema d’interconnessione tra cervello e corpo che interagisce in modo situato con uno specifico ambiente popolato da altri sistemi cervello-corpo.

Ciò detto, resta da sottolineare come la via d’uscita al problema della fallacia mereologica non può consistere in un olismo indifferenziato in cui, per parafrasare il celebre detto hegeliano, tutte le parti sono ‘nere’. Piuttosto, è proprio attraverso l’analisi dei differenti meccanismi subpersonali che emergono quei diversi strati dell’esperienza che, pur non esaurendola in toto, consentono di descriverne progressivamente sia la genesi sia la struttura.

Da questo punto di vista, anziché naturalizzare la fenomenologia sembra più promettente fenomenologizzare le neuroscienze cognitive, utilizzando le sollecitazioni che provengono dalla riflessione fenomenologica, in particolare dalle analisi (husserliane, ma non solo) sul corpo vivo (Leib) e sul ruolo che esso ha nella costituzione della nostra esperienza nei confronti delle cose del mondo e degli altri. Ciò può consentire uno studio empirico della dimensione soggettiva e di quella intersoggettiva compiuto su basi nuove rispetto a quelle fin qui in gran parte adottate dalle neuroscienze cognitive. Soprattutto, senza sacrificare o eliminare gli aspetti in prima persona dell'esperienza che quotidianamente facciamo del mondo degli oggetti come di quello popolato da altri esseri umani. E senza minimizzare gli aspetti preteoretici e pragmatici della nostra relazione con il mondo.

Vale la pena di notare come, nell'ambito delle neuroscienze cognitive, si stiano cominciando a indagare i correlati neurali delle componenti 'incarnate' dell'esperienza del mondo, lasciandosi alle spalle l'equazione 'mente uguale theoria', già criticata, seppure in modi diversi, da Husserl e da Heidegger (Costa 1999, 2003; Leoni 2008). Stiamo cioè assistendo allo sviluppo di un approccio neuroscientifico che mette al centro della propria indagine il corpo vivo e i suoi correlati neurali sensorio-motori.

Azione, percezione e processi cognitivi

Il nostro rapporto con la realtà è in prima istanza mediato dai sensi, canali privilegiati d'accesso al mondo che ci circonda. Comunemente si crede che esista un mondo oggettivo cui siamo costantemente legati, ma da cui al contempo ci distinguiamo, in quanto soggetti di esperienze relative a quello stesso mondo. La nozione di soggettività diviene così una linea di demarcazione, una sorta di definizione per contrasto, da cui traiamo il nostro *ubi consistam*, il solido fondamento della nostra individualità personale.

Al pari del cognitivismo classico, le neuroscienze cognitive, fino a non molti anni fa, hanno privilegiato un modello secondo il quale funzioni come sensazione, percezione e controllo motorio sarebbero 'localizzate' in aree corticali diverse. Le sensazioni prevarrebbero all'interno delle aree sensoriali primarie; la percezione sarebbe il prodotto di aree 'associative', prevalentemente temporo-parietali, mentre i movimenti verrebbero controllati dalle aree motorie e premotorie localizzate nella porzione posteriore del lobo frontale, conosciuta anche come corteccia frontale agranulare. L'analisi del mondo esterno si configurerebbe così come un flusso di informazioni che procedono unidirezionalmente a partire dalle aree corticali posteriori (sensoriali e associative) per giungere poi alle aree motorie frontali dove si integrerebbero con il prodotto dell'elaborazione

della corteccia prefrontale, sede dei processi decisionali e, più in generale, degli aspetti più sofisticati della nostra intelligenza.

I dati sperimentali acquisiti nel corso degli ultimi venti anni ci consegnano, tuttavia, un quadro completamente diverso. La corteccia motoria del lobo frontale, così come quella parietale posteriore, sono costituite da un mosaico di aree distinte sul piano anatomo-funzionale che contraggono rapporti di connessione reciproca per costituire distinti circuiti cortico-corticali (Rizzolatti, Sinigaglia 2006; Gallese 2007b). Ognuno di questi circuiti parieto-premotori integra informazioni sensoriali e motorie relative a una certa parte corporea e ne assicura il controllo all'interno di distinti sistemi di coordinate spaziali di riferimento. Si assiste, in altre parole, a una molteplicità di 'rappresentazioni corticali' di distinti effettori che assolvono a funzioni diverse. Il concetto di rappresentazione va però ovviamente interpretato in modo del tutto diverso da una semplice equivalenza simbolica tra un'entità reale del mondo, oggettivamente data, e un codice computazionale, in potenza molteplicemente realizzabile in qualsivoglia diverso supporto. L'espressione «la rappresentazione corticale di...» va intesa in quello che potremmo suggerire essere il suo significato primigenio, vale a dire quello di «modello di controllo interattivo organismo-mondo». La radice del concetto di rappresentazione deve essere spogliata delle sue pur presenti connotazioni astratte – caratteristiche della concezione computazionale e simbolico-rappresentazionale della mente, propria del cognitivismo classico – e ricondotta invece nell'alveo di una nozione fenomenologicamente e biologicamente fondata, tesa a metterne in luce la natura preconettuale e prelinguistica.

Che cosa significa esattamente proporre una definizione di rappresentazione in termini di modelli di controllo delle svariate interazioni organismo-mondo? Significa metterne in luce i connotati relazionali e intenzionali. Se adottiamo questa prospettiva, rappresentazioni e modelli di controllo relazionali ci appaiono come due facce della stessa medaglia.

Partiamo da uno dei più semplici tipi di relazione che possiamo intrattenere con il mondo: compiere un'azione. Ogni azione, qualunque essa sia, è caratterizzata dalla presenza di uno scopo. Gli stessi movimenti, come flettere le dita di una mano, possono essere eseguiti per conseguire fini diversi (afferrare un bicchiere, grattarsi il capo, semplicemente giocherellare con le dita ecc). La presenza di scopi diversi fa di quegli stessi movimenti degli atti motori diversi. Quale relazione esiste tra il sistema motorio, i movimenti e gli atti motori? Fino a non molti anni fa il sistema motorio era concepito come un semplice controllore di movimenti. Recenti risultati sperimentali neurofisiologici ci inducono a pensare che il sistema motorio sia invece deputato al

controllo degli atti motori, avendo cioè alla base della propria organizzazione funzionale la nozione teleologica di scopo.

Una serie di esperimenti di registrazione di singoli neuroni dalla corteccia premotoria di scimmia condotta agli inizi degli anni Ottanta del secolo scorso da Giacomo Rizzolatti e dal suo gruppo di ricerca, portarono alla scoperta nell'area F5 di neuroni motori che vengono attivati non durante l'esecuzione di semplici movimenti, ma di atti motori, cioè di movimenti finalizzati al raggiungimento di uno scopo (Rizzolatti, Fogassi, Gallese 2002; Rizzolatti, Sinigaglia 2006). Nel caso specifico, si trattava di neuroni che scaricavano ogni volta che la scimmia afferrava un oggetto, indipendentemente dal fatto che lo facesse con la mano destra, sinistra, oppure con la bocca. Il movimento di ognuna di queste diverse parti corporee è controllato da gruppi muscolari del tutto diversi. Né muscoli né movimenti possono quindi costituire il comune denominatore alla base dell'attivazione di questa popolazione neuronale. Il comune denominatore è costituito dallo scopo di quegli atti motori. Un gruppo di neuroni premotori, tradizionalmente considerati parte della via finale comune mediante cui l'agente risponde a stimoli esterni o autogenerati eseguendo movimenti, si rivela pertanto correlato con il livello più astratto di descrizione del movimento: il suo finalismo.

Tale correlazione emerge ancora più chiaramente da una serie di esperimenti recenti (Umiltà, Escola, Intskirveli et al. 2008) in cui gli stessi neuroni premotori dell'area F5 sono stati registrati mentre la scimmia afferrava oggetti con una pinza che, per la sua particolare conformazione, la obbligava a eseguire movimenti della mano opposti a quelli normalmente impiegati per afferrare un pezzo di cibo; i neuroni per l'afferramento continuavano a scaricare durante l'afferramento del cibo con la pinza, anche se il conseguimento dello scopo era raggiunto impiegando movimenti del tutto opposti a quelli naturali. Questi risultati dimostrano che ciò che tali neuroni rappresentano/controllano è lo scopo dell'atto motorio e non i mezzi, cioè i movimenti, richiesti per conseguirlo. Tali scoperte permettono di chiarire empiricamente che cosa faccia di un movimento un'azione. Prima della concettualizzazione della nozione di scopo vi è un correlato pragmatico, un elemento portante del modo con cui il nostro sistema cervello-corpo struttura e organizza la nostra interazione con il mondo.

I neuroni canonici e il mondo a 'portata di mano'

In un'altra serie di esperimenti, il cui scopo originario era quello di indagare i meccanismi di integrazione visuo-motoria che presiedono ai movimenti finalizzati della mano quando afferra oggetti, si è scoperto che una parte dei neuroni premotori che codificano lo scopo di particolari atti motori, come afferrare o manipolare

oggetti, è attivata anche dall'osservazione degli stessi oggetti, pur in assenza di qualsiasi movimento attivo dell'animale. Questi neuroni (neuroni canonici) rispondono all'osservazione di oggetti le cui intrinseche caratteristiche fisiche (forma, grandezza) sono intimamente correlate con il tipo d'azione 'codificato' da quegli stessi neuroni (Rizzolatti, Fogassi, Gallese 20002; Rizzolatti, Sinigaglia 2006). L'aspetto più interessante dei neuroni canonici è costituito dal fatto che in una considerevole percentuale di essi è stata osservata una congruenza fra l'elevata selettività motoria per un particolare tipo di prensione (per es., opponendo il pollice al dito indice per afferrare oggetti piccoli) e la selettività 'visiva' dimostrata per oggetti di piccole dimensioni che, sebbene differenti per la forma (per es., cubo, cono e sfera), tuttavia, per essere afferrati, richiedono egualmente lo stesso tipo di prensione codificato da un punto di vista motorio dagli stessi neuroni. Queste risposte 'visive' non preparano né preludono ad alcuna azione verso gli oggetti che la scimmia si limita a osservare. Neuroni visuo-motori per l'afferramento di oggetti con la mano, con caratteristiche simili, sono stati descritti anche in un'area della corteccia parietale (area AIP, Anterior IntraParietal) reciprocamente connessa con l'area premotoria F5. Studi successivi hanno dimostrato che anche nel cervello umano l'osservazione di oggetti manipolabili determina l'attivazione delle cortecce premotorie e parietali posteriori. Quale interpretazione dare di queste risposte visive riscontrate in neuroni motori? È estremamente difficile interpretare queste risposte in termini esclusivamente sensoriali o motori. Gli oggetti la cui osservazione determina la risposta dei neuroni canonici vengono da essi analizzati in termini relazionali. L'osservazione di un oggetto, pur in un contesto che con esso non prevede alcuna interazione attiva, determina l'attivazione del programma motorio che si impiegherebbe se si volesse interagire con l'oggetto. Vedere l'oggetto significa simulare automaticamente cosa faremmo con quell'oggetto; significa simulare un'azione potenziale. In altre parole, gli oggetti non sono unicamente identificati, differenziati e categorizzati in virtù della propria mera 'apparenza' fisica, bensì anche in relazione agli effetti dell'interazione con un agente potenziale.

Secondo questa prospettiva, l'oggetto acquista così una valenza significativa solo in virtù della propria relazione dinamica con il soggetto/agente fruitore di questa relazione. Questa relazione dinamica è molteplice, come molteplici sono i modi con cui possiamo interagire con il mondo muovendoci in esso. La vicinanza con la prospettiva heideggeriana è qui palese. Secondo Heidegger, infatti, l'uomo è sempre contemporaneamente fuori di sé, presso le cose, e, in quanto trascendente a sé stesso, solo all'uomo si dischiude un mondo come progetto delle proprie azioni (Costa 2003). Siamo aperti al mondo e contemporaneamente siamo nel mondo perché nel mondo identifichiamo non esclusivamente qualche cosa che ci sta dinanzi, che sta davanti alla nostra mano (vor-handen), ma che è contemporaneamente a portata di mano (zu-handen). I risultati della

ricerca neuroscientifica mostrano come anche parte del mondo animale, segnatamente i primati non umani, condividano, almeno parzialmente con la nostra specie, questa caratteristica.

Rappresentazione come modello relazionale

Abbiamo fin qui parlato di azioni di afferramento che, tuttavia, non esauriscono la gamma delle possibilità di interazione con il mondo degli oggetti. Possiamo avvicinarci a un oggetto, allontanarcene, guardarlo da diversi angoli visuali girandogli attorno, oppure possiamo esplorarlo con il movimento dei nostri occhi. Tutte queste differenti modalità d'interazione sono accomunate da una stessa valenza relazionale. L'oggetto cessa di esistere per sé stesso, ed è per noi solo in quanto si trova a essere in un rapporto di relazione intenzionale, cioè pragmatica, con un agente potenziale.

Le invarianze del mondo degli oggetti non vanno quindi viste esclusivamente come caratteristiche intrinseche del mondo fisico, ma come il risultato dell'interazione peculiare con organismi agenti. Possiamo così definire il concetto di visione (e per traslazione anche quello delle altre modalità sensoriali) in un modo completamente nuovo. Da un lato, i processi sensoriali costituiscono il presupposto dell'azione, ma contemporaneamente sono anche parte dell'azione. Considerare azione e percezione come entità distinte, alla luce di quanto detto, risulta oltremodo problematico.

Qual è dunque il significato di un oggetto osservato? Una pura e semplice descrizione delle sue caratteristiche di forma, colore e dimensione, o non piuttosto anche la sua valenza intenzionale-relazionale, il suo carattere di complementarità dinamica con l'agente dell'esperienza percettiva che è sempre anche potenzialmente pragmatica?

L'aspetto intenzionale/pragmatico della nozione di rappresentazione, come attributo funzionale del sistema cervello-corpo dovrebbe risultare più chiaro. Potremmo avventurarci a ipotizzare speculativamente che le rappresentazioni mentali così intese non nascano – né in termini filogenetici né ontogenetici – con una specifica valenza linguistico-simbolica, ma che invece questa caratteristica sia una successiva acquisizione attraverso un processo di ridefinizione funzionale di processi già presenti per un altro scopo, quale, appunto, la modellizzazione del sistema-organismo nel corso delle sue relazioni pragmatiche con il mondo che non è mai completamente esterno.

Gli schemi sensorio-motori che caratterizzano i molteplici e paralleli circuiti corticali fronto-parietali cui abbiamo fin qui fatto breve riferimento, sono utilizzati non solo per generare e controllare i comportamenti finalizzati tipici della vita di relazione, ma anche per comprendere – già a un livello preconettuale e prelinguistico – il significato delle cose del mondo. Sia le cose, sia gli oggetti, acquisiscono la piena significazione solamente in quanto costituiscono uno dei poli di una relazione dinamica con il soggetto agente, che di questa relazione costituisce il secondo polo (Gallese 2006).

Questo tipo di impostazione ci consente di ridefinire la triade percezione, azione e cognizione in un'ottica nuova, e, soprattutto, in un'ottica compatibile con un'accezione 'incarnata', situata nel corpo, dei processi cognitivi, in linea di principio affine alla visione offerta dalla fenomenologia.

Abbiamo fin qui visto come la caratterizzazione di percezione, azione e processi cognitivi come processi distinti da un punto di vista funzionale e segregati da un punto di vista anatomico sia contraddetta dalle più recenti acquisizioni della ricerca neuroscientifica. Abbiamo analizzato in particolare le relazioni che intercorrono tra azione, percezione e conoscenza di oggetti inanimati. Vediamo ora come la stessa logica funzionale sia alla base anche di un aspetto tipicamente al centro della speculazione fenomenologica, la coscienza dell'azione.

Consapevolezza cosciente dell'azione

La consapevolezza dell'azione costituisce un aspetto particolare del più ampio ambito della coscienza di sé. La coscienza di sé, lungi dall'essere caratterizzabile come un'entità monolitica, ci appare come un processo dinamico, il risultato finale di un lungo processo di sviluppo che ha inizio dai primi mesi di vita. Tale processo si dispiega in una serie di stadi successivi che iniziano con la capacità mostrata dal neonato di discriminare tra le stimolazioni tattili del proprio corpo prodotte da propri movimenti e quelle prodotte da altri. La consapevolezza di sé si arricchisce, attorno ai due anni d'età, della capacità di autoriconoscimento allo specchio, e si completa attorno ai 5-6 anni d'età, quando il bambino diviene capace di concepire molteplici e diversificate prospettive di sé e degli altri. I risultati delle ricerche della psicologia dello sviluppo sono illuminanti in quanto mostrano come il sistema sensorio-motorio sia implicato fin dalla nascita nella costruzione di un 'sé' autocosciente. Ciò appare in maniera ancora più evidente se si prende in esame la consapevolezza cosciente dell'agire propria dell'individuo adulto. Il problema di come la consapevolezza dell'agire o dell'intendere di agire siano correlati all'attività cerebrale è stato recentemente studiato utilizzando svariate metodologie, che sono state applicate sia a soggetti sani sia a pazienti neurologici.

Molteplici studi mostrano che le aree corticali premotorie e parietali posteriori sono cruciali nel permettere non solo la coscienza di quando si agisce, ma anche di quando si intende farlo (per una rassegna, v. Gallese 2007b). È stato infatti dimostrato che la stimolazione magnetica transcranica (TMS, Transcranial Magnetic Stimulation) della corteccia motoria primaria rallenta l'inizio dell'azione, mentre lo stesso tipo di stimolazione applicato a un'area corticale premotoria localizzata nella superficie mesiale del lobo frontale, l'area motoria presupplementare (preSMA, Supplementary Motor Area), ritarda la consapevolezza di quando l'azione è stata eseguita. In uno studio fMRI condotto su soggetti adulti sani è stata rilevata un'attivazione dell'area preSMA e della corteccia contenuta nel solco intraparietale nel momento in cui i partecipanti allo studio dovevano valutare quando avevano deciso di agire.

Altri studi hanno dimostrato che l'inattivazione temporanea e reversibile della corteccia parietale posteriore mediante TMS ripetitiva in soggetti adulti sani, ne alterava la capacità di discriminare se i movimenti della mano che osservavano erano i propri oppure quelli di una mano altrui. Questi dati confermano il ruolo della corteccia parietale posteriore nella valutazione della congruenza tra le informazioni visive e motorie relative ai movimenti autogenerati. Ciò sembra suggerire che questa regione della corteccia cerebrale possa contribuire alla consapevolezza del proprio agire. Va aggiunto che quando parliamo di consapevolezza del proprio agire non ci riferiamo a un tipo di autocoscienza riflessiva, in cui l'agire è l'oggetto esplicito di una riflessione, ma a un livello di consapevolezza che ci rende semplicemente coscienti di essere gli autori delle nostre azioni.

In accordo con tale ipotesi, è stato dimostrato che pazienti neurologici con lesione parietale posteriore sono in grado di riferire quando hanno iniziato un'azione, ma non quando hanno formulato l'intenzione di agire. Ancora più interessanti sono i dati che hanno consentito di determinare quale lesione cerebrale produca la più grave forma di anosognosia relativa all'azione. L'anosognosia è una condizione patologica in cui pazienti affetti, per es., da un'emiplegia, negano ostinatamente il proprio deficit motorio, affermando di essere perfettamente in grado di muovere l'arto in realtà paretico. È stato dimostrato che le forme più gravi di anosognosia per la plegia sono prodotte da lesioni delle aree premotorie 6 e 44 di Brodmann. Ciò dimostra che le aree responsabili della programmazione dell'azione sono cruciali anche per la consapevolezza dell'essere agenti delle proprie azioni.

Un'ulteriore conferma viene dallo studio di pazienti congenitamente privi di arti che, tuttavia, possono sviluppare a livello fenomenico la sensazione di muovere un arto che non hanno mai posseduto, percependo cioè i movimenti o le sensazioni di un 'arto fantasma'. Un gruppo di psichiatri di Zurigo ha descritto un simile caso, dimostrando mediante fMRI che la percezione di movimento dell'arto fantasma è correlata con

l'attivazione della corteccia premotoria e parietale posteriore. La percezione di arti fantasma in soggetti congenitamente privi di arti può così essere spiegata come il correlato fenomenico della pianificazione del movimento di un arto che non c'è.

Ne risulta così che la consapevolezza cosciente dell'azione non è la prerogativa di un qualche sistema esecutivo centrale, gerarchicamente sovrapposto alle funzioni sensorio-motorie, né tanto meno una funzione fisiologicamente e anatomicamente separata dai processi motori oggetto di tale consapevolezza. La consapevolezza cosciente dell'azione è sottesa dall'attività degli stessi circuiti corticali parieto-premotori che ne controllano l'esecuzione.

Neuroni specchio e comprensione degli altri come simulazione incarnata

Il nostro cervello e quello dei primati non umani è dotato di neuroni – i neuroni specchio (Gallese 2006; Rizzolatti, Sinigaglia 2006) – localizzati nella corteccia premotoria e parietale posteriore, che si attivano sia quando compiamo un'azione noi stessi sia quando la vediamo eseguire da altri. I neuroni specchio rappresentano/controllano in modo costitutivo una relazione tra un agente e un oggetto: è la relazione agente-oggetto a suscitare l'attivazione, indipendentemente da chi ne sia l'autore.

Uno degli aspetti forse più interessanti di questa scoperta consiste nel fatto che, per la prima volta, è stato identificato un meccanismo neurale che consente una traduzione diretta fra la descrizione sensoriale (visiva e uditiva) di un atto motorio e la sua esecuzione. Questo sistema d'accoppiamento permette di tradurre i risultati dell'analisi visiva di un movimento osservato in qualcosa che l'osservatore è capace di comprendere, nella misura in cui l'osservatore già lo possiede pragmaticamente ed esperienzialmente. Percepire un'azione in quanto azione, e non semplicemente come una sequenza di movimenti, quindi comprenderne il significato per noi, equivale a simularla internamente, equivale cioè ad attivare il suo programma motorio pur in assenza dell'esecuzione fattuale di quella stessa azione. Ciò consente all'osservatore di utilizzare le proprie risorse neurali per penetrare il mondo dell'altro dall'interno, mediante un meccanismo automatico e prelinguistico di simulazione motoria. Questo meccanismo instaura un legame diretto tra agente e osservatore, in quanto le azioni osservate attivano il patrimonio neurale motorio dell'osservatore.

La ricerca condotta negli ultimi quindici anni ha dimostrato che distinte aree corticali premotorie e parietali posteriori del nostro cervello sono similmente attivate sia durante l'esecuzione attiva sia durante l'osservazione di: movimenti corporei (anche se del tutto privi di qualsiasi finalità); atti motori finalizzati

(afferramento, manipolazione, spostamento di oggetti); azioni comunicative (parlare, esprimere qualcosa con il corpo). Altre regioni cerebrali, come l'insula, l'amigdala e la corteccia cingolata anteriore, sono similmente attivate durante l'esperienza in prima persona di emozioni, come la paura o il disgusto, o sensazioni, come il dolore, e la loro osservazione negli altri (per una rassegna, v. Gallese 2006; Rizzolatti, Sinigaglia 2006). Il meccanismo di rispecchiamento non è dunque esclusivamente confinato al dominio delle azioni corporee, ma attiene anche agli aspetti visceromotori della vita di relazione, quali quelli attivati durante l'esperienza di emozioni o sensazioni come il dolore.

Il ruolo dei meccanismi di rispecchiamento, tuttavia, non si esaurisce qui. Recenti studi hanno mostrato come un altro aspetto della sfera somato-sensoriale, quello del tatto, mostri la stessa duplicità di attivazione.

Simulazione incarnata e comprensione delle sensazioni tattili altrui

Nel secondo libro delle *Ideen zur einer reinen Phänomenologie und phänomenologischen Philosophie* (1952; trad. it. 1965), Husserl sottolinea come il Leib, cioè il corpo vivo, o 'corpo proprio', rappresenti il fondamento costitutivo di ogni percezione, inclusa quella sociale. Oggi, grazie alla ricerca neuroscientifica, sappiamo perché. Un aspetto particolare del mondo dell'esperienza sociale, quello delle sensazioni somato-sensoriali, ne costituisce una chiara esemplificazione (per una rassegna, v. Gallese 2006).

Concentriamoci sul tatto. Le sensazioni tattili hanno uno status privilegiato nel conferire la qualità di persone agli attori che popolano il nostro mondo sociale. «Rimaniamo in contatto» è una comune espressione del nostro linguaggio quotidiano che esprime metaforicamente il desiderio di rimanere collegati a qualcuno. Esempi come questo mostrano come la sensazione tattile sia intrinsecamente legata alla dimensione interpersonale.

Si è scoperto che l'esperienza soggettiva di essere toccati in una parte del proprio corpo determina l'attivazione dello stesso circuito neurale attivato dall'osservazione del corpo di qualcun altro che viene toccato in una parte corporea equivalente. La regione corticale implicata è l'area somatosensoriale seconda (SII), comunemente ritenuta un'area esclusivamente tattile. Una stessa regione corticale è quindi attivata sia quando esperiamo in prima persona una sensazione tattile localizzata in una parte del nostro corpo, sia quando siamo testimoni di un'analogha esperienza sensoriale esperita da qualcun altro.

Un recente studio (Blakemore, Bristow, Bird et al. 2005) conferma ed estende questi risultati. È stato dimostrato che la differenza tra empatizzare con la sensazione tattile altrui e sentire davvero sul proprio corpo la stessa sensazione – ciò che prova un soggetto sinestesico – è la conseguenza di una diversa intensità dell'attivazione delle stesse aree corticali somatosensoriali. Ciò equivale a dire che il meccanismo di simulazione visuo-tattile, se non supera una certa intensità di attivazione, ci permette di capire che cosa si prova a essere toccati, quando il soggetto di tale esperienza è qualcun altro. Se questo meccanismo si attiva invece troppo, da una conoscenza empatica dell'esperienza altrui passiamo alla patologia propria dei pazienti sinestesici, nei quali ciò che viene esperito dall'altro non è soltanto compreso da colui che guarda, ma letteralmente percepito sul proprio corpo (Blakemore, Bristow, Bird et al. 2005).

I risultati congiunti di questi esperimenti suggeriscono che lo stimolo per l'attivazione di aree 'tattili' come SII e SI sia la percezione del tatto, indipendentemente dal fatto che a essere toccato sia un altro corpo umano oppure il nostro stesso corpo. Questa duplice modalità d'attivazione delle stesse regioni corticali somatosensoriali permette di supporre che la nostra capacità di riconoscere e comprendere direttamente e dall'interno le esperienze tattili altrui sia mediata ancora una volta da un meccanismo di simulazione incarnata.

Volendo allargare il discorso, potremmo spingerci a sostenere che una piena comprensione dell'altro in quanto persona non possa prescindere dal coinvolgimento in prima persona di un'esperienza tattile incarnata. Questa prospettiva ci porta nuovamente a Husserl e alla sua nozione di intersoggettività. Come più volte sostenuto dal padre della fenomenologia, è proprio la duplice natura del nostro corpo di soggetto senziente e oggetto delle nostre percezioni a consentirci la costituzione degli altri esseri umani come persone. Il corpo, simultaneamente percepito come oggetto esterno e come soggetto esperienziale, fonda sullo stesso substrato carnale il senso esperienziale di personalità che attribuiamo agli altri. Siamo così in grado di derivare dai comportamenti altrui il senso interno delle esperienze e delle motivazioni che ne stanno alla base, grazie al fatto che questi comportamenti percepiti attivano lo stesso meccanismo funzionale grazie al quale noi stessi ci esperiamo come persone.

È interessante sottolineare a questo proposito come anche gli studi della psicologia dello sviluppo ci conducano ad analoghe conclusioni. Come abbiamo precedentemente illustrato, il bambino mostra segni di autocoscienza non riflessiva ben prima dei due anni di età, quando cioè si riconosce allo specchio, occasione che evoca anche una tipica emozione autocosciente quale quella dell'imbarazzo. Infatti, appena dopo la

nascita, il neonato è già in grado di discriminare sensazioni tattili autoprodotte da quelle originate dal contatto con oggetti esterni.

Già a partire dalle prime settimane di vita i neonati sviluppano la capacità di riconoscere invarianze e regolarità multimodali nelle proprie esperienze sensorio-motorie. Sono tali invarianze multimodali a garantire la specificazione di sé come entità distinta dal mondo circostante. In particolare, l'esperienza della doppia sensazione tattile prodotta dal contatto tra la mano del neonato (ma forse già anche del feto) e il proprio volto sembra svolgere un ruolo guida nella specificazione di questa primordiale fase della costruzione del sé. Il corpo e le esperienze da esso generate appaiono così intrinsecamente legati allo sviluppo cognitivo e allo sviluppo psicologico dell'individuo.

Uno sguardo neurofenomenologico al linguaggio

Abbiamo fino a ora riassunto alcuni aspetti della contemporanea ricerca neuroscientifica relativa ad aspetti importanti della relazione interpersonale quali azioni, emozioni e sensazioni. Ma non si può parlare d'intersoggettività prescindendo dal linguaggio. L'intima natura del linguaggio e il processo evolutivo che lo ha prodotto sono materia di un acceso dibattito.

Considerare la cognizione sociale come una facoltà incarnata e situata, dischiude alle neuroscienze la possibilità di studiare il linguaggio in modo nuovo. Seguendo la prospettiva fenomenologica impariamo che il linguaggio è una facoltà sociale nella quale l'azione svolge un ruolo cruciale.

In particolare, Heidegger ha mostrato che il linguaggio è significativo perché rivela e dischiude possibilità di azioni contestuali. Il significato emerge da un mondo storico peculiare al quale gli esseri umani sono collegati attraverso le loro interazioni quotidiane. Il linguaggio è di conseguenza ontologicamente di natura pratica. Termini come concetti e pensieri, secondo Heidegger, possono essere compresi come originantisi nella nostra esperienza pratica del mondo. Questo è ciò che Heidegger vuol dire affermando che il significato ha le sue radici nell'ontologia dell'essere-nel-mondo. L'essere nel mondo precede la riflessione (Costa 2006).

La nostra comprensione del significato di una parola come tavolo non deriva dal nostro uso di un gioco linguistico, il quale, al massimo, può specificare quando applicare una data parola come un'etichetta a un dato oggetto nel mondo. Il significato di 'tavolo' deriva dal suo uso, da ciò che noi possiamo fare con esso, cioè dalle molteplici e correlate possibilità di azione che esso evoca.

Con l'avvento del linguaggio, e ancora di più con l'invenzione della scrittura, il significato si è amplificato come se si fosse liberato dalla dipendenza da specifiche istanze di esperienza reale. Il linguaggio connette tutte le possibili azioni all'interno di una rete ed espande il significato di esperienze individuali situate. Il linguaggio evoca la totalità delle possibilità per l'azione che il mondo ci richiede, e struttura l'azione all'interno di una rete di significati interrelati. Abbracciando questa prospettiva, ne consegue che se confiniamo il linguaggio al suo solo uso predicativo, reifichiamo una parte consistente della natura più 'vera' e originaria del linguaggio. La nostra comprensione delle espressioni linguistiche non è solamente un'attitudine epistemica, è un modo di essere. Il nostro modo di essere, a sua volta, dipende da ciò che facciamo, da come lo facciamo, e da come il mondo ci risponde.

Un ulteriore contributo al chiarimento della relazione esistente fra linguaggio, azione ed esperienza è stato dato dalla fenomenologia ermeneutica elaborata da P. Ricœur. Secondo Ricœur, il linguaggio è in primo luogo e soprattutto discorso, e dunque il legame mimetico tra l'azione del dire e l'azione effettiva non è mai completamente reciso. Lo sviluppo ermeneutico della fenomenologia nell'approccio di Ricœur connette l'intenzionalità al significato: il senso logico del linguaggio deve essere fondato in una nozione più ampia di significato che è coestensiva alla nozione d'intenzionalità. Ricœur sviluppa la storica dicotomia introdotta in linguistica fra lingua e parola e traccia un'importante distinzione tra il linguaggio formale studiato dalla linguistica e il discorso, e soffermandosi particolarmente sulla sua forma originale: il linguaggio parlato. Secondo Ricœur, il discorso deve essere considerato come un evento che accade nel tempo e nello spazio a un parlante, il quale parla di qualcosa a qualcuno. Attraverso il discorso, il linguaggio acquisisce un mondo situato. È nel discorso che tutti i significati sono veicolati, quindi il discorso non soltanto ha un mondo ma ha un altro, un'altra persona, un interlocutore a cui è indirizzato.

L'approccio proposto dalla fenomenologia lega il linguaggio all'azione all'interno di un contesto intersoggettivo, suggerendo che l'indagine neuroscientifica di ciò che il linguaggio è, e di come funziona, dovrebbe cominciare dal dominio dell'azione. Questa indagine ha già prodotto risultati notevoli. Il sistema dei neuroni specchio fornisce un meccanismo neurale che sembra giocare un ruolo importante nella cognizione sociale, così che esso sembra essere un buon candidato anche per fondare la natura sociale del linguaggio.

Un numero crescente di prove mostra che gli esseri umani, quando elaborano il linguaggio, attivano il sistema motorio per mezzo della simulazione motoria ai vari livelli che tradizionalmente descrivono il linguaggio. Va aggiunto che non è ancora chiaro in quale misura questi livelli possano essere concepiti come distintamente

rappresentati in parti diverse del cervello. Ci limiteremo a una rapida trattazione del rapporto tra simulazione motoria e comprensione del contenuto semantico di una parola, un verbo o una proposizione (per una trattazione degli aspetti fonico-articolatori e sintattici, v. Gallese 2007a).

Simulazione motoria e semantica del linguaggio

L'approccio del cognitivismo classico al linguaggio ha tradizionalmente sottolineato che il significato di un enunciato, indipendentemente dal suo contenuto, è compreso sulla base di rappresentazioni mentali simboliche amodali. Un'ipotesi alternativa sostiene, invece, che la comprensione del linguaggio sia basata sull'incarnazione (embodiment). L'ipotesi circa il ruolo dell'incarnazione nella comprensione del linguaggio prevede che, quando i soggetti ascoltano parole o frasi riferite ad azioni, il loro sistema di neuroni specchio dovrebbe essere modulato e che l'effetto di questa modulazione dovrebbe influenzare l'eccitabilità della corteccia motoria primaria, e quindi l'esecuzione dei movimenti che ricadono sotto il suo controllo. Numerose evidenze sperimentali dimostrano che è così. È stato dimostrato che l'ascolto di frasi riferite ad azioni compiute con la mano o con il piede modula in modo specifico l'eccitazione dei muscoli e i tempi di risposta degli stessi effettori. L'elaborazione di frasi che descrivono azioni attiva settori diversi del sistema motorio, a seconda dell'effettore usato nell'azione di cui si sente parlare.

Alcuni studi fMRI, inoltre, hanno dimostrato che l'elaborazione di materiale linguistico allo scopo di scoprirne il significato attiva le regioni del sistema motorio corrispondenti al contenuto semantico elaborato. La lettura silenziosa di parole relative ad azioni della faccia, del braccio o della gamba attiva settori diversi delle aree premotorie corrispondenti alla parte del corpo cui attiene il significato dell'azione descritta dalle parole lette. Anche l'ascolto di frasi che esprimono azioni eseguite con la bocca, la mano o il piede produce l'attivazione di settori diversi della corteccia premotoria, a seconda dell'effettore usato nell'espressione linguistica dell'azione che è stata ascoltata. I settori che risultano attivati corrispondono, seppure grossolanamente, a quelli attivi durante l'osservazione delle azioni compiute con la mano, la bocca e il piede.

Questi dati suffragano l'ipotesi che la simulazione motoria – e il sistema dei neuroni specchio a essa sotteso – siano coinvolti non solo nella comprensione di azioni osservate, ma anche nell'analisi di parole o frasi riferite ad azioni. La precisa rilevanza funzionale del coinvolgimento della simulazione motoria dell'azione nella comprensione del linguaggio rimane da chiarire. Tuttavia, numerosi studi recenti dimostrano che la simulazione è specifica, automatica e con una dinamica temporale compatibile con un suo ruolo nel processo di comprensione.

La simulazione incarnata

Abbiamo fin qui caratterizzato svariati aspetti della cognizione sociale che, se indagati al livello subpersonale proprio delle neuroscienze, mostrano un sostrato funzionale comune: il meccanismo che abbiamo definito come «simulazione incarnata» (embodied simulation, Gallese 2006, 2007a). Un meccanismo che, secondo questa ipotesi, ci conferirebbe la possibilità di comprendere direttamente e senza alcuna mediazione teorica molteplici aspetti dell'agire ed esperire altrui, per così dire, 'dall'interno'.

La simulazione incarnata non è una prerogativa funzionale dell'azione motoria, ma si estende anche ad altri aspetti della relazione interpersonale quali emozioni, sensazioni e comunicazione linguistica. I risultati empirici fin qui esposti sembrano suggerire che la simulazione incarnata costituisca una caratteristica funzionale di base del cervello dei primati, uomo compreso.

Un vantaggio offerto dalla presente ipotesi consiste nel suo carattere di estrema parsimonia. Se tale ipotesi è corretta, un singolo meccanismo – la simulazione incarnata – è in grado di fornire un sostrato funzionale comune ad aspetti differenti dell'intersoggettività. È un processo funzionale che caratterizza la vita mentale, in quanto produttore di contenuti ricchi di significato. Ma è altresì incarnato non solamente in quanto sub-personalmente realizzato a livello neuronale, ma soprattutto perché utilizza preesistenti modelli delle interazioni tra il sistema cervello-corpo e il mondo, implicando forme prelinguistiche di rappresentazione.

Il sistema della molteplicità condivisa

La costituzione dell'identità sé-altro è cruciale per lo sviluppo di forme più articolate e sofisticate d'intersoggettività. Questa relazione d'identità, trasversale a tutte le forme di relazione interpersonale, è stata definita come sistema della molteplicità condivisa (shared manifold, Gallese 2006). Secondo quest'ipotesi, è il sistema della molteplicità condivisa che rende possibile il riconoscimento degli altri umani come nostri simili, che promuove la comunicazione intersoggettiva, l'imitazione e l'attribuzione di intenzioni agli altri, o almeno le forme più elementari di tale attribuzione, nonché la comprensione del significato delle sensazioni ed emozioni esperite dagli altri.

Questo sistema è stato definito operazionalmente a tre diversi livelli: fenomenico, funzionale e subpersonale. Il livello fenomenico è caratterizzato dal senso di familiarità, dall'impressione soggettiva di essere parte di una

più larga comunità sociale composta da altri individui simili a noi. Tale livello è condizione necessaria per costituire con l'altro una relazione empatica. Le azioni eseguite, le emozioni e le sensazioni esperite dagli altri acquistano per noi un significato in virtù della possibilità che abbiamo di condividerle esperienzialmente, grazie alla presenza di un comune formato neurale di rappresentazione prelinguistico. Quando entriamo in relazione con gli altri, non siamo intenzionalmente diretti al contenuto di una percezione con lo scopo di categorizzarla. Ci troviamo invece in una relazione di consonanza intenzionale con le relazioni intenzionali espresse da chi ci sta di fronte. Grazie alla consonanza intenzionale, l'altro diviene un altro sé come noi.

Il livello funzionale è rappresentato dalla simulazione incarnata, la modalità 'come se' d'interazione con il mondo, applicata al mondo degli altri. Ogni modalità d'interazione interpersonale condivide il carattere relazionale. Nel sistema della molteplicità condivisa la logica operativa relazionale produce l'identità sé/altro, permettendo al sistema di identificare coerenza, predicibilità e regolarità, indipendentemente dal fatto che la sorgente risieda in noi o negli altri.

Il livello subpersonale è infine costituito dall'attività di una serie di circuiti neurali con proprietà funzionalmente simili a quelle istanziate dai neuroni specchio. L'attività di questi circuiti neurali a sua volta è interconnessa con una serie di cambiamenti di stato corporei a più livelli. Il sistema neuronale specchio è il correlato subpersonale della condivisione multimodale dello spazio intenzionale. Questo spazio condiviso ci consente di apprezzare, esperire e comprendere le azioni che osserviamo, e le sensazioni ed emozioni che riteniamo esperite dagli altri.

Ciò ovviamente non implica che noi esperiamo gli altri come esperiamo noi stessi. L'identità sé/altro costituisce solo un aspetto dell'intersoggettività. Come ha sottolineato Dan Zahavi (2001), secondo Husserl è il carattere d'alterità dell'altro che fornisce oggettività alla realtà. La qualità della nostra esperienza vitale (*Erlebnis*) del 'mondo esterno' e il suo contenuto sono condizionati dalla presenza di altri soggetti che risultano intelligibili, pur mantenendo la propria alterità. Il carattere di alterità dell'altro può essere identificato anche al livello subpersonale descritto dalle neuroscienze, prendendo in considerazione, per es., il fatto che i circuiti corticali attivati quando noi agiamo non sono mai completamente identici a quelli che si attivano quando agiscono gli altri, o considerando la diversa intensità d'attivazione dei circuiti corticali attivati quando esperiamo un'emozione o una sensazione rispetto a quando invece a esperirle è qualcun altro.

La simulazione incarnata e il sistema della molteplicità condivisa da essa generato certamente non costituiscono l'unico meccanismo funzionale alla base dell'intersoggettività. Il significato degli stimoli sociali

può essere compreso anche sulla base dell'elaborazione cognitiva esplicita delle loro caratteristiche percettive contestuali, sfruttando una conoscenza già acquisita su aspetti rilevanti della situazione da analizzare. La nostra capacità di attribuire false credenze agli altri, le nostre più sofisticate abilità metacognitive, probabilmente comportano l'attivazione di vaste regioni del nostro cervello. Oggi però sappiamo che questi settori cerebrali certamente includono il sistema sensorio-motorio.

Verso un modello neurofenomenologico dell'intersoggettività

Il modello neurofisiologico di molti aspetti di base dell'intersoggettività succintamente riassunto in questo saggio mostra indubbe assonanze con il modello di empatia che si è venuto a delineare all'interno della tradizione fenomenologica. Husserl ha più volte messo in evidenza il ruolo svolto dal corpo in azione nei processi percettivi. Volendo utilizzare una terminologia contemporanea, potremmo dire che, secondo Husserl, non può esservi percezione dell'altro senza una consapevolezza del proprio corpo agente. In base alla prospettiva fin qui enunciata, potremmo aggiungere che la consapevolezza del proprio corpo agente non può essere disgiunta dai meccanismi che presiedono al controllo dell'azione, e che questi meccanismi giocano un ruolo cruciale nella relazione empatica. Secondo quanto sostenuto da Husserl ciò che rende intelligibile il comportamento degli altri è il fatto che il loro corpo non è meramente esperito come un oggetto materiale (Körper), ma come qualcosa di vitale (Leib), qualcosa di analogo all'esperienza che abbiamo del nostro corpo in azione. L'empatia s'intreccia profondamente con la nostra esperienza del corpo proprio, ed è questa esperienza che ci permette di riconoscere gli altri non come corpi fisici dotati di una mente, ma in quanto persone come noi.

La relazione tra corpo proprio e intersoggettività diviene ancora più esplicita nelle opere di Edith Stein e Maurice Merleau-Ponty. Nel libro *Zum Problem der Einfühlung* (1917; trad. it. 1985), Edith Stein chiarisce come il concetto di empatia non possa essere conchiuso in una pura e semplice partecipazione alle emozioni e ai sentimenti degli altri. Esiste una connotazione più fondamentale del concetto di empatia: l'altro è esperito come un altro essere come noi attraverso la percezione di una relazione di somiglianza. Una componente importante di questa relazione di somiglianza con l'altro risiede, secondo la Stein, nella comune esperienza dell'azione. La ricerca neuroscientifica mostra che questa relazione di somiglianza affonda le sue radici ed è generata dal meccanismo 'come se' della simulazione incarnata.

Nella *Phénoménologie de la perception* (1945; trad. it. 1965) Merleau-Ponty sostiene che il senso dei gesti altrui non è dato, ma compreso, cioè ricatturato dall'azione dell'osservatore. Secondo Merleau-Ponty, la

difficoltà maggiore risiede nel concepire questo meccanismo senza però confonderlo con un'operazione cognitiva. Possiamo affermare che ciò continua a risultare molto difficile da capire anche agli inizi del nuovo secolo, quando l'ancora dominante paradigma cognitivo si ostina a identificare l'intersoggettività come ennesimo ed esclusivo ambito di applicazione della *theoria*. Merleau-Ponty attacca l'equivalenza cartesiana tra vedere e pensare, mettendo in evidenza che chi osserva e chi è osservato sono parte di un sistema dinamico governato da regole di reversibilità. La scoperta dei neuroni specchio offre una sponda empirica a questa concezione dell'intersoggettività vista come reciprocità e correlazione tra il sé e un altro da sé che è contemporaneamente per molti versi e in primis un altro me stesso.

Negli ultimi cinquant'anni, spesso il mondo fenomenologico, nel tentativo di difendere una presunta ortodossia della propria tradizione di pensiero, ha privilegiato un approccio storico-esegetico, chiudendosi contemporaneamente a un confronto con le scienze della mente e del cervello. In questi anni assistiamo invece a un rinato interesse nei confronti della ricerca empirica neuroscientifica. L'immagine dell'uomo che scaturisce dal pensiero di Husserl, ancor più se riletta alla luce delle scoperte in ambito neuroscientifico tra cui quelle qui brevemente presentate, diviene oggi di stringente attualità.

Nell'attuale periodo storico caratterizzato dal riemergere prepotente di particolarismi identitari etnico-religiosi, riaffermare con Husserl l'universalità dell'empatia, l'*Einfühlung*, come uno dei meccanismi che garantiscono l'attribuzione all'altro dello statuto di umanità, ci sembra un ottimo punto di partenza non solo per costruire un dialogo tra fenomenologia e neuroscienze, ma anche per mostrare la rilevanza etica della ricerca condotta in entrambi questi ambiti. Come sottolineato da Husserl, vi è un'esperienza originaria che tutti noi facciamo dell'altro, che prescinde dal suo status socioeconomico, culturale, religioso o politico. La natura dell'altro come altro me stesso sgorga dalla funzione costitutiva e genetica del Leib, generatore della nostra esperienza vivente della realtà.

Ciò detto, è indubitabile che l'universalità dell'esperienza dell'altro come altro me stesso sia la base di partenza, ma anche che non esaurisca necessariamente la complessità della dimensione intersoggettiva. In questo senso, l'enfasi posta da Heidegger sul fatto che ciò che ci rende chi siamo è il frutto di un percorso storico individuale, fatto di esperienze soggettive uniche e particolari, non può essere disattesa da un serio progetto di naturalizzazione della cognizione sociale. La ricerca neuroscientifica futura dovrà sempre più concentrarsi sugli aspetti in prima persona dell'esperienza umana e dovrà cercare di studiare meglio le caratteristiche personali dei singoli soggetti di esperienza. Questa dimensione storica dell'esserci nel mondo, per usare un'espressione heideggeriana, è fino a ora rimasta in gran parte inesplorata.

Una delle sfide future sarà quella di passare dalla ‘medietà normativa’ delle caratteristiche d’attivazione di un supposto cervello medio appartenente a un altrettanto ipotetico uomo medio, a un approfondito studio di come le caratteristiche individuali dell’esperienza di vita si traducano in caratteristici e – almeno in parte – idiosincratici profili di attivazione corticale, e come questi meccanismi siano alla base del peculiare modo di esperire il mondo degli altri, proprio di ognuno di noi. Dovremo passare, cioè, dallo studio della mente umana allo studio delle menti umane.

Riteniamo che un dialogo tra neuroscienze e fenomenologia è non solo auspicabile ma anche necessario e ineludibile. Tale dialogo sarà tanto più fruttuoso quanto più ci si sforzerà da entrambe le parti di penetrare in modo multidisciplinare nelle reciproche problematiche, cercando – per quanto possibile – di sviluppare un linguaggio comune. Quello che ci pare certo è che una filosofia che ambisca a dare conto dell’origine del senso che per noi ha l’esperienza del mondo, non possa prescindere dalla conoscenza del sistema cervello-corpo così come viene attivamente indagato dalle neuroscienze cognitive.

NEUROIMAGING

XXI Secolo (2010)

di Daniela Perani, Ferruccio Fazio

Neuroimaging

A partire dalla fine degli anni Ottanta del 21° sec., lo studio in vivo del sistema nervoso centrale nei soggetti normali, e delle sue modificazioni nell’invecchiamento e nelle patologie neurologiche e psichiatriche, ha conosciuto uno sviluppo senza precedenti. Tra i fattori responsabili di tale sviluppo vanno sicuramente annoverati i progressi realizzati nel campo delle metodologie di neuroimaging di tipo anatomico e funzionale. Le prime sono rappresentate dalla tomografia assiale computerizzata (TAC) e dalla risonanza magnetica (RM), le seconde da tecniche funzionali, tra le quali si annoverano le tomografie a emissione (PET, Positron Emission Tomography, e SPECT, Single Photon Emission Computed Tomography) e la risonanza magnetica funzionale (RMf).

Tecniche di neuroimaging anatomiche

Tomografia computerizzata (TC)

Questa tecnica sfrutta le radiazioni ionizzanti (raggi X), e consente di riprodurre sezioni (tomografie) corporee del paziente ed elaborazioni tridimensionali. L'aggettivo assiale è attualmente inappropriato, perché le nuove metodiche non acquisiscono più in un piano assiale, cioè trasversale, cosa che permetteva di produrre un'immagine alla volta, ma adottano una tecnica detta a spirale, così da ottenere più immagini in una sola scansione; oggi si deve perciò parlare di tomografia computerizzata (TC). Questa si basa sulla rilevazione del fascio di raggi X attenuato mediante un sistema di detettori che ne traduce l'intensità in un segnale elettrico di corrispondente valore. L'immagine della parte del corpo da studiare, per es. il cervello, viene creata misurando l'attenuazione di un fascio di raggi X che lo attraversa. Questa varia in modo proporzionale alla densità elettronica dei tessuti attraversati, cioè alla distribuzione spaziale degli elettroni nello strato corporeo in esame. Poiché le immagini prodotte sono di tipo digitale, il cervello esaminato viene suddiviso in una serie discreta di elementi di volume (voxels), che segue la scala dei grigi. L'unità di misura della densità elettronica è l'unità di Hounsfield (UH), la cui scala comprende 2001 diverse tonalità di grigio, dal nero al bianco. Lo studio della TC può essere migliorato dall'infusione endovenosa di un mezzo di contrasto iodato, che consente una migliore differenziazione di strutture con densità simile. Le immagini della zona del corpo, come il cervello, sottoposta alla TC, vengono elaborate al computer e suddivise in strati di spessore inferiore al centimetro. Su ogni immagine è visualizzabile, in scala di grigi, la densità delle diverse strutture studiate (la sostanza bianca, rappresentata da fasci di fibre di connessione; la sostanza grigia, costituita principalmente da neuroni; il liquor). Questa metodica di indagine è diventata meno importante dopo l'avvento delle tecniche di risonanza magnetica, ma resta estremamente utile per lo studio della componente ossea del cranio e rappresenta il primo approccio diagnostico in emergenza (Frisoni, Filippini, in *The dementias*, 2006, pp. 157-95). È infatti la metodica di immagini di prima scelta nel caso in cui occorra verificare la presenza di patologie quali infarto cerebrale ischemico o emorragico, emorragie subaracnoidee ed ematomi sottodurali ed epidurali, idrocefalo, ascessi e neoplasie presi nella loro generalità, contusioni postraumatiche (Pozzi Macelli 2000).

Risonanza magnetica (RM)

Questa tecnica, che si basa sul fenomeno della risonanza magnetica nucleare, è entrata in uso negli anni Ottanta, e ha permesso di ottenere immagini anatomiche dettagliate del distretto corporeo in esame, come il cervello e la spina dorsale. Essa sfrutta le proprietà nucleari di alcuni atomi (in particolare dell'idrogeno, H, i cui nuclei sono costituiti da un singolo protone) in presenza di un campo magnetico. Durante l'indagine RM il soggetto viene immerso in un campo magnetico uniforme e a intensità elevata (dell'ordine di 1-3 tesla dunque superiore di un fattore 10⁴ al campo magnetico terrestre), e un impulso viene inviato a un'opportuna

radiofrequenza (RF), al fine di indurre il fenomeno di risonanza magnetica. L'energia trasportata dall'impulso RF viene assorbita dall'organismo e riemessa sotto forma di un segnale a RF che dipende dalle proprietà chimico-fisiche dei tessuti interessati (fenomeno di risonanza magnetica). Se viene applicato un campo magnetico di energia sufficiente, è possibile ruotare la magnetizzazione dei protoni di un angolo arbitrario (detto flip angle), in relazione al tipo di immagini che si desidera ottenere. Terminato l'effetto dovuto all'invio dell'impulso, a mano a mano gli spin dei protoni dell'idrogeno tenderanno a tornare al loro stato iniziale di allineamento lungo il campo magnetico (fenomeno di rilassamento); tramite una bobina ricevente viene misurato l'andamento della magnetizzazione nel piano perpendicolare al campo magnetico principale (free induction decay, FID). Tale segnale di risonanza magnetica dipende in particolare dalla concentrazione di nuclei di idrogeno (densità protonica), e, poiché l'idrogeno è presente nel corpo umano prevalentemente in forma di acqua, il segnale è correlato al contenuto di acqua nei tessuti. Il segnale di risonanza magnetica è legato da due costanti, T1 e T2, che descrivono le modalità temporali con cui il sistema torna all'equilibrio dopo lo stimolo indotto dall'impulso RF, e danno conto dell'ambiente chimico-fisico in cui i nuclei di idrogeno sono immersi nel campione (in particolare, delle modalità di interazione dei nuclei di idrogeno con l'ambiente circostante e dello stato di legame dell'acqua nel sistema in esame).

Un tomografo RM è un'apparecchiatura complessa, che comprende un magnete per la generazione del campo magnetico (nei sistemi di ultima generazione, un magnete superconduttivo), bobine a RF per la generazione degli impulsi RF e la rilevazione dei segnali di risonanza magnetica, bobine per la generazione di gradienti di campo magnetico, necessari alla codifica spaziale dei segnali e quindi alla formazione delle immagini, e un computer per la gestione delle sequenze di acquisizione e per la ricostruzione, elaborazione e visualizzazione delle immagini. La tecnica RM è caratterizzata da un'elevata risoluzione sia spaziale (inferiore a 2 mm) sia di contrasto, che dipende dalle caratteristiche di densità protonica, quindi da T1 e T2, dei tessuti, e che permette di differenziare accuratamente tessuti diversi, e in particolare tessuti normali da quelli patologici. La tecnica RM concorre pertanto con la TC per il dettaglio anatomico delle immagini, e in particolare delle immagini cerebrali, per il migliore contrasto tra tessuti a densità simile, quali la sostanza bianca e la sostanza grigia. Esistono oggi sequenze di acquisizione ultrarapide che consentono di generare immagini in tempi estremamente ridotti (dell'ordine del centesimo di secondo), pertanto con elevata risoluzione temporale. L'intensità del campo magnetico può variare dai decimi di tesla, per piccole macchine dedicate allo studio delle articolazioni, a 3 tesla per le macchine attualmente in commercio per scopi diagnostici, e a 7 tesla per alcune macchine per la risonanza magnetica, mentre nell'ambito sperimentale e di ricerca sono in sviluppo dispositivi da 8, 9, 12 tesla. In teoria, sarebbe possibile effettuare misurazioni rilevando il segnale emesso da una grande varietà di nuclei atomici, come per es. il sodio, il fosforo, il carbonio e impostando la frequenza di

risonanza delle bobine a radiofrequenza al valore appropriato; tuttavia in campo diagnostico viene attualmente usato come fonte di segnale quasi esclusivamente l'idrogeno. Per ottenere un'analisi morfologica completa del cervello, vengono acquisiti almeno due contrasti T1 e T2: T2 identifica particolarmente bene il liquido cefalorachidiano, e viene utilizzato per valutare la presenza di edemi associati a neoplasie cerebrali.

Agenti di contrasto paramagnetici come il gadolinio hanno la proprietà di ridurre notevolmente il T1 dei tessuti con cui vengono a contatto; di conseguenza le immagini possono mettere in risalto in modo efficace le zone raggiunte dall'agente di contrasto paramagnetico. Questo è utile, per es., per ottenere angiogrammi, o per visualizzare emorragie cerebrali e lesioni cerebrali con alterazioni della barriera ematoencefalica. Infatti, la RM strutturale serve per analizzare e studiare in particolare alcune patologie quali la sclerosi multipla, la patologia cerebrovascolare, i processi neoplastici cerebrali (Magnetic resonance imaging of the brain and spine, 20094).

Diffusion tensor imaging (DTI). Questa tecnica misura la diffusione delle molecole d'acqua nei tessuti biologici. In un mezzo isotropico come l'acqua, le molecole di liquido si muovono di moto browniano casuale, mentre nei tessuti biologici la diffusione può essere anisotropica. Per es., una molecola d'acqua all'interno di un neurone o di una fibra (assone) ha una probabilità molto bassa di attraversare la guaina mielinica; di conseguenza la molecola si muoverà principalmente lungo l'asse della fibra neurale. Ribaltando il concetto, se misuriamo le molecole d'acqua di una certa regione che si stanno muovendo (diffondendo) lungo una particolare direzione, possiamo assumere che la maggior parte delle fibre della regione è orientata parallelamente a questa direzione. Questa tecnica permette di misurare la diffusione nelle tre direzioni spaziali e l'anisotropia all'interno del singolo voxel, consentendo di tracciare mappe delle direzioni delle fibre che compongono i principali fasci di sostanza bianca del cervello (Le Bihan 2007; fig. 1). Questa indagine anatomica permette di esaminare le connessioni tra le varie strutture cerebrali (si usa la trattografia; Basser, Pajevic, Pierpaoli et al. 2000), oppure di esaminare aree di degenerazione neuronale e demielinizzazione in malattie come la sclerosi multipla o le demenze su base degenerativa.

Diffusion-weighted imaging (DWI). Questa tecnica permette la misurazione della distanza di diffusione delle molecole d'acqua; più breve risulta questa distanza, più chiara appare la regione considerata. Dopo un'ischemia cerebrale, le immagini DWI sono molto sensibili ai cambiamenti patofisiologici che avvengono nella lesione. L'aumento del segnale DWI appare entro 5÷10 min dall'insorgenza dei sintomi dell'attacco ischemico; si pensi perciò all'importanza di questa valutazione diagnostica rispetto a quella della TC, che normalmente identifica i cambiamenti nei tessuti nell'ordine delle 24 ore. La TC, per la sua scarsa sensibilità

all'ischemia acuta, è utilizzata per verificare l'assenza di emorragia, che impedirebbe l'uso dell'attivatore tissutale plasminogeno per combattere l'occlusione dell'arteria/arteriola (Magnetic resonance imaging of the brain and spine, 20094).

Tecniche di neuroimaging funzionale

Queste tecniche danno informazioni aggiuntive rispetto alla semplice morfologia (per es., imaging metabolico, quantificazione del flusso ematico cerebrale); le metodiche di indagine funzionale principali sono, come detto, la PET e la SPECT, che consentono di misurare in vivo specifici processi biochimici cerebrali. Possono quindi individuare modificazioni che hanno luogo a livello cellulare, e che non si riflettono necessariamente in alterazioni a livello macroscopico. Tali caratteristiche rendono i metodi di immagine funzionale particolarmente adatti allo studio delle modificazioni cerebrali associate a neurodegenerazione, come la demenza di Alzheimer e le demenze frontotemporali. Gli studi PET che utilizzano come tracciante il [18F]-fluorodesossiglucosio ([18F]-FDG), forniscono una misura quantitativa del consumo locale di glucosio, che è un indice diretto dell'attività cerebrale regionale (Herholz, in *The dementias*, 2006, p. 238). La SPECT consente invece di valutare il flusso ematico regionale, che è un parametro biochimico strettamente connesso al fabbisogno metabolico (Dougall, Ebmeier, in *The dementias*, 2006, pp. 197-228).

La strumentazione e gli algoritmi di ricostruzione differiscono tra PET e SPECT, a causa delle proprietà differenti dell'emissione di positroni e dell'emissione di fotoni gamma. La disponibilità di radioisotopi che emettono positroni di atomi come, per es., il carbonio, l'ossigeno e il fluoro, che possono essere inseriti in molecole biologicamente rilevanti senza alterarne le proprietà, costituisce un grande vantaggio della PET, in quanto rende possibile studiare in vivo i sistemi di neurotrasmissione e la neurochimica del sistema nervoso centrale. La maggiore risoluzione spaziale della PET rispetto alla SPECT, e la grande potenzialità che offre di utilizzare traccianti specifici per il target fisiologico o metabolico che si vuole misurare, la pongono come metodica di elezione nello studio delle modificazioni precoci e precliniche in ambito neurologico.

Un'altra tecnica di neuroimaging è rappresentata dalla RMf, ampiamente utilizzata per lo studio in vivo dell'attività cerebrale durante specifici compiti sensomotori e cognitivi.

Positron emission tomography (PET)

Sviluppata a metà degli anni Settanta, la PET produce immagini di distribuzione di un tracciante radioattivo emittente positroni (somministrato al soggetto per via endovenosa o tramite inalazione) in sezioni del cervello. Nel momento in cui i nuclei radioattivi decadono, emettono positroni, ovvero particelle con la stessa massa degli elettroni, ma con carica elettrica positiva. Dopo aver percorso una breve distanza interagendo con la materia circostante e ceduta la loro energia, i positroni si annichilano incontrando gli elettroni della materia. Nel processo di annichilazione, le due particelle (elettrone-positrone) si ‘annullano’, e si generano due radiazioni elettromagnetiche di 511 keV ciascuna, emesse in direzioni opposte. Il sistema di rilevazione della PET è costituito da una serie di sensori disposti a corona attorno alla testa del soggetto in esame. La rilevazione simultanea delle due radiazioni di annichilazione da parte di due sensori, con tecnica di rilevazione in coincidenza, consente di determinare la direzione delle radiazioni e di localizzare l’evento di annichilazione lungo la linea che congiunge i due sensori stessi. La rilevazione di numerosi eventi di annichilazione da parte del sistema PET permette di campionare spazialmente la radioattività nel cervello, e l’impiego di algoritmi di ricostruzione tomografica consente di generare immagini di distribuzione del tracciante radioattivo in sezioni. Successive elaborazioni offrono la possibilità di ottenere una rappresentazione tridimensionale della distribuzione di radioattività nel cervello. Si è assistito in questi anni a una rapida evoluzione dei tomografi PET, oggi costituiti da migliaia di rivelatori aventi dimensioni di pochi millimetri, accoppiati a componenti elettroniche sempre più sofisticate e veloci. La risoluzione spaziale, determinata da diversi fattori tra cui le dimensioni dei rivelatori, è dell’ordine di 4 mm nei tomografi di ultima generazione. La risoluzione temporale, determinata dal tempo necessario per rivelare un numero di radiazioni sufficiente alla formazione delle immagini, è dell’ordine di minuti.

La grande potenzialità della PET sta nella possibilità che essa offre di utilizzare traccianti specifici per il target fisiologico o metabolico che si vuole studiare/visualizzare. I nuclei radioattivi emittenti positroni usati in PET (^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , ^{18}F , che è chimicamente sostituibile all’idrogeno H) sono infatti isotopi di elementi principali costituenti la materia biologica e possono essere pertanto ‘legati’ a molecole fisiologiche per formare traccianti radioattivi che, una volta somministrati, si comportano nell’organismo in modo uguale ai loro analoghi non radioattivi. Le immagini PET di distribuzione di un tracciante radioattivo riflettono quindi il processo biochimico o fisiologico al quale partecipa il tracciante stesso. Per fare un esempio, il ^{18}F -FDG, il tracciante più largamente usato in PET, essendo un analogo del glucosio permette di studiare il metabolismo regionale di glucosio nel cervello. L’acqua marcata con ^{15}O (^{15}O -H₂O) è un tracciante della perfusione cerebrale che permette una misura quantitativa del flusso ematico regionale cerebrale (in unità di ml/min/100 g di tessuto) e che è stato largamente impiegato nell’indagine delle funzioni cerebrali mediante studi di attivazione, in cui si confrontano le immagini di flusso in un soggetto a riposo e in condizioni di attivazione,

ossia quando il soggetto è impegnato in un determinato compito o sottoposto a un determinato stimolo. Altri radiotraccianti PET sono specifici dei sistemi di neurotrasmissione, e permettono lo studio della densità recettoriale nell'individuo normale e in quello affetto da patologie neurologiche degenerative e infiammatorie. In particolare, gli studi riguardanti prove di legame dei recettori si sono rivelati di enorme valore in quanto hanno permesso di svelare alcuni 'segreti' farmacologici del cervello, compresa la distribuzione e l'affinità dei recettori e dei siti leganti il farmaco, e la perdita funzionale in una certa classe di recettori associata a malattie neurologiche o psichiatriche specifiche (Herholz, in *The dementias*, 2006, pp. 229-51).

Risonanza magnetica funzionale (RMf)

Questa procedura richiede l'acquisizione di rapide sequenze T2, di solito immagini ecoplanari a gradiente di eco, ripetute nel tempo, mentre il soggetto esegue un determinato compito. Tale tecnica è in grado di visualizzare la risposta emodinamica (cambiamenti nel contenuto di ossigeno del parenchima e dei capillari) correlata all'attività dei neuroni del cervello (Le Bihan 2007). Come nel caso della PET, la differenza di emodinamica regionale è messa in relazione all'attività neuronale di sistemi alla base di specifiche funzioni sensomotorie, percettive o cognitive. Infatti, le variazioni del flusso ematico e dell'ossigenazione sanguigna nel cervello sono strettamente correlate all'attività neuronale. Quando le cellule nervose sono attive consumano ossigeno trasportato dall'emoglobina che attraversa i capillari sanguigni locali. L'effetto è un aumento del flusso sanguigno nelle regioni di maggiore attività neuronale, che avviene con un ritardo compreso tra 1 e 5 s circa. Tale risposta emodinamica raggiunge un picco in 4-5 s, prima di tornare a diminuire fino al livello iniziale. Si hanno così variazioni del flusso ematico cerebrale e della concentrazione relativa di ossiemoglobina (emoglobina ossigenata) e deossiemoglobina (emoglobina non ossigenata). L'emoglobina è diamagnetica quando ossigenata, ma paramagnetica quando non ossigenata, e il segnale dato dal sangue nella RMf varia in funzione del livello di ossigenazione. Tale metodo quindi è spesso indicato con l'acronimo BOLD (Blood Oxygen-Level Dependent). Una maggiore intensità del segnale BOLD deriva da diminuzioni nella concentrazione di emoglobina non ossigenata. Incrementi del flusso sanguigno cerebrale, superiori rispetto all'aumento del consumo d'ossigeno, porteranno a una maggiore intensità del segnale; mentre diminuzioni nel flusso, di maggiore entità rispetto alle variazioni del consumo d'ossigeno, causeranno minore intensità del segnale.

A differenza della PET, dove vengono utilizzate radiazioni ionizzanti, la RMf viene considerata una tecnica non invasiva, che non espone a radiazioni ionizzanti. Per quanto riguarda invece la risoluzione spaziotemporale, relativamente a questioni legate alla fisiologia della risposta emodinamica, in termini

temporali si tratta di circa 2-10 s (quindi un tempo legato alla natura intrinseca dei processi emodinamici), mentre per la risoluzione spaziale si scende fino a 1-3 mm. Applicata allo studio della fisiologia del cervello, la RMf BOLD ha permesso dunque di visualizzare su una scala temporale estremamente frazionata le variazioni dell'ossigenazione delle regioni corticali, che si considera siano in stretta relazione con il grado di attività delle regioni stesse.

Metodi di analisi

Differenti metodi statistici vengono utilizzati per misurare la correlazione di ciascun voxel con il compito in esame. La mappa dei voxels, significativamente correlati con il compito, si sovrappone quindi a un'immagine anatomica standard oppure ricavata dagli stessi soggetti sottoposti allo studio funzionale. I risultati statistici ottenuti dalle misurazioni possono essere successivamente proiettati su mappe anatomiche del cervello, dando in questo modo luogo a immagini e mappe caratteristiche.

I metodi di analisi dei dati negli studi di attivazione PET e RMf sono soprattutto quelli sviluppati nell'ambito della statistical parametric mapping (SPM) del Wellcome department of imaging neuroscience che ha sede a Londra. Questi metodi permettono una normalizzazione rispetto allo spazio stereotassico dei dati PET e RMf acquisiti, per poter effettuare medie di soggetti diversi e medie di osservazioni di tipo sperimentale allo scopo di accedere a complesse procedure di analisi statistica (Friston, in *Human brain function*, 20042, pp. 599-632).

Tutte le immagini acquisite vengono trasformate in uno spazio stereotassico, il cosiddetto Talairach space o Montreal neurological institute space, al fine di rendere possibile il confronto con un atlante di riferimento conforme allo spazio stereotassico. La procedura prevede anche il controllo per l'attività globale come covariata confondente (analisi di covarianza, ANCOVA). Per concludere l'esame, allo scopo di testare l'ipotesi di effetti specifici regionali (o covariate), si procede con una comparazione delle stime usando contrasti lineari. I risultati sono set di valori per voxel per ogni contrasto in esame, che costituiscono le mappe statistiche parametriche basate su t statistico $SPM\{t\}$. Questi non sono altro che i foci di 'attivazione' caratterizzati in termini di estensione spaziale e altezza del picco in accordo alla distribuzione gaussiana (Zeki, in *Human brain function*, 20042, pp. 161-242). La SPM è quindi un'analisi voxel-by-voxel. Questi stessi metodi di analisi inoltre possono essere applicati anche allo studio di pazienti affetti da malattie neurologiche degenerative (Herholz, in *The dementias*, 2006, pp. 229-51).

Sono state proposte anche differenti procedure di analisi statistiche (per una rassegna, v. Herholz, Salmon, Perani et al. 2002). Questi modelli elaborati recentemente riflettono la struttura ‘connessionale’ del sistema nervoso, ed enfatizzano l’associazione/ac-coppiamento degli elementi del sistema in termini di connettività efficace (Dolan, in Human brain function, 20042, pp. 365-514).

Studio delle funzioni cognitive

I progressi della neurofisiologia di base, dimostrando in modo incontrovertibile la specializzazione funzionale esistente a tutti i livelli del sistema nervoso, hanno screditato il concetto di ‘equipotenzialità’ del sistema nervoso centrale. Le tecniche neuroradiologiche, TC e RM, hanno costituito lo standard di riferimento per la localizzazione morfologica delle lesioni cerebrali in vivo. A partire dall’inizio degli anni Ottanta, con l’esplorazione del cervello in vivo mediante le tecniche di neuroimaging funzionale, non è stato più necessario aspettare un ‘guasto’ per ottenere dati sul funzionamento del cervello, né ricorrere all’autopsia o alla localizzazione neuroradiologica della lesione. Fondamentale è stato lo sviluppo delle metodiche PET e SPECT, che sono state applicate, con sempre maggiore frequenza, sia allo studio di pazienti affetti da disturbi neuropsicologici sia alle indagini sull’organizzazione cerebrale delle funzioni cognitive nel soggetto normale. Un aspetto fisiologico essenziale dimostrato dagli studi di neuroimaging funzionale PET e SPECT è che i deficit cognitivi possono anche avere origine da lesioni che, pur risparmiando strutture cerebrali essenziali, determinano però, da un punto di vista funzionale, una disconnessione di queste tra loro o con altri centri funzionali (Perani, Bressi, Cappa et al. 1993).

La possibilità di misurare variazioni di flusso ematico conseguenti ad attività cognitiva usando la PET con [15O]-H₂O ha permesso i primi studi di attivazione attraverso i quali è stato possibile attribuire ruoli funzionali a specifiche regioni del cervello. A queste metodiche radioisotopiche si è poi aggiunta la RM con agente di contrasto esogeno (per es., quella basata sull’uso di gadolinio, la DSC-MRI, Dynamic Susceptibility Contrast-Magnetic Resonance Imaging), grazie alla quale è possibile stimare volume e flusso ematico; la risonanza funzionale con arterial spin labeling (ASL-MRI), che permette anch’essa una quantificazione del flusso ematico, e quella basata sull’effetto BOLD (RMf-BOLD). Quest’ultima tecnica viene ormai diffusamente utilizzata per gli studi di attivazione, e spesso preferita agli studi con PET e [15O]-H₂O grazie alla maggiore risoluzione temporale, la quale rende possibile la registrazione delle rapide variazioni di flusso ematico che si accompagnano all’attivazione regionale cerebrale associata all’esecuzione di compiti motori, sensoriali e cognitivi.

La maggiore risoluzione temporale, la non invasività, l'assenza di esposizione a radiazioni ionizzanti, la facile disponibilità delle apparecchiature e i costi di mantenimento relativamente limitati hanno allargato l'utilizzazione di questa metodica a numerosi centri per lo studio dell'attivazione cognitiva nei soggetti normali e nei pazienti neurologici e psichiatrici. Risultati convergenti suggeriscono che la specializzazione funzionale non è una proprietà fissa di specifiche regioni del cervello, ossia che funzioni cognitive come la memoria, il linguaggio, le capacità esecutive sono processi distribuiti e non localizzati. Utilizzando i dati forniti da metodologie di neuroimaging funzionale è possibile sapere come, dove e quando l'attività cognitiva è prodotta nel nostro cervello. La PET e la RMf, permettendo lo studio in vivo dell'attività cerebrale, hanno dimostrato come i substrati neurali delle funzioni cognitive siano rappresentati da circuiti neurali più o meno complessi. Tutto questo ha contribuito a creare un nuovo modo di vedere i principi organizzativi dell'architettura funzionale cerebrale, in termini di processi distribuiti e di interazioni tra sistemi cerebrali specializzati. Il principale contributo delle tecniche di neuroimaging funzionale riguarda infatti la specializzazione e l'integrazione funzionale e come queste si rapportano all'anatomia e alla fisiologia delle connessioni cortico-corticali nel cervello umano (Human brain function, 20042). Il grande contributo degli studi delle funzioni cognitive con neuroimaging funzionale appare evidente se si considera l'enorme quantità di pubblicazioni presenti negli ultimi quindici anni su riviste di alto livello scientifico (per una rassegna, cfr. Perani 2008). La letteratura internazionale su tale argomento è ormai molto vasta, tanto da rendere qui impossibile anche una sintetica rassegna di quella più rilevante; di seguito ne vengono forniti alcuni esempi.

Sistemi di memoria

Il funzionamento del sistema nervoso centrale nello svolgersi delle diverse capacità cognitive si basa sull'attività di sistemi neurali complessi e sul ruolo cruciale delle loro connessioni. La memoria rappresenta una di queste complesse capacità cognitive: il cervello umano ha la possibilità unica di acquisire, immagazzinare e usare un numero enorme di informazioni. A partire dagli anni Novanta, le tecniche di neuroimaging funzionale hanno aperto una nuova era nell'ambito delle neuroscienze cognitive che ha rivoluzionato non solo i metodi di studio ma anche le nostre conoscenze sull'organizzazione cerebrale dei sistemi di memoria. Il funzionamento della memoria umana appare ora molto più complesso rispetto a quanto prospettato dagli studi neuropsicologici. I risultati nell'ambito degli studi di attivazione PET e RMf sulla memoria hanno rivelato che questa funzione non è unitaria, ma esistono sistemi multipli di memoria con differenti specializzazioni e caratteristiche, implementati nel nostro sistema nervoso centrale. L'apprendimento, i depositi delle tracce di memoria remote e più vicine, la memoria di lavoro e le memorie

implicite, che riguardano per es. le conoscenze di procedure motorie, dipendono da substrati neurali complessi e integrati.

La memoria episodica è solidamente connessa all'attività dell'ippocampo e delle strutture del circuito di Papez. Quando si impara a memoria una lista di parole l'ippocampo e le altre strutture del circuito raggiungono la massima attivazione; a mano a mano però che le parole vengono depositate stabilmente come tracce, l'attivazione si riduce. Nella fig. 2 le regioni cerebrali attivate (corteccia del cingolo posteriore, precuneo e ippocampo) sono sovrapposte a immagini anatomiche del cervello.

Gli studi di neuroimaging funzionale hanno evidenziato il ruolo basilare delle funzioni di memoria nelle altre attività cognitive, inclusi il linguaggio, il ragionamento, la capacità di astrazione. Questi dati, nell'ambito dei processi di memoria, hanno fornito un importante contributo anche per lo studio delle funzioni cognitive nell'apprendimento e nell'elaborazione di lingue differenti. Per es., la memoria di lavoro risulta fondamentale nell'acquisizione di una nuova lingua e nel determinare il livello di padronanza con cui ci confrontiamo (Perani 2005).

Gli studi di neuroimaging funzionale hanno anche contribuito a dimostrare che le tracce di memoria sono rappresentate estesamente nella nostra corteccia cerebrale. La memoria semantica depositaria delle nostre conoscenze enciclopediche giace principalmente nella corteccia dei lobi temporali, e la memoria procedurale, che rappresenta la nostra capacità implicita di acquisire e di eseguire correttamente complesse sequenze visuomotorie (guidare la macchina, andare in bicicletta), si avvale di strutture cerebrali filogeneticamente più antiche, come il cervelletto e i gangli della base.

Linguaggio

Lo studio dei fondamenti neurologici del linguaggio costituisce un'area multidisciplinare per definizione, ove domini distanti, come linguistica, neuroscienze e metodi di neuroimaging, devono necessariamente interagire e fornire strumenti di indagine. La PET e la RMf sono state applicate in modo sistematico allo studio delle basi neurali del linguaggio, per es. per capire quali sistemi neurali sono attivi durante compiti fonologici, come l'ascolto di storie o la produzione e comprensione di parole (Démonet, Thierry, Cardebat 2005). Uno degli aspetti più interessanti di questo ambito di ricerche è stato la dimostrazione dell'attivazione di estesi sistemi neurali per le funzioni di linguaggio, anche al di fuori delle strutture cerebrali descritte dalla neuropsicologia classica. Inoltre è risultato evidente il coinvolgimento dell'emisfero di destra, in particolare nelle fasi di

recupero funzionale in pazienti afasici (Perani, Abutalebi, Paulesu et al. 2003). Di notevole interesse è risultato anche lo studio di soggetti bilingui e poliglotti, che ha rivelato come tutte le lingue padroneggiate si avvalgano di un unico sistema cerebrale e non di sistemi multipli, come era stato ipotizzato da alcune teorie. L'età di acquisizione, il livello di padronanza e la quantità di esposizione della seconda lingua sono variabili cruciali nel modulare l'attività di questi sistemi neurali (Perani, Abutalebi 2005). Si è dimostrato infatti che l'attivazione delle regioni cerebrali per la madrelingua è inferiore rispetto all'attivazione per una seconda lingua alla quale si è stati esposti tardivamente e per un tempo limitato (Wartenburger, Heekeren, Abutalebi et al. 2003).

Gli studi di neuroimaging ci consentono anche di mettere alla prova dei fatti le ipotesi più sofisticate. Per es., nei soggetti normali hanno confermato che l'area di Broca è una regione essenziale per elaborare gli aspetti morfologici e sintattici del linguaggio, ma hanno anche indicato che essa opera all'interno di circuiti molteplici, comprendenti altre regioni corticali connesse, coinvolti non solo nell'elaborazione sintattica, ma anche in altri aspetti dell'organizzazione linguistica, quali la fonologia e la semantica lessicale, oltre che in funzioni extralinguistiche, quali la rappresentazione delle azioni (Tettamanti, Buccino, Saccuman et al. 2005).

Studio dell'invecchiamento

Con l'invecchiamento, il cervello va incontro a una progressiva riduzione ponderale e volumetrica, che coinvolge sia la sostanza bianca sia quella grigia. Tali modificazioni, osservabili a livello macroscopico con i metodi di neuroimaging anatomica (TC e RM) come 'atrofia', riflettono la comparsa di alterazioni microscopiche. Le modificazioni quantitative evidenziano la perdita di neuroni, la formazione di placche senili, le modificazioni di tipo qualitativo a livello delle sinapsi come il numero di ramificazioni, la lunghezza e il numero di connessioni dendritiche. I primi studi di neuroimaging eseguiti in soggetti normali mediante TC sono stati soppiantati dai metodi di RM per l'indiscutibile superiorità di questa relativamente all'imaging anatomico. Questa elevata sensibilità alle modificazioni del parenchima cerebrale ha portato a individuare con grande frequenza aree iperintense nella sostanza bianca degli emisferi di soggetti anziani normali. Sono considerati reperti probabilmente aspecifici le iperintensità periventricolari ('incappucciamento' degli apici ventricolari) e i piccoli focolai iperintensi, mentre alterazioni più estese della sostanza bianca o di quella grigia sono correlate con la presenza di fattori di rischio vascolare e di alterazioni ai test neuropsicologici. È stata comunque dimostrata una correlazione lineare tra la frequenza di questi reperti e l'età. In uno studio realizzato recentemente e condotto su più di 1000 anziani, è stato dimostrato che le anomalie periventricolari sono chiaramente associate a rallentamento cognitivo e ad altre lievi alterazioni della sfera cognitiva. Tra i dati più

interessanti ricavati dalle misure di tipo volumetrico con RM, ricordiamo il riscontro di una correlazione inversa tra età e volume dell'ippocampo e di un'analogia correlazione con le prestazioni a test di memoria in uno studio su soggetti anziani non dementi (Frisoni, Filippini, in *The dementias*, 2006, pp. 157-95). Studi longitudinali di soggetti con minime modificazioni cognitive, in cui si era evidenziata con TC e RM la presenza di atrofia dell'ippocampo, hanno dimostrato l'insorgenza di demenza negli anni successivi in un'alta percentuale (70%). PET e SPECT hanno dimostrato riduzioni dei parametri funzionali di perfusione e metabolismo glucidico cerebrali con l'avanzare dell'età. Il grado di riduzione però era di valore notevolmente inferiore a quello presente nel caso di malattie dell'invecchiamento come, per es., le demenze e non riguardava le stesse strutture cerebrali (Hasselbach, Knudsen, in *The dementias*, 2006, pp. 253-77).

Studio delle malattie neurologiche

Per quanto riguarda le condizioni patologiche associate a demenza, e in particolare il morbo di Alzheimer (mdA), a livello anatomico macroscopico si sono riscontrati gradi variabili di atrofia, proporzionali alla perdita di neuroni. Un problema fondamentale che si pone per quanto riguarda i metodi di indagine anatomica RM, è quello di individuare una 'soglia di normalità' che possa fornire elementi di supporto alla diagnosi differenziale tra invecchiamento fisiologico e mdA iniziale. Sia la TC sia la RM hanno un ruolo importante nel processo diagnostico di esclusione di altre patologie potenzialmente responsabili di demenza (per es., l'idrocefalo a bassa pressione, o un ematoma subdurale), ma la possibilità di identificare una 'soglia diagnostica' dell'atrofia si è rivelata un obiettivo piuttosto difficile da raggiungere. La RM è sicuramente superiore alla TC nell'evidenziare l'atrofia delle strutture temporali mediali come l'ippocampo. I metodi di analisi delle immagini recentemente sviluppati dal gruppo del citato Wellcome department of cognitive neurology, consentono una più rapida analisi dei dati anche per le tecniche RM (Zeki, in *Human brain function*, 20042, pp. 161-242).

In generale, i risultati appaiono soddisfacenti a livello di studi di gruppi di pazienti, ove sono state evidenziate anche correlazioni più specifiche tra il volume di alcune strutture cruciali (come l'ippocampo) e le prestazioni a prove di memoria. In particolare, la VBM (Voxel-Based Morphometry) è una tecnica completamente automatica per la misura dell'atrofia cerebrale sulla base delle modifiche di volume e di densità della sostanza grigia e di quella bianca (Friston, in *Human brain function*, 20042, pp. 599-632).

Recenti studi VBM eseguiti su pazienti con mdA e con degenerazione lobare frontotemporale hanno dimostrato che il quadro di atrofia in queste due condizioni è significativamente diverso, e può essere usato

per la diagnosi differenziale. Nel mdA le aree che risultano atrofiche in maniera significativa sono risultate la corteccia parietale e le regioni temporali mediali (amigdala, ippocampo), mentre nella demenza frontotemporale (FTD, FrontoTemporal Dementia) la progressione dell'atrofia è più rapida, e riguarda regioni corticali frontali e temporali.

È ancora incerta l'utilità delle misure morfometriche nella popolazione dove queste avrebbero più rilevante applicazione clinica e di ricerca, ovvero nei soggetti che si trovano nelle fasi iniziali della malattia (mdA possibile, demenza discutibile); allo stesso modo, nel caso del singolo paziente il risultato di un'indagine morfometrica rimane da interpretare sulla base del contesto clinico.

PET e SPECT sono invece molto utilizzate nelle malattie neurologiche degenerative, e in particolare nelle demenze. Nelle linee guida per la diagnosi di queste ultime, sono state inserite le misure della perfusione cerebrale regionale con la SPECT e del metabolismo del glucosio con la PET (Dubois, Feldman, Jacova et al. 2007). La maggior parte delle indagini sinora eseguite si basa su misurazioni effettuate in condizioni di riposo. La SPECT, data l'ampia disponibilità delle attrezzature e il costo limitato dell'esame, sin dalle prime applicazioni cliniche è stata considerata uno strumento promettente per la diagnosi del mdA. La dimostrazione di un pattern di ipoperfusione relativamente specifico, che interessa le aree temporoparietali dei due emisferi, nelle fasi precoci della malattia, ha avuto un ruolo importante nella promozione delle applicazioni diagnostiche della SPECT. Gli studi PET nelle malattie associate a demenza sono ormai numerosissimi, e hanno dimostrato l'indubbia utilità della metodica nella diagnostica clinica e in differenti aree della ricerca sulle demenze (per una rassegna, cfr. *The dementias*, 2006). L'importanza clinica della PET nello studio dei pazienti con probabile mdA è legata alla possibilità di dimostrare diminuzioni della perfusione o metabolismo glucidico nelle aree associative temporoparietali: nella figura 3A, sezioni di cervello in un soggetto con morbo di Alzheimer mostrano ipometabolismo nelle regioni parietali (aree verdi); ciò è stato dimostrato anche con tecnica SPECT. Infatti, in condizioni di patologia degenerativa come mdA, esiste un accoppiamento tra flusso e metabolismo, e l'informazione diagnostica fornita dallo studio di perfusione SPECT è di regola comparabile a quella ottenibile con metodiche PET per la misura del metabolismo glucidico. Nelle fasi iniziali della malattia, la riduzione metabolica può interessare anche le aree temporali mediali (strutture dell'ippocampo), in accordo con i dati neuropatologici e con l'evidenza clinica di deficit di memoria. Nelle demenze di tipo frontotemporale, sulla base della combinazione di compromissione frontale (identificata con la PET) e caratteristiche cliniche recentemente delineate dal gruppo di Lund e Manchester (*Clinical and neuropathological criteria for frontotemporal dementia*, «*Journal of neurology, neurosurgery and psychiatry*», 1994, 57, 4, pp. 416-18), è possibile formulare una diagnosi in vivo di sospetta patologia: nella figura 3B si

evidenza come, in un soggetto con questo tipo di demenza, l'ipometabolismo riguarda le regioni dei lobi frontali (aree verdi; cfr. Dougall, Ebmeier, in *The dementias*, 2006, pp. 197-228).

Perché le metodiche funzionali siano applicabili nella pratica clinica è necessario che siano utilizzabili con il singolo paziente e che siano facilmente eseguibili. Un altro studio europeo multicentrico (Herholz, Salmon, Perani et al. 2002) e uno studio statunitense (Foster, Heidebrink, Clark et al. 2007) hanno dimostrato che la diagnosi automatizzata di mdA e FTD è fattibile sulla base di metodi VBM che consentono una sensibilità e una specificità dal 93% al 97% nella diagnosi del singolo soggetto. Oltre al ruolo importante nella diagnosi differenziale tra mdA e invecchiamento normale, la PET possiede anche un ruolo predittivo sullo sviluppo di demenza. Sebbene si tratti di un'entità clinica ancora controversa, il deficit cognitivo lieve (MCI, Mild Cognitive Impairment) sta imponendosi sempre più all'attenzione di neurologi e geriatri. Per l'MCI mancano markers biologici, e clinicamente esso presenta aspetti cognitivi borderline tra invecchiamento normale e compromissione di tipo Alzheimer. Le indagini funzionali PET hanno fornito indicazioni prognostiche: infatti, l'alterazione del metabolismo glucidico nelle aree temporoparietali è stata dimostrata essere un fattore predittivo per l'evoluzione in mdA (Anchisi, Borroni, Franceschi et al. 2005).

Le prospettive di sviluppo più interessanti riguardano la possibilità di studiare con la PET le modificazioni a livello dei sistemi neurotrasmettitoriali e delle funzioni recettoriali. Questo tipo di indagini ci porterà a esaminare in modo più diretto le modificazioni fisiologiche e patologiche che danno luogo ai fenomeni di riduzione metabolica e perfusionale osservati sinora: basti pensare, per es., alla possibilità di indagare la funzionalità del sistema colinergico nelle fasi precoci del mdA, oppure quella del sistema serotoninergico nella demenza frontotemporale. Oltre all'indubbio interesse scientifico di questi sviluppi, appare altamente probabile che da questo filone di ricerca possano derivare indicazioni terapeutiche e preventive di grande rilevanza clinica per le patologie associate a demenza.

Neurochimica del cervello

Il funzionamento del nostro cervello si basa su un sistema integrato molto complesso di sostanze chimiche, con attività nella comunicazione tra neuroni di tipo eccitatorio, inibitorio o di modulazione; le attività mentali umane sono regolate infatti da una neurochimica molto sofisticata. A partire dagli anni Novanta, i gruppi di ricerca che lavoravano con le tecniche funzionali PET hanno sviluppato metodi basati sull'utilizzo di radioligandi per la misura in vivo dei sistemi di neurotrasmissione cerebrale, focalizzando la loro attenzione sui siti di azione (i recettori), sulla sintesi e sulla degradazione dei neurotrasmettitori (Frith, in *Human brain*

function, 20042, pp. 245-362). Sappiamo che sostanze come la dopamina, l'acetilcolina o la serotonina sono alla base del comportamento e dei sistemi cognitivi: l'acetilcolina, per es., riveste un ruolo chiave nell'apprendimento e nel consolidamento delle tracce di memoria.

Neurorecettori e neurotrasmissione

L'utilizzo della PET e di traccianti radiomarcanti per i siti dei neurorecettori e per l'attività enzimatica fornisce una possibilità unica per lo studio di specifici sistemi di neurotrasmissione (Hasselbach, Knudsen, in *The dementias*, 2006, pp. 253-77). Nel cervello dell'anziano si osserva la diminuzione dell'attività dopaminergica e la perdita di recettori pre- e postsinaptici per la dopamina. Nel caso del sistema serotoninergico vi è, con l'età, una diminuzione di legame della [18F]-altanserina ai recettori 5HT_{2A} dell'ordine del 20% per decade dopo i 30 anni. Studi del sistema colinergico con SPECT e PET hanno mostrato solo un lieve deficit con l'invecchiamento. Nei pazienti con mdA, questi deficit risultano invece importanti (tra il 15% e il 30%) e correlati alla gravità dei sintomi cognitivi della malattia. Studi PET hanno dimostrato in pazienti con mdA una grave riduzione dell'attività colinergica nella corteccia cerebrale, causa principale della perdita di memoria; inoltre la compromissione del sistema colinergico avviene precocemente e incomincia nella neocorteccia, a carico di tutti i lobi, e nell'amigdala, mentre i nuclei della base e il nucleo del Meynert sono relativamente preservati. Gli studi dei sistemi di neurotrasmissione possono risultare utili anche per la diagnosi differenziale. Nella malattia di Parkinson e nella demenza con corpi di Lewy, gli studi PET e SPECT del sistema dopaminergico e dei recettori presinaptici e postsinaptici hanno dimostrato una degenerazione del sistema anche molto grave. La distribuzione dei recettori GABA_A (Gamma-AminoButyric Acid) con [11C]-flumazenil, un radiotracciante che misura l'attività del sistema di neurotrasmissione inibitorio GABA, risulta diminuita a livello della corteccia motoria in pazienti con distonia. Con il tracciante PK11195 (PK) si studiano le cellule della microglia attivata nei processi infiammatori, al fine di valutare il grado di attività/ infiammazione gliale in pazienti con morbo di Alzheimer e in pazienti con sclerosi multipla, e malattia di Parkinson (Hasselbach, Knudsen, in *The dementias*, 2006, pp. 253-77). Un'applicazione interessante della PET è quella che vede l'utilizzo del tracciante [11C]-PIB (Pittsburgh Compound B), che si lega alle placche di amiloide degenerata come nel mdA, offrendo così interessanti possibilità di ricerca sui meccanismi patogenetici della malattia e, in futuro, anche sul monitoraggio di alcune terapie.

Neurochimica della cognizione

Ricerche effettuate con l'ausilio della PET in questo ambito (e che sono da considerarsi assolutamente all'avanguardia) hanno permesso anche misure in vivo della neurochimica cerebrale durante lo svolgimento di attività sensomotorie e cognitive (Frith, in *Human brain function*, 20042, pp. 245-362). Si è osservato, per es., il rilascio di dopamina da parte di neuroni specifici quando il nostro cervello apprende sequenze visuomotorie complesse, come durante un videogame (Koepp, Gunn, Lawrence et al. 1998).

Uno studio veramente all'avanguardia ha applicato questo metodo PET in soggetti normali durante compiti di memoria di lavoro. Si è visto un rilascio significativo di dopamina a livello della corteccia frontale, che aumentava con l'incremento del carico di lavoro richiesto ai soggetti e quanto più il compito era eseguito in modo corretto. Ciò che di ancora più strabiliante ci hanno rivelato queste ricerche è l'aumento del rilascio di dopamina nei partecipanti a esperimenti PET dello stesso tipo, ma dov'erano previste ricompense monetarie sulla base dei risultati ottenuti durante l'esecuzione di compiti specifici; questo avveniva in regioni cerebrali che rappresentano il substrato neurale dei meccanismi del piacere. Possiamo perciò affermare che la dopamina agisce modulando le strutture cerebrali depositarie dei ricordi del piacere (Pappata, Dehaene, Poline et al. 2002).

Uno studio sul linguaggio (Tettamanti, Moro, Messa et al. 2005) ha evidenziato come la dopamina sia alla base della modulazione di specifici processi linguistici, quali quelli fonologici. Il suo rilascio a livello dei gangli della base è stato inoltre asimmetrico, con un netto coinvolgimento delle strutture di sinistra, a sottolineare anche nella regolazione neurochimica una specializzazione emisferica.

NEUROSCIENZA COMPUTAZIONALE

XXI Secolo (2010)

di Paolo Del Giudice

Neuroscienza computazionale

Decodificare, emulare, stimolare e comprendere l'attività nervosa: sono le quattro sfide oggetto di questo breve saggio. Ognuna, formidabile e intrecciata con le altre, ha al centro il cervello e, tra gli obiettivi, quello di associare a una sempre migliore comprensione dell'attività nervosa la capacità di recuperare (o sostituire) in parte le sue funzioni in caso di lesioni, o la possibilità di progettare dispositivi 'intelligenti' ispirati al suo funzionamento.

Dalla breve rassegna che segue non potrà emergere un quadro unitario coerente; piuttosto, una serie di possibili legami e di interazioni costruttive tra linee di ricerca alla frontiera delle neuroscienze e delle tecnologie a esse collegate.

BCI e decodifica dell'attività nervosa

Un giorno, coloro che hanno subito lesioni ai nervi o agli arti potranno comandare sedie a rotelle, protesi e addirittura braccia e gambe paralizzate semplicemente 'pensando di muoverle': a formulare questa impegnativa previsione, nel 2002, sono stati Miguel A.L. Nicolelis e John K. Chapin (neurofisiologi rispettivamente alla Duke university e alla State university of New York). In un loro esperimento, un computer decodifica l'attività nervosa correlata alle azioni motorie di una scimmia, e il segnale nervoso decodificato può essere usato per muovere un braccio meccanico che in questo modo 'duplica' il movimento del braccio della scimmia: la scimmia ne guida il movimento 'con il pensiero' (Nicolelis, Chapin 2002; v. anche Wessberg, Stambaugh, Kralik et al. 2000).

Il fondamento scientifico della fiducia espressa nella frase riportata risiede in una serie di esperimenti che hanno portato negli ultimi anni allo sviluppo delle cosiddette BCI (Brain-Computer Interfaces). Una BCI è un insieme di dispositivi volti a dotare il cervello di un canale di output motorio artificiale, in funzione sostitutiva o aggiuntiva ai canali fisiologici. Le potenzialità di questo approccio sono state finora considerate soprattutto nella prospettiva di consentire a pazienti con deficit motori gravi (per es., tetraplegici), ma con funzioni cerebrali integre, di pilotare dispositivi artificiali mediante il solo fatto di 'pensare' il movimento corrispondente.

Il raggiungimento di un tale risultato, che appare al limite della fantascienza, dipende in modo cruciale da una serie di passi che devono essere completati con successo. Si deve innanzitutto poter registrare (in modo cronico, cioè su lunghe scale di tempo) l'attività nervosa prodotta nelle aree responsabili della pianificazione ed esecuzione del movimento; si deve quindi 'decodificare' tale attività in modo da ricostruire in modo automatico (e veloce) l'intenzione motoria espressa dal soggetto; quando è disponibile una decodifica affidabile la parte meno complicata consiste nell'utilizzare questa informazione per pilotare una varietà di possibili dispositivi artificiali. Ognuno di questi passi necessari (e soprattutto i primi due) pone tuttora problemi considerevoli, nonostante i successi ottenuti.

Intercettare e registrare l'attività nervosa che codifica l'intenzione motoria implica innanzitutto una scelta sulla natura del segnale da acquisire, e questa scelta riflette un necessario compromesso tra invasività della registrazione e specificità dell'informazione ottenuta. Considerando l'utilizzo di BCI su pazienti, è chiaro che minimizzare l'invasività del dispositivo è una priorità; in base a questo criterio, l'elettroencefalogramma (EEG) risulta senz'altro la procedura di registrazione preferita. D'altra parte, una BCI in grado di sostituire funzioni motorie complesse deve basarsi su una decodifica affidabile di informazioni molto specifiche sull'attività delle popolazioni nervose coinvolte, e questo criterio tende a favorire modalità invasive di registrazione, in cui matrici di elettrodi vengono applicate sulla superficie corticale (elettrocorticogramma) o inserite in profondità all'interno della corteccia.

Entrambe le strategie vengono attualmente utilizzate: dal versante non invasivo, si è dimostrata con successo la possibilità per l'utente di pilotare, per es., un cursore, o di 'scrivere' su una tastiera virtuale, sullo schermo di un computer. In quest'ambito, un gruppo italiano, guidato da Fabio Babiloni, svolge dal 1998 una ricerca di punta presso il Laboratorio di neuroimaging elettrico e brain computer interface della Fondazione Santa Lucia di Roma (Cincotti, Mattia, Babiloni et al. 2003; Babiloni, Cincotti 2006).

D'altra parte, il futuro a lungo termine delle BCI dipende dalla possibilità di decodificare e sostituire funzioni complesse, non altrimenti vicariabili con metodi più semplici (per es., la registrazione di movimenti oculari volontari). In questa fase di ricerca e sviluppo, appare almeno probabile che l'utilizzo di registrazioni invasive per le BCI consenta una migliore identificazione delle componenti dell'elaborazione nervosa che sottendono funzioni complesse. Con il progresso veloce della tecnologia dei dispositivi invasivi di registrazione, il relativo rapporto costi/benefici ai fini di una BCI viene considerato sempre più accettabile, vista la gravità dei deficit motori in questione.

Il progresso degli impianti cronici di registrazione ha motivato la FDA (Food and Drug Administration), l'agenzia che negli Stati Uniti ha il compito di vagliare test clinici su farmaci e dispositivi medici, ad autorizzare nel maggio 2009 un test clinico (BrainGate2) su BCI basate su matrici di un centinaio di microelettrodi impiantati nella corteccia in un campione di pazienti. Del progetto BrainGate, lanciato nel 2002, è responsabile uno dei pionieri del settore, John P. Donoghue, direttore dell'Institute for brain science presso la Brown university (Donoghue 2002).

A valle della registrazione del segnale nervoso, il secondo passo indispensabile prevede la decodifica dell'intenzione motoria associata. Viene utilizzato un approccio 'a scatola nera', che prevede una fase di

addestramento, in cui si mette a punto l'algoritmo di decodifica sulla base di lunghe serie di registrazioni associate a intenzioni motorie note, e il successivo impiego on-line. Tra le difficoltà coinvolte in questo compito, bisogna considerare che l'associazione tra un profilo temporale dell'attività nervosa e l'azione motoria corrispondente varia nel tempo e dipende dal contesto sensoriale e comportamentale del soggetto; la procedura di ottimizzazione dell'algoritmo di decodifica deve quindi continuamente adattarsi a queste condizioni mutevoli. Fortunatamente, una straordinaria riserva di adattabilità e di plasticità sta proprio nel cervello dell'utente che, ricevendo un feedback continuo (prevalentemente, ma non solo, visivo) sull'esito della decodifica dell'intenzione motoria volontaria espressa, è in grado di adattare in parte l'attività nervosa stessa ed elaborare strategie mentali in grado di ottimizzare il sistema.

Motivata dalle evidenti potenzialità per la sostituzione di funzioni motorie, la ricerca sulle BCI promette di migliorare molto la nostra comprensione dei meccanismi nervosi che presiedono alla decisione e alla pianificazione motoria e della loro dipendenza dal contesto; ci si può spingere a pensare che l'approccio BCI possa un giorno non solo sostituire funzioni motorie lese, ma dotare il soggetto di facoltà motorie non preesistenti (per es., la generazione di una rappresentazione corticale di un arto aggiuntivo).

Per un approccio sistematico alla BCI è stata, ed è, molto utile la sperimentazione su animali, e in particolare su primati. Il citato esperimento di Nicolelis e Chapin ne ha costituito una prova di fattibilità notevole. Nicolelis e Chapin riferiscono che la scimmia apprende il compito (sovrapporre un cursore a un bersaglio mobile sullo schermo di un computer) controllando il cursore con un joystick. Lo sperimentatore nel frattempo registra e decodifica l'attività nervosa corrispondente, finché collega il cursore all'output della decodifica, sottraendolo al controllo del joystick. Sorprendentemente, a un certo punto la scimmia si rende conto che non è più necessario muovere effettivamente il joystick per svolgere il compito e centrare il bersaglio sullo schermo, ma è sufficiente pensare il movimento, e smette di muovere il braccio, continuando a svolgere il compito con successo.

Il successo nella decodifica del segnale nervoso associato all'intenzione di movimento non implica la comprensione dei meccanismi di elaborazione sottesi: rimane da capire il modo in cui, nella programmazione dell'atto motorio, il cervello integra le informazioni visive (per es., sul bersaglio e sulla posizione del cursore, nel caso dell'esperimento di Nicolelis e Chapin) e quelle propriocettive. L'approccio seguito è in qualche modo 'di forza bruta': si ricostruiscono le regolarità nelle corrispondenze tra i pattern di attività neuronale registrata e i movimenti generati, un po' come uno sperimentatore realizza il migliore fit di dati per ricostruire la dipendenza tra due grandezze, in assenza di un modello che ne descriva la relazione causale.

Anche nell'ambito delle registrazioni invasive, inoltre, vi sono ancora ricerca e dibattito sui segnali e i siti corticali di registrazione ottimali ai fini di una BCI. Al CalTech (California Institute of Technology) il gruppo capeggiato da Richard A. Andersen (professore di neuroscienze in quell'istituto) esplora, per es., l'utilità di segnali di più 'alto livello' (registrati cioè in aree più precoci rispetto alla programmazione motoria vera e propria, come quelle parietali, associate, per es., all'obiettivo del movimento), nella prospettiva di 'dispositivi protesici cognitivi' (Andersen, Musallam, Pesaran 2004). Andersen ha inoltre argomentato in modo convincente che i 'campi locali', cioè i segnali che forniscono un'informazione integrata sull'attività di popolazioni neuronali senza dover ricostruire l'attività dei singoli neuroni coinvolti, sono idonei allo scopo; questo probabilmente renderebbe più stabile la registrazione su lunghe scale di tempo e più facile il controllo della BCI.

Stimolazione del tessuto nervoso

In molti Paesi, quasi l'1% della popolazione anziana soffre della malattia di Parkinson, progressiva e fortemente invalidante. Tra i sintomi più evidenti, compaiono e si sviluppano nelle diverse fasi della malattia disordini motori di varia natura: tremori incontrollabili, difficoltà a iniziare i movimenti (acinesie) o incapacità di controllare movimenti involontari e anormali (discinesie). Una zona del cervello (detta substantia nigra) è sistematicamente colpita nei pazienti con questo tipo di patologia; essa produce una sostanza, la dopamina, coinvolta in una molteplicità di processi in varie aree del cervello, e il manifestarsi della malattia è stato associato al difetto di produzione di dopamina (l'ossidazione di questa determina il colore del tessuto nervoso in questa zona, quando osservato ex vivo, il che ne ha suggerito il nome). La substantia nigra fa parte di un complesso di strutture subcorticali, collettivamente chiamate gangli della base.

Nella terapia della malattia di Parkinson, l'opzione chirurgica venne suggerita (com'è spesso accaduto) dall'osservazione accidentale: una riduzione del tremore conseguente a un piccolo danno chirurgico involontario. La lesione chirurgica mirata di alcune strutture dei gangli della base è stata in effetti adottata, con successi statisticamente non ottimali. Una strategia alternativa, che è diventata di gran lunga prevalente, si basa sull'ipotesi naturale che, se la malattia ha origine da un difetto di produzione di dopamina, riequilibrare la concentrazione di questa sostanza nel cervello compenserebbe gli effetti patologici; la disponibilità di una sostanza (la levodopa, o L-DOPA) somministrabile a livello sistemico, il cui metabolismo determina un aumento di dopamina nel cervello, ha fornito una reale opzione terapeutica. Gli effetti collaterali non sono però trascurabili: con il tempo, possono comparire sintomi psicotici, e anche discinesie. In effetti, farmaci che

bloccano i recettori della dopamina sono utilizzati nella terapia di pazienti psicotici, e non è sorprendente che un aumento indiscriminato di dopamina, data la molteplicità di azioni esercitate da questo neuromodulatore, possa generare patologie che normalmente si curano inibendone l'attività.

Una nuova opzione terapeutica è stata proposta verso la metà degli anni Ottanta, ancora una volta grazie a un'osservazione accidentale: la diminuzione dei tremori in un malato sottoposto a intervento chirurgico, durante una fase esplorativa di stimolazione elettrica volta a identificare con precisione il sito ottimale della lesione chirurgica (il paziente era sveglio, non avvertiva dolore e le sue reazioni potevano essere monitorate). Questa osservazione suggerì che la stimolazione elettrica mirata di alcune strutture dei gangli della base (la DBS, Deep Brain Stimulation) potesse avere effetti equivalenti a quelli dell'azione chirurgica distruttiva, con minore impatto e rischio per il paziente. Questa strategia è stata coronata da un successo inaspettato: oggi alcune decine di migliaia di pazienti parkinsoniani vivono con elettrodi di stimolazione permanentemente impiantati e pilotati da dispositivi sottocutanei, e in molti casi il controllo dei disordini motori è stupefacente, con rischi ed effetti collaterali contenuti (Benabid 2003). Bisogna considerare che non tutti i pazienti parkinsoniani sono candidabili per un intervento di DBS, e che questa strategia, comunque, non costituisce una cura, ma un intervento di controllo di alcuni sintomi, e non sempre si sostituisce completamente alla terapia farmacologica. Attualmente la DBS costituisce, comunque una reale opzione, soprattutto per pazienti ai quali i farmaci hanno provocato problemi di tolleranza o per i quali si sono rivelati poco efficaci.

Questo breve resoconto di un'indubbia storia di successi trova spazio in questo saggio per un motivo importante: non si sa tuttora perché la stimolazione elettrica dei gangli della base sia efficace. Le strategie terapeutiche che utilizzano questa tecnica si sono basate essenzialmente su 'prove ed errori', variando i parametri della stimolazione (sequenze di impulsi di variabile ampiezza, durata e frequenza, stimolazione unipolare o bipolare), adattandoli al paziente per ottenere risultati ottimali. L'idea iniziale, secondo la quale la stimolazione elettrica aveva essenzialmente lo stesso effetto della lesione chirurgica, non può essere adottata alla leggera, se non altro perché, al contrario della lesione chirurgica, la stimolazione elettrica è reversibile: se si interrompe, i suoi effetti scompaiono. I meccanismi di azione della DBS sono tuttora oggetto di intensa ricerca e di acceso dibattito, e viene pubblicato ogni anno un gran numero di articoli scientifici riguardanti questo argomento.

In pazienti affetti da depressione, si è osservato che la DBS di alcune regioni subcorticali allevia in qualche misura i sintomi, e pazienti ossessivo-compulsivi ne hanno tratto vantaggio.

Per quanto riguarda il talamo (un insieme di strutture subcorticali che costituisce la via principale di ingresso dell'informazione sensoriale nel cervello), la DBS ha mostrato qualche parziale successo in pazienti in coma posttraumatico. Il controllo mediante DBS delle crisi in pazienti epilettici è un'opzione attualmente considerata con interesse.

Quanto riportato vale a indicare come la DBS appaia attualmente un'alternativa terapeutica interessante in una notevole varietà di patologie, anche se in molti casi viene ancora considerata sperimentale e non elettiva. Una valutazione delle prospettive cliniche andrebbe oltre l'ambito di questa rassegna; quanto sopra vuole indicare due cose: la prima è che la stimolazione elettrica sembra produrre effetti molto diversi, dal punto di vista comportamentale e cognitivo, variando di pochissimo il sito di stimolazione e i suoi parametri, confermando la parcellizzazione di competenze e la ricchezza di interconnessioni delle corrispondenti popolazioni neuronali; la difficoltà di un approccio sistematico alla DBS risulta in questo senso un banale riflesso della nostra ignoranza dei meccanismi di elaborazione e comunicazione nel cervello. In secondo luogo, comunque, tale approccio sistematico non potrà prescindere da un intenso lavoro di ricerca di base volto a chiarire i meccanismi d'azione della stimolazione diretta del tessuto nervoso.

Tale strategia sta aprendo prospettive che vanno molto al di là del ruolo terapeutico della DBS fin qui considerato. Il tema si intreccia con quello delle BCI, nel senso che la stimolazione può mirare al recupero o alla sostituzione di una funzione persa a causa di traumi o patologie. Nel caso delle BCI, lo scopo primario è quello di fornire a un'attività cerebrale integra un canale di output alternativo a quello fisiologico (motorio) compromesso. Sono anche allo studio, e hanno dimostrato potenzialità promettenti, dispositivi 'neuroprostetici' che si collocano all'altro estremo della catena di elaborazione cerebrale, e cioè la prima elaborazione sensoriale (per es., impianti cocleari o retinici), con i quali si intendono sostituire le proprietà di trasduzione dei segnali sensoriali da parte delle strutture che convogliano poi l'informazione agli stadi successivi di elaborazione.

È invece molto diverso il caso dei pazienti (che hanno sofferto, per es., danni da ictus) in cui l'attività di aree del cervello viene direttamente compromessa, e le usuali strategie riabilitative ottengono spesso risultati insoddisfacenti. Per il recupero di funzioni cerebrali compromesse, si sono affacciate di recente proposte innovative e affascinanti che, in una prospettiva di lungo termine, mirano a un approccio in cui si integrano la stimolazione elettrica del tessuto nervoso e l'accoppiamento diretto tra tessuto nervoso e dispositivi microelettronici. In questo senso si intravede per il futuro la convergenza tra linee di sviluppo ancora

embrionali e in parte separate, di cui nel prosieguo di questo saggio verrà fornita una panoramica attraverso alcuni esempi rappresentativi.

Sebbene i meccanismi siano ancora in gran parte da capire, la stimolazione elettrica diretta del tessuto nervoso modula l'attività dei neuroni coinvolti in maniera complicata, in funzione dei parametri e del sito di stimolazione. D'altra parte, secondo un'idea ormai acquisita in neurofisiologia, l'attività neuronale influenza le modificazioni nel tempo delle sinapsi, vale a dire delle giunzioni di comunicazione tra i neuroni. Si pensa che l'interazione con il mondo esterno (per es., gli stimoli sensoriali e la loro eventuale relazione con le azioni precedentemente compiute) e con il 'mondo interno' (la successione di stati mentali, con i pattern di attività neuronale corrispondenti), modulando continuamente l'attività dei neuroni, induca cambiamenti selettivi nell' 'efficacia' sinaptica con cui i segnali vengono scambiati tra i neuroni; ciò a sua volta cambierà l'attività neuronale connessa a una condizione sensoriale o mentale, e in questo ciclo continuo si esprimerebbe la plasticità che il cervello esibisce nell'adattarsi alle condizioni ambientali, nel pianificare decisioni appropriate, nel memorizzare e apprendere informazioni e le relazioni tra queste.

In particolare, appare acquisito che l'efficacia di una sinapsi aumenta (e quindi la trasmissione di informazione dal neurone presinaptico a quello postsinaptico è resa più efficace) quando il neurone pre- e quello postsinaptico sono entrambi ripetutamente attivi in una finestra temporale opportuna (la cosiddetta plasticità hebbiana, dal nome del neuropsicologo Donald Hebb che alla fine degli anni Quaranta concepì un meccanismo di questo tipo sotteso alla plasticità cerebrale). I dettagli delle condizioni che consentono questo potenziamento sinaptico (e il processo in qualche misura simmetrico di depotenziamento sinaptico) sono ancora oggetto di studio, e non è possibile in questa sede neanche riassumere lo stato della ricerca in tale ambito. È sufficiente accennare qui al fatto che, per scelte specifiche dei protocolli di stimolazione dei neuroni pre- e postsinaptici in vitro, si è osservato sistematicamente un potenziamento sinaptico quando gli impulsi generati dal neurone presinaptico precedono di una decina di millisecondi gli impulsi emessi dal neurone postsinaptico.

In un interessante esperimento, un gruppo guidato da Eberhard E. Fetz presso la University of Washington ha dimostrato come sia possibile indurre, mediante stimolazione elettrica diretta del tessuto nervoso, plasticità hebbiana in vivo, e osservarne un correlato comportamentale (Jackson, Mavoori, Fetz 2006). Questi ricercatori hanno infatti mostrato come risulti possibile indurre una riorganizzazione dell'output della corteccia motoria di una scimmia accoppiandone due siti mediante stimolazioni elettriche, mentre l'animale si comporta liberamente. In breve, dopo avere monitorato mediante elettromiografia i pattern motori relativi al

polso, utilizzando microstimolazioni sotto soglia (in grado cioè di attivare selettivamente i muscoli del polso, senza provocare il movimento) di due siti nella corteccia motoria responsabili per i movimenti del polso, i ricercatori hanno registrato gli impulsi emessi da neuroni vicini a uno dei siti corticali scelti, e li hanno inviati a un microchip che generava per ogni impulso registrato un impulso di stimolazione indirizzato al secondo sito. In questo modo si intendeva ricreare in vivo una delle condizioni che, come accennato sopra, si pensa producano potenziamento sinaptico. Si è osservato che dopo questo ‘condizionamento’, nel quale l’animale si muoveva in libertà senza dovere svolgere alcun compito specifico, gli output associati ai due siti accoppiati erano diventati molto più simili, coerentemente a quanto ci si sarebbe aspettato nel caso di un potenziamento hebbiano di sinapsi esistenti tra i neuroni delle due zone artificialmente accoppiate. Questa riorganizzazione dell’output motorio risultava stabile su tempi lunghi (oltre una settimana). Benché il lavoro citato descriva una ricerca di base, i suoi autori riconoscono esplicitamente le potenzialità connesse alla riabilitazione di pazienti con lesioni cerebrali: «Le connessioni artificiali potrebbero fornire una protesi neurale per sostituire nel sistema nervoso delle vie danneggiate in conseguenza di una lesione. [...] La stimolazione in tempo reale attivata a partire dalle registrazioni dell’attività neuronale durante movimenti volontari potrebbe fornire un metodo efficace per rafforzare selettivamente delle vie neuronali specifiche durante la riabilitazione» (Jackson, Mavoori, Fetz 2006, p. 59).

Indubbiamente il risultato appena descritto è notevole, ma è legittimo chiedersi se mirare a una riorganizzazione specifica dei pattern di connessioni sinaptiche sia un obiettivo realistico, almeno a breve termine. La conoscenza, in particolare per la corteccia, dei dettagli della connettività sinaptica non sembra tale da permettere, in generale, una ‘riprogrammazione microscopica’ di zone del cervello, per es. quelle circostanti una lesione ischemica. È comunque legittimo ipotizzare che se, mediante stimolazione, si rende genericamente più eccitabile il tessuto nervoso circostante una lesione, una qualche forma di riorganizzazione sinaptica abbia luogo. È già noto che nella fase postischemica il recupero – spesso molto parziale – è accompagnato da plasticità sinaptica e che nelle zone vicine a una lesione ischemica la componente inibitoria della comunicazione sinaptica è ridotta; una strategia basata sulla stimolazione diretta tenderebbe quindi ad amplificare meccanismi che si attivano spontaneamente o se stimolati dalla riabilitazione, in modo da favorire – come si desidererebbe – la generazione di percorsi vicari.

Un esempio notevole a sostegno del possibile ruolo attivo della stimolazione elettrica diretta di regioni corticali prossimali a una lesione localizzata è dato dal lavoro pubblicato nel 2003 da un gruppo del Medical center della University of Kansas, guidato da Randolph J. Nudo (Plautz, Barbay, Frost et al. 2003). Questi ricercatori, dopo avere addestrato una scimmia in un compito motorio che richiedeva l’uso di una mano, hanno

provocato una lesione nella zona della corteccia motoria che esprime la rappresentazione della mano. Dopo un tempo sufficiente a esaurire il recupero spontaneo (la capacità della scimmia di svolgere il compito manuale era comunque rimasta molto bassa), le regioni corticali vicine alla lesione sono state stimulate elettricamente per alcune settimane per mezzo di elettrodi collocati sulla superficie corticale, mentre la scimmia veniva sottoposta a una terapia riabilitativa. Dal punto di vista comportamentale, le prestazioni della scimmia sono significativamente migliorate dopo la fase di stimolazione, ed è stata osservata la ricostituzione di estese aree di rappresentazione della mano nelle aree corticali intorno alla lesione, in particolare in prossimità degli elettrodi di stimolazione. Questi e altri risultati suggeriscono che l'adozione combinata di stimolazione elettrica (che renda il tessuto più eccitabile e disponibile a una riorganizzazione sinaptica) e di terapia riabilitativa (che fornisca un contesto comportamentale per indirizzare la riorganizzazione sinaptica) potrebbe facilitare e accelerare il recupero della funzione motoria compromessa e migliorare in modo significativo l'esito finale (Brown, Lutsep, Weinand, Cramer 2006).

Si noti che nei casi descritti la procedura di stimolazione è 'ad anello aperto', nel senso che viene deciso un protocollo per la stimolazione e i parametri fisici di questa, e se ne osserva l'esito finale; non esiste alcun feedback (come la registrazione dell'attività nervosa durante il periodo di stimolazione) disponibile per l'adattamento dinamico del pattern di stimolazione alla risposta del tessuto nervoso, presumibilmente molto variabile a seconda dell'area cerebrale coinvolta e dipendente dal soggetto. È naturale pensare che il sistema potrebbe risultare più flessibile ed efficace, se si potessero accoppiare in loop chiuso la stimolazione elettrica e la registrazione dell'attività nervosa attraverso un dispositivo 'intelligente' in grado di usare in tempo reale le informazioni acquisite sulla seconda per ottimizzare i parametri della prima.

Lo stesso vale per possibili dispositivi dedicati al controllo delle crisi epilettiche, che si potrebbero basare non su una strategia di stimolazione cronica, ma su stimolazioni attivate da un dispositivo intelligente, a sua volta 'allertato' da segni anticipatori della crisi imminente sulla base dei segnali registrati in tempo reale (va detto a questo proposito che è tuttora aperto il problema, molto studiato, del riconoscimento affidabile dei segni anticipatori della crisi epilettica).

Queste osservazioni suggeriscono la possibile utilità di accoppiare il tessuto nervoso con dispositivi artificiali di registrazione/stimolazione.

Chip neuromorfi ed emulazione dell'attività nervosa

In qualunque senso specifico si intenda il termine emulare, è chiaro che esso implica un qualche livello di comprensione del funzionamento del sistema di cui si intende emulare il comportamento e la disponibilità di dispositivi di complessità e flessibilità adeguati.

Partiamo da un 'motore euristico' molto utilizzato: le simulazioni al computer. Immaginando di disporre di un buon modello teorico del comportamento dinamico del sistema neuronale in questione, le simulazioni numeriche al computer giocano un ruolo importante nella sua comprensione. La capacità di ricavare analiticamente le implicazioni dei modelli matematici è limitata, e le simulazioni svolgono la funzione di veri e propri 'esperimenti in silico', svolgendo una funzione euristica insostituibile nella validazione dei modelli e nella comprensione delle loro implicazioni.

Il livello di descrizione a cui si colloca la simulazione è una scelta importante. Molte simulazioni implementano modelli di neuroni e sinapsi molto semplificati, e mantengono un legame stretto con lo schema teorico; la complessità della simulazione cresce di pari passo all'evoluzione della descrizione teorica.

Esistono approcci più ambiziosi: nel 2005, presso l'École polytechnique fédérale di Losanna, è stato avviato, in collaborazione con l'IBM, un progetto (Blue brain project) che, utilizzando il supercomputer parallelo Blue Gene, con 8192 processori, mira a realizzare una simulazione realistica di un tipico modulo corticale (decine di migliaia di neuroni), includendo nella simulazione il maggiore numero possibile di dettagli morfologici e biofisici. Una tale simulazione realistica potrà svolgere in qualche caso una funzione sostitutiva dell'esperimento, o più probabilmente facilitare la concezione di esperimenti mirati a chiarire specifici aspetti; il leader del progetto, Henry Markram, ne definisce lo scopo come una 'ingegneria inversa' del cervello. D'altra parte, una critica all'approccio si basa sul fatto ovvio che un'ipotetica 'supersimulazione' in grado di incorporare ogni dettaglio del sistema simulato avrebbe una complessità confrontabile a quella del sistema stesso, e non aiuterebbe realmente a comprenderne la logica.

Probabilmente è corretto dire che il livello di descrizione a cui si colloca la simulazione non dovrebbe allontanarsi troppo da ciò che può essere incorporato nella formulazione teorica, in modo da mantenere con questa un rapporto di reciproca interazione.

Un'opzione diversa si basa non sulla simulazione, ma sulla realizzazione elettronica di sistemi neuromorfi, intesi come una vera e propria materializzazione del modello su silicio (e non una sua metafora digitale come

nella simulazione al computer), in grado di emularne il comportamento in tempo reale (e in tempo reale interagire con l'ambiente).

Nei chip neuromorfi, i modelli di neuroni e sinapsi sono realizzati attraverso circuiti analogici che ne riproducono la dinamica; nella formulazione pionieristica che nel 1989 Carver Mead (CalTech) illustrò nel libro *Analog VLSI and neural systems*, si poneva grande enfasi sul fatto che, utilizzando un particolare transistor in regime sotto-soglia, alcune primitive computazionali necessarie all'implementazione dei modelli erano automaticamente disponibili.

Questo settore di ricerca si colloca in una posizione intermedia tra la ricerca di base e le applicazioni ingegneristiche: alcune sue motivazioni derivano dalle seconde, mentre la magmaticità del suo sviluppo appartiene senz'altro alla prima.

Una rete neuronale su chip neuromorfo non è, come accade anche per i complicatissimi chip digitali che fanno funzionare i nostri computer, una macchina a stati finiti, cioè un automa che a seconda delle condizioni passa deterministicamente da uno stato a un altro in un repertorio definito. L'elettronica è analogica, il chip spesso si interfaccia con sorgenti 'naturali' (visive, sonore) e, a seconda dell'architettura e del modello implementato, il repertorio dei comportamenti dinamici esibiti può essere molto ricco. In altre parole, effettuare esperimenti con un chip neuromorfo implica una comprensione della dinamica del sistema implementato che va molto al di là della conoscenza elettronica dei circuiti realizzati, e richiede un dialogo continuo con la teoria.

Nei dispositivi neuromorfi convivono oggi l'ambizione di costruire in prospettiva una vera e propria 'neurofisiologia su silicio', e l'obiettivo di sviluppare dispositivi semplici, di basso costo e di bassissimo consumo, che realizzano (mantenendo una qualche ispirazione al funzionamento del sistema nervoso) prestazioni competitive rispetto ad approcci convenzionali (Del Giudice 2006; Indiveri, Chicca, Douglas 2009).

È interessante, dal punto di vista sia applicativo sia della ricerca di base, il fatto che in un sistema neuromorfo possono coesistere nello stesso hardware stadi 'sensoriali' e stadi di elaborazione. Inoltre, come nel sistema nervoso reale, la comunicazione tra gli elementi del sistema è asincrona (la dinamica del sistema non possiede un 'orologio' che temporizzi gli eventi, un'altra differenza importante rispetto al mondo digitale) e basata su spikes (impulsi) stereotipati, con uno schema 'uno a molti' (ogni spike generato viene indirizzato in generale a molti destinatari).

Il sistema deve quindi gestire un onere di comunicazione rilevante che nel cervello si avvale di un livello molto elevato di connettività fisica tra i neuroni. Sono state quindi elaborate strategie di comunicazione per i sistemi neuromorfi che, mantenendo il carattere impulsivo e asincrono della comunicazione tra i neuroni, cercano di compensare l'attuale impossibilità di duplicare il livello di connettività del sistema nervoso. Uno schema di comunicazione di questo tipo (AER, Address-Event Representation), proposto originariamente nel 1993, ha trovato diverse applicazioni. Recenti sviluppi stanno arricchendo lo schema AER della possibilità di gestione programmata, interfacciando il sistema neuromorfo con un computer, in modo da potere pianificare e gestire dei veri e propri 'esperimenti' complessi su sistemi neuromorfi. Altre possibilità sono allo studio per superare il collo di bottiglia costituito dalla connettività sinaptica su chip, tra cui la realizzazione di chip tridimensionali.

Nella prospettiva di veri e propri dispositivi 'neuromimetici', appaiono molto interessanti alcuni tentativi di integrazione tra chip neuromorfi e dispositivi di stimolazione elettrica del tessuto nervoso. Si tratta del tentativo di sostituzione funzionale di porzioni di tessuto nervoso lese mediante l'inserimento di dispositivi elettronici neuromorfi in grado di realizzare la stessa relazione input-output della regione lesa e inattiva. Questa strategia, ambiziosa e apparentemente visionaria, viene già adottata seriamente da diversi gruppi di ricerca.

Tenendo conto dell'enorme complessità della connettività sinaptica nella corteccia, e della difficoltà di isolare le vie di input e di output di una specifica popolazione neuronale corrispondente alla regione lesa, appare naturale – come di fatto è avvenuto – avvicinarsi al problema partendo da regioni cerebrali che da un lato siano rappresentative di situazioni patologiche di interesse, dall'altro posseggano un'organizzazione sinaptica nota e più semplice di quella corticale. In effetti, due sistemi considerati recentemente da gruppi impegnati in questa linea di ricerca sono l'ippocampo e il cervelletto.

Ippocampo

Questa struttura subcorticale è coinvolta in una molteplicità di funzioni, tra cui la memoria 'episodica' e la memoria spaziale.

L'organizzazione sinaptica dell'ippocampo comprende tre regioni tra loro collegate secondo un sistema a cascata: la prima, il 'giro dentato', riceve informazioni dalla corteccia e forma connessioni sinaptiche con

l'area successiva, CA3. I neuroni di CA3 ricevono anche input corticale diretto, e formano connessioni ricorrenti tra loro, costituendo una rete con feedback elevato, fittamente interconnessa. CA3 inoltre si connette sinapticamente con la terza regione, CA1, che a sua volta restituisce informazioni a molte aree della corteccia.

Un gruppo della University of South California, guidato da Theodore W. Berger, sta studiando la possibilità di sostituzione funzionale (in vitro) di una porzione della regione CA3 con un dispositivo microelettronico (Berger, Chapin, Gerhardt et al. 2008). Il progetto si propone di dimostrare la fattibilità, in prospettiva, di un dispositivo protesico bidirezionale in grado di sostituire una funzione cognitiva compromessa, ampliando così notevolmente l'ambito applicativo rispetto ai dispositivi protesici puramente sensoriali o motori.

Il progetto contempla l'utilizzo di una preparazione di tessuto ippocampale in vitro, e prevede: a) la caratterizzazione delle proprietà dinamiche input-output della regione in questione sulla base di registrazioni elettrofisiologiche, e la determinazione in forma matematica della corrispondente funzione di trasferimento; b) l'eliminazione chirurgica della porzione di tessuto nell'area CA3; c) la progettazione di un dispositivo elettronico che realizzi in tempo reale la dinamica prevista dal modello matematico; d) la generazione dei segnali che emulano l'output di CA3.

Sebbene il progetto non preveda un'emulazione della funzione lesa sulla base di un modello microscopico, esso rappresenta un tentativo pionieristico nella direzione dell'emulazione e sostituzione di una funzione cognitiva complessa.

Cervelletto

Un altro progetto multicentrico, ReNaChip, iniziato nel 2008 e finanziato dall'Unione Europea, mira a dimostrare la possibilità di sostituzione funzionale di una porzione di tessuto nel cervelletto.

Il cervelletto è anch'esso coinvolto in una varietà di funzioni, tra cui l'apprendimento di movimenti complessi e il controllo della loro esecuzione fluida e 'automatica', l'apprendimento associativo di movimenti discreti e, in generale, diversi aspetti della memoria 'procedurale'.

Una lunga serie di esperimenti ha dimostrato negli scorsi decenni che il cervelletto è in particolare coinvolto nell'apprendimento pavloviano di una risposta motoria discreta. In un classico esempio, a un animale (in genere un coniglio o un ratto) vengono sottoposti ripetutamente in sequenza un suono e, con un ritardo, un

fastidioso soffio d'aria nell'occhio che stimola la chiusura della palpebra. Secondo il paradigma di condizionamento classico, dopo un po' l'animale impara a interpretare il suono come un segnale predittivo dello stimolo sgradevole, e chiude la palpebra prima che arrivi il soffio. I circuiti nervosi coinvolti nell'apprendimento e nell'esecuzione di questa risposta motoria condizionata sono oggi ben compresi, e coinvolgono una serie di popolazioni neuronali nel cervelletto. In particolare, se l'intervallo tra il suono e il soffio è abbastanza lungo, l'animale può essere condizionato a chiudere la palpebra solo alla fine dell'intervallo, appena prima del soffio. Il cervelletto gioca un ruolo specifico nell'apprendimento di questa temporizzazione, e una lesione impedisce all'animale di apprenderla. Il progetto ReNaChip prevede: la lesione localizzata e specifica di una popolazione neuronale nel cervelletto; lo sviluppo di micro- e nanoelettrodi per la registrazione cronica dell'attività nervosa che codifica l'input (sensoriale) all'area considerata, e lo sviluppo di tecniche di analisi del segnale per il riconoscimento e l'isolamento degli eventi sensoriali; la codifica degli eventi sensoriali come input del chip neuromorfo pensato in funzione sostitutiva della regione lesa coinvolta nel condizionamento, sulla base di un modello teorico; la realizzazione di una corrispondenza soddisfacente tra il comportamento dinamico del chip e quello della popolazione neuronale lesa; la conversione dell'output del chip per l'inoltro alle regioni bersaglio della zona lesa (nuclei motori del tronco encefalico), allo scopo di indurre la risposta motoria appresa.

In altre parole: l'animale, incapace dopo la lesione di apprendere la temporizzazione della risposta condizionata, dovrebbe recuperare tale capacità ed esprimere il comportamento corrispondente.

Il successo, anche parziale, di un simile progetto, costituirebbe un passo in avanti nella dimostrazione della fattibilità di sistemi ibridi in cui chip neuromorfi che emulano le proprietà di elaborazione di specifiche popolazioni neuronali sono accoppiati cronicamente al tessuto nervoso in modo da sostituire una funzione compromessa da una lesione localizzata.

Una teoria necessaria

Queste linee di ricerca coprono un orizzonte molto vasto di problemi aperti: a) la decodifica dell'attività neuronale associata non soltanto all'intenzione motoria, ma anche ai processi di integrazione senso-motoria e ai processi di decisione; b) lo sviluppo di sistemi BCI a loop chiuso in grado di sfruttare efficacemente l'adattamento dell'attività neuronale in funzione del feedback sull'azione motoria effettuata; c) la comprensione dei meccanismi di azione della stimolazione diretta del tessuto nervoso a diverse scale, e in particolare dei processi di plasticità sinaptica associati; d) lo sviluppo tecnologico di sistemi impiantabili,

cronicamente di minimo impatto e stabili per quanto riguarda la qualità del segnale registrato; e) lo sviluppo di sistemi microelettronici neuromorfi in grado di emulare adeguatamente l'attività delle popolazioni neuronali di cui si vuole la sostituzione funzionale. In molti di questi ambiti, il semplice accumulo di conoscenza empirica ottenuto da approcci euristici al problema non sarà probabilmente sufficiente. Il sistema è molto complicato e delicato, e sarebbe utile una buona bussola per navigare in mari così vasti e pericolosi: una teoria.

Una teoria matura, in grado di fornire un approccio sistematico e predittivo a problemi così complessi, non è ancora a nostra disposizione. La molteplicità di scale spaziali e temporali coinvolte è certamente una delle maggiori difficoltà che si incontrano nello sviluppo di un approccio teorico alla dinamica di popolazioni neuronali: si va dalla scala della singola sinapsi a quella del singolo neurone, a quella di microcircuiti neuronali (per es., le microcolonne, comprendenti decine di migliaia di neuroni), a quella di aree comprendenti decine di milioni di neuroni e comunicanti tra loro in modo complicato; e ancora, dalla scala temporale dei millisecondi, caratteristica della dinamica dei canali ionici della membrana neuronale, a quella, invece, dei secondi per le funzioni cognitive complesse, alle scale caratteristiche dei processi di regolazione ormonale dell'attività nervosa.

Modelli teorici che descrivano a un livello macroscopico funzioni cognitive complesse risultano spesso troppo generici, cioè troppo poco vincolati dalla corrispondenza tra le loro predizioni e i dati sperimentali; modelli microscopici, che incorporino la conoscenza biofisica dettagliata della dinamica del singolo neurone, e magari una descrizione particolareggiata dei processi biochimici sinaptici, sono decisamente troppo complessi per prestarsi alla descrizione di sistemi con numeri elevatissimi di neuroni e sinapsi. Appare naturale immaginare una gerarchia di descrizioni teoriche, dal livello microscopico a quello macroscopico, passando per una serie di livelli 'mesoscopici', in cui nel passaggio da un livello a quello successivo della gerarchia la descrizione più fine del primo vincoli la definizione degli elementi nel secondo, conservando, sebbene a spese del 'potere risolutivo', l'aggancio con la biologia e la fisica degli elementi costitutivi del sistema.

Un tale processo di riduzione gerarchica è stato spesso completato con successo in fisica; il caso in esame è per molti versi più complicato, ma non è probabilmente una coincidenza se in questa fase esplosiva di ricerca interdisciplinare in neuroscienze un buon numero di ricercatori provenienti dalla fisica teorica ha fatto della 'neuroscienza teorica' il proprio soggetto principale di ricerca.

Una strategia utile (peraltro già ampiamente adottata) per la definizione dei modelli consiste nell'allestire una gerarchia di tecniche sperimentali in grado di sondare l'attività del tessuto nervoso a diverse scale spaziali e temporali. Passi veloci in avanti su questa strada sono stati compiuti negli ultimi anni, e molte nuove tecniche si sono affiancate a quelle tradizionalmente disponibili: a) la registrazione in vitro del singolo neurone in patch clamp, che dà accesso alla dinamica dei singoli canali ionici di membrana del singolo neurone; b) la registrazione extracellulare (in vitro e in vivo) dell'attività del singolo neurone (e di popolazioni neuronali in prossimità dell'elettrodo); c) la registrazione in vitro da colture neuronali o fettine di tessuto nervoso con matrici di elettrodi (MEA, Multi-Electrode Array), in grado di registrare e/o stimolare elettricamente in modo da ricostruire pattern spazio-temporali di attività; d) la registrazione in vivo con matrici di un centinaio di microelettrodi (come quelli impiantati da Donoghue); e) l'elettroencefalogramma e l'elettrocorticogramma, che forniscono mappe ad alta risoluzione temporale dell'attività elettrica media in porzioni macroscopiche del cervello; f) le diverse tecniche di imaging ottico, che restituiscono con buona risoluzione spaziale informazioni legate all'attività nervosa su larga scala; g) la risonanza magnetica funzionale, che fornisce un segnale dipendente dal livello variabile di ossigenazione del tessuto nervoso (con bassa risoluzione temporale; anche se il legame del segnale con l'attività nervosa è ancora oggetto di studio, questa tecnica è molto utilizzata per la sua non invasività, che la rende idonea a ricerche sull'uomo).

In corrispondenza con l'evolversi delle tecniche sperimentali, modelli teorici sono stati elaborati, a partire dagli anni Cinquanta del 20° sec., per descrivere la dinamica neuronale a diversi livelli. Le equazioni di Hodgkin-Huxley, che descrissero per la prima volta con successo la dinamica dei canali ionici connessa alla generazione dell'impulso da parte del neurone (proprietà attive del neurone); la cosiddetta teoria del cavo, che descrive le proprietà di propagazione di una perturbazione elettrica in una fibra nervosa (proprietà passive del neurone), fino a una serie di modelli che forniscono descrizioni semplificate e sintetiche delle proprietà del singolo neurone. Tra questi, il modello di neurone integrate-and-fire (IF), descritto da una sola variabile dinamica che rappresenta il potenziale di membrana del neurone (puntiforme). Tale potenziale integra nel tempo l'input afferente al neurone (in condizioni fisiologiche, la sequenza di impulsi eccitatori – depolarizzanti – o inibitori – iperpolarizzanti – emessi da altri neuroni, presinaptici rispetto a quello considerato); se il potenziale raggiunge una soglia, l'istante in cui questo avviene definisce il tempo di emissione di un impulso da parte del neurone (il meccanismo di generazione dell'impulso non è esplicitamente incluso nel modello), il potenziale viene riportato a un valore di riferimento e l'integrazione riprende (dopo un 'periodo refrattario'). Il modello di neurone IF si è dimostrato abbastanza semplice da affrontare la descrizione teorica degli stati di equilibrio e della dinamica collettiva di reti di neuroni tra loro interagenti attraverso connessioni sinaptiche.

Sulla base del modello di neurone IF si sono costruiti con successo modelli di reti complesse di neuroni sinapticamente connessi e se ne sono studiate le proprietà dinamiche in relazione ai profili di attività neuronale osservati in esperimenti di elettrofisiologia in vitro e in vivo. Si sono così caratterizzate le proprietà di trasmissione dell'informazione di una rete di neuroni e le relazioni tra gli stati collettivi di equilibrio della rete e l'evoluzione delle connessioni sinaptiche (per es., secondo il paradigma hebbiano sopra ricordato).

La descrizione dell'elaborazione complessa sottesa a funzioni cognitive, frutto di molte popolazioni neuronali che operano di concerto, è ancora oltre le capacità di descrizione di questo tipo di modelli, e richiederà probabilmente una formulazione a livello gerarchico superiore, in cui, per es., la dinamica di singole popolazioni neuronali possa essere sintetizzata in variabili dinamiche 'collettive'.

Quale sintesi?

Una descrizione teorica in grado di supportare un approccio sistematico ai temi che abbiamo toccato (BCI, stimolazione del tessuto nervoso a scopo terapeutico e riabilitativo, emulazione dell'attività nervosa in dispositivi elettronici) si troverà necessariamente alla convergenza di sviluppi complementari attualmente abbastanza separati, che affrontano il problema da prospettive e su scale diverse. Da un lato le teorie che cercano di descrivere il comportamento collettivo di popolazioni neuronali come proprietà emergenti di reti in cui, a beneficio della trattabilità del problema, si adotta una semplificazione radicale della dinamica dei singoli neuroni e sinapsi. Dall'altro, approcci sintetici in cui si parte direttamente da una descrizione macroscopica. Tra questi estremi, e le loro molte varianti, continueranno a giocare un ruolo approcci 'a scatola nera', in cui si cerca una descrizione fenomenologica della dinamica del sistema neuronale di interesse a partire dalle sue relazioni input-output sperimentalmente determinate, formulate matematicamente e trasferibili poi in dispositivi elettronici o di calcolo.

I progressi nelle tecniche di acquisizione dei segnali associati all'elaborazione nervosa forniscono una cornice sempre più vincolante, e dunque efficace, nel determinare la forma di una teoria dinamica predittiva dell'attività nervosa.

L'evoluzione e l'integrazione dei settori di ricerca, di cui si è fatto cenno in questo breve saggio, richiederanno la formazione di una comunità scientifica nuova, di cui si intravedono già i contorni, composta da ricercatori provenienti da diverse discipline. La necessità di questo processo di integrazione è attualmente ritenuta

strategica in diversi Paesi. Si percepisce che a questo fine non bastano iniziative 'interdisciplinari' di singoli gruppi, e magari il corrispondente finanziamento delle relative proposte di progetto; è necessario favorire la costituzione di strutture scientifiche stabili capaci di attrarre e dare prospettive a giovani bravi e motivati e in cui, nella chiarezza della missione scientifica e nella quotidiana interazione tra ricercatori con formazione e competenze diverse, si definisca e si consolidi una 'scienza del cervello' multidisciplinare in grado di raccogliere le sfide entusiasmanti che ci aspettano.

Neurotrasmissione e neurotrasmettitori

Enciclopedia della Scienza e della Tecnica (2007)

di Vittorio Erspamer

I neurotrasmettitori sono sostanze chimiche liberate dalle terminazioni nervose in risposta a un impulso nervoso. Una volta rilasciati, essi si diffondono nella giunzione sinaptica esistente fra la terminazione nervosa e la cellula bersaglio e, dopo essersi legati ai recettori specifici di quest'ultima, danno inizio alla cascata di eventi biochimici che portano alla stimolazione o all'inibizione cellulare. La trasmissione chimica dell'impulso nervoso, fra neurone e neurone e fra neurone e cellula non neuronale (per es., fibra muscolare e cellula ghiandolare), è largamente predominante sulla trasmissione elettrica diretta. La prima dimostrazione sperimentale della trasmissione chimica dell'impulso nervoso risale agli anni Venti del XX sec., quando si vide che stimolando elettricamente il nervo vago di una rana si liberava una sostanza che provocava sul cuore gli stessi effetti della stimolazione vagale; tale sostanza non era altro che l'acetilcolina. Altri studiosi nello stesso periodo, e con esperimenti simili, dimostrarono che anche il funzionamento del sistema nervoso simpatico avveniva per via umorale attraverso la liberazione di una sostanza, poi identificata nella noradrenalina.

Alla fine degli anni Novanta, i neurotrasmettitori conosciuti sono più di cinquanta e il loro numero è destinato a crescere ancora. Si tratta, oltre che dell'acetilcolina e della noradrenalina, di circa una dozzina di monoammine e amminoacidi, di alcuni derivati purinici e di numerosi peptidi. È stato chiarito che la funzione dei neurotrasmettitori non è solo quella di trasferire il segnale, eccitatorio oppure inibitorio, da una terminazione nervosa all'organo effettore postsinaptico, ma anche quella di regolare, attraverso sinapsi interassoniche o recettori presinaptici, la liberazione del trasmettitore dalla terminazione nervosa. Molti trasmettitori poi, soprattutto peptidici, sembrano modificare il livello di eccitabilità della cellula bersaglio

mediante effetti postsinaptici di lunga durata, piuttosto che eccitandola direttamente. Si parla, in questo caso, di neuromodulatori e di neuromodulazione degli effetti del trasmettitore primario.

Neurotrasmettitori e neuromodulatori svolgono la loro funzione interagendo con recettori specifici sulla membrana della cellula bersaglio. In questo campo si è scoperto che tutte le molecole trasmettrici possiedono più recettori distinti, il cui numero tende ad aumentare con il progredire delle ricerche sulla struttura molecolare e sulla farmacologia dei siti di legame. Si calcola, inoltre, che ognuno dei 15-20 miliardi di neuroni che compongono il sistema nervoso centrale possa entrare in contatto con 5000-10.000 altri neuroni. Questi contatti vengono stabiliti tipicamente per mezzo della trasmissione assodendritica, cioè fra l'assone di una cellula nervosa e i dendriti di un'altra; ma essi possono realizzarsi anche attraverso la trasmissione dendrodendritica, cioè fra i dendriti di più cellule vicine, o quella somatosomatica, cioè fra i corpi cellulari di neuroni vicini. Tutte le attività nervose hanno quindi come prerequisito la liberazione di neurotrasmettitori e di neuromodulatori e la conseguente attivazione dei relativi recettori, che possono essere recettori-canale ionico, i cui segnali sono trasdotti in correnti ioniche della durata di pochi millisecondi, oppure recettori accoppiati a proteine G, in cui il segnale viene a sua volta trasdotto da una modificazione biochimica relativamente lenta (talora di secondi). Se la liberazione sarà normale e normale sarà dunque la disponibilità recettoriale, si avrà l'equilibrio neurologico e psichico.

sommario

1. Categorie principali. 2. La neuromodulazione: i neuropeptidi. 3. Cosintesi e cosecrezione neuronale di monoammine e peptidi. □ Bibliografia

1. Categorie principali

Sia il funzionamento normale del sistema nervoso sia molti dei sintomi delle malattie del sistema nervoso centrale si possono ricondurre ad alterazioni quantitative o a squilibri nella disponibilità biologica dei neurotrasmettitori, oppure a un'alterata densità o reattività dei rispettivi recettori. Quasi tutti gli agenti terapeutici attualmente noti, attivi sul sistema nervoso centrale (gli psicofarmaci), sembrano agire attraverso interferenze positive o negative nella trasmissione nervosa, funzionando di volta in volta come agonisti o antagonisti per i diversi recettori. I disturbi della comunicazione nervosa possono essere primari (per es., distruzione autoimmune di recettori, alterazioni reversibili nella sintesi e nel trasporto dei trasmettitori o nell'espressione dei recettori) o secondari, dovuti a eventi degenerativi congeniti o acquisiti che sconvolgono irrimediabilmente gli aspetti biochimici e morfologici del neurone. Qui di seguito procederemo a una breve panoramica dei principali neurotrasmettitori classici.

Trasmettitori amminoacidici

Da un punto di vista quantitativo, gli amminoacidi sono i trasmettitori più diffusi nel sistema nervoso centrale dei Mammiferi ed entrano in gioco nella maggior parte dei circuiti neuronali rapidi. In base a studi neurofisiologici vengono divisi in due classi generali: i trasmettitori eccitatori, quali il glutammato e l'aspartato, e quelli inibitori, quali l'acido γ -amminobutirrico, la glicina e la taurina. Gli amminoacidi bicarbossilici glutammato e aspartato vengono liberati dalle terminazioni nervose e successivamente inattivati, quindi resi inutilizzabili, da un sistema di ricaptazione (reuptake) ad alta affinità. La trasmissione da amminoacidi eccitatori è determinante per la sopravvivenza, la maturazione e la crescita dei neuriti e per lo sviluppo delle connessioni sinaptiche. Se liberati in eccesso, tuttavia, come nel caso dell'ischemia cerebrale, agiscono come neurotossine e provocano la morte della cellula nervosa, aggravando ed estendendo i danni dell'evento ischemico (eccitotossicità).

L'acido γ -amminobutirrico (GABA) è il più importante e diffuso neurotrasmettitore inibitore del sistema nervoso centrale dei Mammiferi. Si origina in massima parte per trasformazione enzimatica del glutammato e, dopo essere stato liberato dai neuroni GABAergici, viene riassorbito in larga misura dalle terminazioni nervose. Gli effetti del GABA sono mediati da due diversi recettori, indicati come GABAA, più diffuso e prevalentemente postsinaptico, e GABAB. L'attivazione del recettore GABAA induce un aumento della permeabilità della membrana agli ioni Cl^- , generando un potenziale inibitorio rapido, mentre il GABAB è un recettore accoppiato a una proteina G che controlla l'apertura dei canali del K^+ . Il GABA influenza, in parte inibendo la liberazione di altri trasmettitori, l'attività locomotoria, i riflessi cardiovascolari, la funzione ipofisaria e la sfera dell'emotività. Si ritiene che il GABA sia implicato, direttamente o indirettamente, nella patogenesi di varie malattie, quali il morbo di Parkinson, l'epilessia, la schizofrenia e la demenza senile. Inoltre molti farmaci di uso comune come ansiolitici, ipnotici, antiepilettici e antispastici devono le loro proprietà all'interazione con il sistema GABAergico. Altri due trasmettitori amminoacidici, le cui proprietà non sono ancora ben definite, sono la glicina e la taurina, che esercitano entrambe un'azione prevalentemente inibitrice. La glicina, il più semplice degli amminoacidi, è considerata il principale trasmettitore spinale e si ritiene eserciti una marcata attività inibitrice fra i neuroni interspinali e i neuroni motori. Per la taurina (acido 2-amminoetansulfonico) sono stati postulati interventi inibitori sui neuroni della retina.

Acetilcolina

Il sistema delle fibre colinergiche, che liberano alle loro terminazioni acetilcolina (ACh), ha vastissima diffusione sia nel sistema nervoso periferico sia in quello centrale. Nel sistema nervoso periferico sono colinergiche tutte le fibre pregangliari, simpatiche e parasimpatiche, quelle postgangliari parasimpatiche e le

fibre motorie somatiche, quelle cioè che innervano la muscolatura scheletrica volontaria. Nel sistema nervoso centrale il sistema colinergico, di tipo prevalentemente eccitatorio, ha estese ramificazioni nel midollo spinale, nel talamo, nel sistema limbico e nella corteccia. In tutte le terminazioni colinergiche, l'acetilcolina assicura una neurotrasmissione rapida, ma generalmente fugace per la pronta inattivazione del mediatore a opera della colinesterasi. Affinché l'acetilcolina espliciti in modo ottimale le sue essenziali funzioni negli organi viscerali e nel sistema nervoso centrale, è necessario che sintesi, liberazione, agganciamento recettoriale e inattivazione si svolgano in modo armonico. Eccessi o difetti nella disponibilità del mediatore e alterazioni nella densità dei recettori portano a gravi perturbazioni nella funzione dei visceri, della muscolatura striata e dell'attività nervosa centrale.

Un eccesso di acetilcolina può essere provocato da alcune tossine animali che facilitano la liberazione massiva della sostanza da tutte le fibre colinergiche. Tale fenomeno si verifica in seguito all'apporto esogeno di sostanze ACh-simili (per es., la muscarina di *Amanita muscaria* e di altri funghi), ma soprattutto per il blocco reversibile o irreversibile dell'acetilcolinesterasi operato dagli inibitori di questo enzima. Fra di essi vi sono la fisostigmina e alcaloidi similari, importanti da un punto di vista terapeutico, e gli esteri organofosforici, largamente usati in agricoltura come pesticidi e importanti da un punto di vista tossicologico. L'antidoto per eccellenza nell'avvelenamento da funghi muscarinici è l'atropina, mentre in caso di avvelenamento da esteri organofosforici la terapia atropinica deve essere integrata con farmaci in grado di ripristinare la normale attività della colinesterasi.

Altrettanto grave è il difetto nella disponibilità di acetilcolina imputabile a una carenza nella sua produzione e liberazione, al blocco dei recettori a opera dei suoi antagonisti e alla riduzione della popolazione recettoriale. Un deficit nella liberazione di acetilcolina può essere provocato da farmaci e tossine: un esempio classico è il blocco della produzione e della liberazione del mediatore in corrispondenza della placca motrice, provocato dalla tossina botulinica, con conseguente paralisi flaccida. In caso di degenerazione e morte di neuroni colinergici centrali si verificano, inoltre, gravi difetti nella disponibilità del neurotrasmettitore, responsabili di malattie quali il morbo di Alzheimer e di forme degenerative senili dello stesso tipo. Il blocco dei recettori colinergici a opera di antagonisti può riguardare soltanto i recettori muscarinici – che sono recettori accoppiati a proteine G e di cui esistono tre diversi sottotipi (bloccati, per es., dall'atropina) –, solo i recettori nicotinici – che sono recettori-canale (i recettori della placca motrice bloccati dal curaro e quelli dei gangli autonomi dalla nicotina) – oppure entrambi (bloccati da certe tossine animali). A livello periferico, tale blocco è causa di riduzione dell'attività motoria dei visceri, di aritmie cardiache, di paralisi flaccida del muscolo scheletrico, mentre a livello centrale provoca disordini psichici di varia natura. La paralisi flaccida indotta nel muscolo scheletrico dai derivati semisintetici del curaro e dei composti curarosimili viene ampiamente sfruttata in anestesia chirurgica e nel trattamento delle gravi sindromi spastiche.

Catecolammine

Le tre catecolammine biogene, dopamina, noradrenalina e adrenalina, hanno una struttura chimica comune, consistente in un anello benzenico con due gruppi ossidrilici adiacenti e una catena laterale etilamminica. La dopamina è prevalentemente contenuta nei neuroni del sistema centrale, mentre la noradrenalina è localizzata soprattutto nelle terminazioni nervose simpatiche del sistema nervoso periferico e di quello centrale; l'adrenalina, infine, è presente soprattutto nella midollare del surrene, da dove viene massivamente liberata nel torrente circolatorio in seguito a paura, rabbia e stress, e risulta invece presente in misura assai limitata nei neuroni del sistema nervoso centrale. I neuroni contenenti catecolammine sono costituiti da un corpo cellulare e da un lungo assone con terminazioni molto ramificate, ricche di varicosità, così che ogni neurone può innervare migliaia di cellule bersaglio. Nelle terminazioni nervose le ammine sono immagazzinate in piccole vescicole a nucleo denso, mentre nella midollare del surrene sono presenti nei granuli cromaffini. In risposta a stimoli adeguati avviene un processo di esocitosi, che comporta un'iniziale adesione della vescicola alla membrana plasmatica, la sua successiva rottura e lo svuotamento di tutto il contenuto vescicolare, costituito non solo dalle catecolammine ma anche da altri costituenti solubili della vescicola, quali adenosintrifosfato e proteine enzimatiche.

È stato accertato che la liberazione delle catecolammine dalla terminazione nervosa è finemente regolata da recettori presinaptici posti sulla terminazione stessa, i cosiddetti 'autorecettori', sensibili alla concentrazione delle ammine nella fessura sinaptica. Le catecolammine vengono sintetizzate a partire dall'amminoacido tirosina nel corpo cellulare del neurone, da dove vengono convogliate alla terminazione nervosa mediante il flusso assoplasmatico. Tutti gli enzimi coinvolti nella sintesi delle catecolammine sono sotto il controllo neuroumorale e ormonale, che consentono di mantenere costante la concentrazione delle catecolammine sia nei neuroni simpatici sia nella midollare del surrene. Nel sistema nervoso centrale e in quello periferico sono localizzati recettori di membrana per le catecolammine, distinti in due popolazioni: α e β , costituite a loro volta da sottotipi recettoriali. Le catecolammine quindi vengono rimosse o inattivate attraverso vari processi: il riassorbimento da parte delle terminazioni nervose dei neuroni che le hanno liberate o di cellule non neuronali; l'attacco enzimatico operato dalla monoamminossidasi (MAO) e dalla catecol-O-metiltransferasi (COMT); la rimozione per diffusione nel circolo generale.

La dopamina (3,4-diidrossifenilalanina) è la prima ammina catecolica che si forma nel corso della biosintesi della noradrenalina. Trascurata per lungo tempo a causa della sua scarsa attività simpaticomimetica periferica, solo dopo il 1950 essa è stata riconosciuta come uno dei costituenti normali del cervello, dove fra le catecolammine occupa un posto preminente, e di alcuni nervi autonomi simpatici periferici. Nel cervello la maggior parte dei nuclei dopaminergici è localizzata nella substantia nigra e nel tegumento ventrale, con

grosse proiezioni verso il neostriato, la corteccia limbica (proiezioni mesocorticali) e altre strutture limbiche (proiezioni mesolimbiche). Altra importante localizzazione di neuroni dopamminergici si ha nell'ipotalamo ventrale con irradiazioni verso numerosi nuclei della base. Il sistema dopamminergico nigrostriatale ha un ruolo importante nella regolazione dei riflessi posturali e nell'inibizione dell'attività motoria, quello mesolimbico interferisce nelle manifestazioni della vita emotiva, mentre quello mesocorticale sembra coinvolto nella funzione cognitiva. I neuroni dopamminergici tuberoinfundibolari, inoltre, giocano un ruolo di rilievo nell'inibizione della secrezione di prolattina da parte delle cellule mammatrope dell'adenipofisi e nella secrezione dell'ormone luteinizzante. Infine, come varie altre sostanze attive amminiche e peptidiche, anche la dopamina interviene nell'assunzione di cibo e acqua.

A livello del sistema nervoso periferico il sistema dopamminergico sembra di particolare importanza nella regolazione del flusso ematico renale (vasodilatazione). Non fa meraviglia, date le molteplici e importanti funzioni della dopamina, che alterazioni in difetto o in eccesso della sua disponibilità e modificazioni nella densità dei suoi recettori, causate da patologie spontanee o indotte da farmaci, possano essere causa, rispettivamente, di gravi forme neurologiche o stare alla base di cospicui benefici terapeutici. Fra le malattie da deficit di dopamina la più nota è il morbo di Parkinson, attribuito a una carenza della trasmissione dopamminergica nell'ambito del sistema nigrostriatale, dovuta alla perdita di cellule nella substantia nigra. La schizofrenia, al contrario, è attribuita da alcuni studiosi a un eccesso di attività dopamminergica, forse imputabile a un aumento nella densità dei recettori dopamminergici.

La noradrenalina, o norepinefrina o levarterenolo, si forma per idrossilazione della catena laterale della molecola della dopamina, mediata dalla dopamina β -idrossilasi. L'ipotesi iniziale che l'adrenalina demetilata fosse il principale mediatore coinvolto nella trasmissione nervosa, da parte delle fibre postgangliari simpatiche, è stata definitivamente convalidata da Hans von Euler-Chelpin nel 1946. La noradrenalina è localizzata soprattutto nelle terminazioni simpatiche periferiche e centrali. A livello periferico essa rappresenta il mediatore di gran lunga preponderante fra quelli liberati dalle fibre postgangliari simpatiche: nella midollare del surrene costituisce il 10-20% delle catecolammine totali, in certi feocromocitomi il 97%. Nel sistema nervoso centrale le fibre noradrenergiche prendono origine dai corpi cellulari situati prevalentemente nel locus coeruleus, nel ponte e in certe zone della formazione reticolare, dai quali si proiettano a lunga distanza verso svariate zone cerebrali.

Le funzioni dei neuroni noradrenergici centrali sono solo in parte definite. È noto che essi interferiscono nell'assunzione del cibo, nell'attenzione e nella vigilanza, nel sonno e nella veglia, nel controllo dell'emotività e nella regolazione della pressione del sangue. In periferia l'azione delle fibre noradrenergiche si identifica in pratica con quella provocata dalla stimolazione simpatica e interessa vasi, cuore, muscolatura liscia gastrointestinale, fegato e tessuto adiposo. Da queste proprietà scaturiscono le azioni farmacologiche

periferiche predominanti della noradrenalina, che consistono in una potente azione vasocostrittrice, estesa anche alla muscolatura scheletrica, con conseguente innalzamento della pressione sistolica e diastolica, e nell'azione stimolante sulle fibre miocardiche con aumento della forza e della frequenza del battito. Parecchi importanti neuro- e psicofarmaci agiscono nel sistema nervoso centrale interferendo con l'attività dei neuroni noradrenergici.

Serotonina

La serotonina, o enteramina o 5-idrossitriptamina (5-HT), è un'ammina biogena diffusamente distribuita nell'organismo, soprattutto a livello periferico. Le sue localizzazioni più rilevanti si trovano nelle cellule enterocromaffini del tratto gastrointestinale (da qui il nome di enteramina) e nelle piastrine, da cui viene massivamente liberata nel siero durante la coagulazione del sangue (da qui il nome di serotonina). Essa è inoltre presente nei neuroni periferici e in particolari gruppi di neuroni cerebrali, che sono situati prevalentemente nei nuclei del rafe dell'asse encefalico, da cui partono proiezioni di diversa densità dirette praticamente verso tutte le aree del sistema nervoso centrale (corteccia, regioni limbiche, gangli della base, midollo spinale). Nell'uomo circa il 95% della serotonina presente nell'organismo, inclusa tutta l'ammina piastrinica, prende origine dalle cellule enterocromaffini. Per la serotonina si è suggerito un ampio spettro di funzioni sia nel sistema nervoso centrale sia in quello periferico, derivanti dalla sua capacità di agire simultaneamente da enterormone e da neurotrasmettitore.

Si ritiene che, a livello periferico, l'ammina liberata dalle cellule enterocromaffini intervenga nella regolazione della motilità del tubo digerente. Per la serotonina piastrinica, anch'essa di origine intestinale, si ipotizza un'interferenza nella regolazione della pressione sistemica del sangue e in tutte le molteplici funzioni svolte dalle piastrine, quali la stimolazione dell'aggregazione e l'adesività delle piastrine, la facilitazione della coagulazione del sangue e il controllo locale del tono dei piccoli vasi. Particolare attenzione suscita, per le sue molteplici implicazioni funzionali, la localizzazione di serotonina nei neuroni serotoninergici. In generale, vengono attribuiti alla serotonina centrale un effetto inibitore sui raccordi neuronali sensori e un'azione stimolante sui motoneuroni. Ne risulta una coordinazione dei complessi meccanismi sensori e motori che si attivano in differenti stati comportamentali: l'attività della serotonina è massima durante la veglia e la vigilanza, e minima durante il sonno. La mediazione serotoninergica avrebbe grande importanza anche nel controllo dell'assunzione del cibo, o meglio nella regolazione dell'appetibilità dei vari costituenti del cibo, soprattutto carboidrati e proteine: un'eccessiva disponibilità di serotonina porterebbe cioè a una riduzione selettiva nell'assunzione degli zuccheri.

È stato postulato il possibile intervento della serotonina nella patogenesi dell'ipertensione, nonché in quella di svariate patologie centrali, quali sindromi emicraniche, nausea e vomito, bulimia nervosa, schizofrenia, stati

iperaggressivi e soprattutto forme depressive. L'azione della serotonina, come avviene per tutti i neurotrasmettitori, è modulata da alcuni agenti attivi, quali noradrenalina, acido γ -amminobutirrico, sostanza P, e da sé stessa, attraverso gli autorecettori presenti sulla membrana delle terminazioni delle fibre serotoninergiche. Come per le altre ammine biogene, anche per la serotonina esiste, nel sistema nervoso centrale e in quello periferico, una vasta gamma di recettori di membrana. Alla fine degli anni Novanta del XX sec., su basi essenzialmente farmacologiche, cioè mediante lo studio di agonisti e antagonisti selettivi, ne sono stati individuati cinque, mentre l'approccio di tipo biologico molecolare ha finora portato all'identificazione di almeno quattordici diversi sottotipi di recettore della serotonina nei Mammiferi, raggruppati in sette diverse classi il cui significato è ancora in parte oscuro.

Istamina

La funzione dell'istamina come neurotrasmettitore nel sistema nervoso centrale è ancora discussa e presuntiva. Presente in basse concentrazioni nelle proiezioni neuronali che partono dall'ipotalamo posteriore e dal mesencefalo, l'istamina è anche contenuta nei mastociti perivascolari. L'istamina centrale sembra essere coinvolta nel controllo dello stato di sonno e di veglia (si pensi al potente effetto sedativo e alla sonnolenza provocati dagli antistaminici), della temperatura corporea, dell'assunzione di liquidi e della dinamica vascolare. Nei Vertebrati sono stati per ora identificati tre tipi di recettori dell'istamina, denominati H1, H2 e H3. Nel sistema nervoso centrale i recettori H3 mediano azioni inibitrici indotte da neurotrasmettitori in varie aree del cervello e l'autoinibizione presinaptica indotta dalla stessa istamina.

Derivati purinici

L'adenosina (9-b-D-ribofuranosil-adenina) è un nucleoside purinico contenuto, insieme con il suo derivato fosforilato adenosintrifosfato (ATP), in molte cellule, fra cui quelle nervose e quelle gliali, dove entrambi vengono anche sintetizzati. L'ATP è presente in tutte le parti del neurone ed è racchiuso nelle vescicole sinaptiche delle terminazioni nervose insieme ai trasmettitori amminici e peptidici. L'impulso nervoso libera il nucleotide che viene defosforilato enzimaticamente e trasformato in adenosina, la quale a sua volta viene prontamente riassorbita dalle terminazioni nervose, rifosforilata ad ATP e immagazzinata. L'adenosina e l'ATP sono considerati autentici neurotrasmettitori dominanti nei cosiddetti 'nervi purinergici' (per es., i nervi non adrenergici e non colinergici che innervano la muscolatura liscia gastrointestinale e genitourinaria) e svolgono la funzione di cotrasmettitori, insieme alle ammine e ai peptidi liberati simultaneamente, in varie terminazioni neuronali nel sistema nervoso centrale e periferico.

È stato dimostrato che l'ATP e l'acetilcolina possono coesistere ed essere liberati simultaneamente. In questo caso, l'adenosina fungerebbe, più che da trasmettitore primario, da modulatore dell'effetto del vero mediatore,

agendo sia su specifici recettori di membrana postsinaptici sia su recettori presinaptici che regolano la liberazione dell'ammina. Lo spettro delle azioni attribuite all'adenosina nell'ambito del sistema nervoso centrale è ampio. Fra queste, presumibilmente dovute a un'interferenza della purina nel flusso di ioni Ca^{++} , vanno ricordate la regolazione del flusso ematico cerebrale locale (vasodilatazione) e l'azione anticonvulsivante (ostacolo alla generazione di scariche multiple). In periferia, ai nucleosidi e nucleotidi purinici è stato attribuito un ruolo di rilievo nel controllo della motilità del tratto gastrointestinale e delle vie urinarie, nonché del tono della muscolatura di certi vasi. Si è anche ipotizzato che l'adenosina possa, insieme all'angiotensina, contribuire alla regolazione del flusso ematico renale e, quindi, della filtrazione glomerulare. In realtà il problema della trasmissione nervosa purinergica è tutt'altro che risolto, soprattutto dopo che accanto ai supposti nervi purinergici hanno fatto la loro comparsa numerosi 'nervi peptidergici'. È possibile, infatti, che i peptidi da essi liberati siano responsabili di almeno una parte delle azioni che in precedenza erano attribuite all'adenosina e all'ATP.

2. La neuromodulazione: i neuropeptidi

Uno straordinario arricchimento nelle conoscenze sulla neurotrasmissione si è avuto con le ricerche eseguite su un folto gruppo, destinato a crescere, di molecole peptidiche, in parte note come componenti del sistema endocrino e neuroendocrino. Tali molecole si originano nel corpo della cellula nervosa come precursori a elevato peso molecolare, migrano lungo l'assone, per poi depositarsi nella terminazione nervosa in vescicole di norma più grosse e più chiare di quelle di deposito delle ammine. Qui hanno luogo la frammentazione enzimatica del precursore e la liberazione delle sequenze attive, che spesso rivelano uno spiccato polimorfismo, presentandosi in forme di grandezza molecolare diversa. Immessi nella fessura giunzionale, i peptidi attivi possono comportarsi da veri neurotrasmettitori, interagendo con specifici recettori posti nella membrana postsinaptica, oppure, rilasciati dall'assone, possono diffondere e controllare a distanza più neuroni, sia nel sistema nervoso centrale sia in quello periferico, comportandosi da veri e propri ormoni (neurosecrezione), o condizionare la neurotrasmissione modulando la liberazione di trasmettitori di tipo rapido (neuromodulazione). Successivamente i peptidi sono attaccati da varie endopeptidasi, più o meno specifiche, e inattivati. Non è finora noto un efficiente processo di ricaptazione da parte della terminazione nervosa. In generale, si attribuisce ai peptidi il ruolo di modulatori lenti, più che di trasmettitori rapidi, ma questa distinzione non è priva di eccezioni: esperienze in vivo e in vitro dimostrano, infatti, che certe molecole neuropeptidiche agiscono in modo sorprendentemente rapido e selettivo. Il dosaggio radioimmunologico e l'immunoistochimica hanno permesso di disegnare esatte mappe di distribuzione dei singoli neuropeptidi e dei loro recettori nel sistema nervoso centrale e periferico. La bombesina (Gastrin-releasing factor, GRF)

appartiene a una famiglia di peptidi che agiscono in periferia come potenti liberatori di gastrina, e quindi stimolatori della secrezione acida gastrica, e come potenti liberatori di colecistochinina e di somatostatina, inibitori cioè della motilità intestinale. Nel sistema nervoso centrale essi sono coinvolti nella termoregolazione e nella glucoregolazione, nel controllo della sete e della secrezione di prolattina e dell'ormone della crescita. Inoltre, inibiscono la secrezione gastrica e l'assunzione del cibo.

La colecistochinina (CCK) è un ormone intestinale attivo in periferia, che nel sistema nervoso centrale (corteccia e altre aree) funge da neurotrasmettitore. In risposta all'attivazione dei recettori CCK, essa esplica un'azione depressiva sull'appetito, nonché una cospicua azione anticonvulsivante, sedativa e analgesica, in parte tramite la liberazione di catecolammine e di encefaline. Nel sistema nervoso periferico il neuropeptide Y (NPY) è spesso liberato insieme alla noradrenalina e all'ATP dalle terminazioni simpatiche dei vasi e di numerosi organi a muscolatura liscia. La sua funzione principale è quella di modulare l'azione del trasmettitore principale. Nel sistema nervoso centrale, dove agisce da potente vasocostrittore, è in genere largamente diffuso nei neuroni non adrenergici. La neurotensina, isolata inizialmente dall'ipotalamo come un fattore stimolante la secrezione salivare, è largamente presente in varie aree cerebrali e in nervi periferici, soprattutto gastrointestinali. In periferia, il peptide sembra inibire la secrezione di gastrina e la motilità gastrica e interferire nella regolazione della pressione del sangue provocando ipotensione. A livello di sistema nervoso centrale, la neurotensina sembra essere un importante modulatore della nocicezione, della temperatura, del comportamento alimentare e dello stress.

I peptidi oppioidi (encefaline, endorfine e dinorfine) vengono raggruppati in tre distinte sottofamiglie, a seconda della preferenza per i tre fondamentali tipi di recettori, μ , δ e κ . Gli effetti dell'attivazione dei μ -recettori sono gli unici sufficientemente noti, sovrapponendosi in larga misura a quelli della morfina. In periferia, i μ -agonisti provocano essenzialmente costipazione intestinale, dovuta alla riduzione della secrezione gastrica, spasmo degli sfinteri e riduzione della motilità propulsiva; a livello centrale l'attivazione dei μ -recettori causa analgesia e sedazione, catatonìa e stimolazione della secrezione di prolattina. Per i δ -agonisti sono stati dimostrati una potente stimolazione dell'attività locomotoria, marcati effetti comportamentali e un possibile intervento nei processi immunitari. Sono state messe a punto dettagliate mappe di distribuzione dei vari peptidi oppioidi nel sistema nervoso centrale e periferico, mediante antisieri specifici, e dei loro recettori, tramite ligandi marcati.

La vastissima famiglia delle tachichinine, presenti in tutti i Vertebrati e in numerose specie di invertebrati, è rappresentata nei Mammiferi dalla sostanza P e dalle due neurochine A e B. In periferia, le tachichinine intervengono nel controllo dell'attività motoria del tratto gastrointestinale, nella coagulazione del sangue e nella risposta infiammatoria della pelle e di altri tessuti. Oltre che in numerosi neuroni del sistema nervoso autonomo, la sostanza P è presente anche nelle cellule enterocromaffini. A livello centrale, le tachichinine

esplicano una potente azione antidipsogena (inibizione della sete) e sono coinvolte nell'attivazione di vari riflessi, come il vomito e la minzione, e nella nocicezione, attraverso un intervento sulla trasmissione del dolore a livello del midollo spinale. Il peptide intestinale vasoattivo (VIP) è ampiamente distribuito in numerosi nervi autonomi periferici e in vaste aree del sistema nervoso centrale, importanti per la funzione cognitiva (corteccia, ippocampo). In periferia, ha un'accentuata azione vasodilatatrice e rilassante sulla muscolatura liscia gastrointestinale, compresa quella delle vie biliari; a livello centrale, sembra svolgere un'azione protettiva verso svariate sostanze neurotossiche e si ritiene ricopra un importante ruolo nell'apprendimento e nella memoria, forse attraverso un'esaltazione della funzione colinergica.

3. Cosintesi e cosecrezione neuronale di monoammine e peptidi

L'ipotesi di Henry H. Dale, secondo la quale tutti i neuroni libererebbero un unico e ben definito trasmettitore, è stata largamente superata dopo che le ricerche di H. Hökfeld hanno dimostrato che molti neuroni sintetizzano e depositano nelle vescicole sinaptiche più sostanze biologicamente attive, che possono essere liberate simultaneamente. Si possono infatti verificare la cosintesi e la cosecrezione di più ammine, di ammine e polipeptidi o di più polipeptidi. Nel sistema nervoso periferico si può osservare la coesistenza di noradrenalina con il neuropeptide Y, l'ATP, la somatostatina e le encefaline, di acetilcolina e peptide intestinale vasoattivo e, nella midollare del surrene, di adrenalina e vari peptidi oppioidi. Nel sistema nervoso centrale possono coesistere, per esempio, la serotonina e la sostanza P, la colecistochinina e l'acetilcolina. È probabile che la cosintesi e la cosecrezione di diversi neurotrasmettitori e neuromodulatori rappresentino, se non la regola, un'evenienza frequente. Non è ancora chiaro il significato di questa simultanea molteplicità di segnali chimici, ma è evidente che essa eleva la potenzialità e la perfezione del messaggio trasmesso alla cellula bersaglio. Nell'interpretazione degli interventi terapeutici diretti a indurre modificazioni quantitative di un singolo trasmettitore è necessario tener conto se esso è in realtà cosecreto con altri trasmettitori o modulatori che non vengono modificati, ma piuttosto sregolati, dall'intervento terapeutico. Questo fenomeno potrebbe spiegare la parzialità e la temporaneità del successo terapeutico e la comparsa di effetti collaterali.

DROGHE ENDOGENE

XXI Secolo (2010)

di Giovanni Marsicano

Droghe endogene

Homo sapiens conosce la pianta *Cannabis sativa* (anche nota come canapa indiana o marijuana) da più di 5000 anni (e probabilmente anche da prima, considerando che questa data si riferisce alle prime notizie scritte sull'uso della pianta, ritrovate in Cina e risalenti al 3000 a.C. circa). Si tratta, infatti, della più antica pianta coltivata dall'uomo per scopi non alimentari. Gli usi che della marijuana si sono fatti nel tempo sono i più svariati e vanno dallo sfruttamento delle sue fibre per la produzione di cordami, tessuti e materiali isolanti, alla preparazione di estratti utilizzati a scopo terapeutico per numerose patologie, e usati per fini psicotropi, ricreativi e religiosi.

Associati e connessi agli usi religiosi, gli estratti della pianta possiedono effetti che furono sfruttati anche nella medicina occidentale a partire dall'Ottocento, quando un medico irlandese al seguito dell'esercito britannico, William Brooke O'Shaughnessy, ne osservò l'uso in India e li introdusse nella farmacopea europea come rimedio per molte malattie. Tale utilizzo fu interrotto negli anni Trenta del 20° sec. per la proibizione dell'uso di droga negli Stati Uniti e poi nel resto del mondo occidentale (*Marijuana and medicine*, 1999). Da quel momento, la pianta è stata soprattutto usata a scopo ricreativo per le sue proprietà psicotrope, tanto che i derivati della marijuana rappresentano oggi la maggior fonte di droghe psicotrope illecite, ed è seconda, nel campo delle sostanze d'abuso, solo a caffeina, alcol e nicotina.

Le svariate proprietà della pianta (non solo a livello psicotropo) sono oggi intensamente studiate dai farmacologi, sia per comprenderne i meccanismi potenzialmente dannosi in quanto stupefacente sia per sfruttarne le eventuali proprietà terapeutiche.

Dalla marijuana al sistema endocannabinoide

La data d'inizio della ricerca moderna sulla *Cannabis* può essere identificata con gli studi condotti negli anni Sessanta del 20° sec. da alcuni chimici e biochimici, fra i quali il ricercatore israeliano Raphael Mechoulam merita sicuramente il primato. Lo scopo di questi veri e propri pionieri nella ricerca sulla *Cannabis* era l'identificazione delle componenti chimiche che conferiscono alla pianta le sue caratteristiche biologicamente attive. Un complesso lavoro portò all'identificazione di una sessantina di composti prodotti da *Cannabis sativa*, che furono denominati cannabinoidi, fra i quali il più noto e, probabilmente, il più importante è il delta-9-tetraidrocannabinolo (fig. 1A), conosciuto anche come THC (Y. Gaoni, R. Mechoulam, Isolation, structure and partial synthesis of an active constituent of hashish, «*Journal of American chemical society*», 1964, 86, pp. 1646-47). Quest'ultimo è il componente più attivo della pianta dal punto di vista psicotropo, e la maggior parte degli effetti euforizzanti, rilassanti e in qualche caso allucinogeni dei preparati di *Cannabis* sono

dovuti principalmente al loro contenuto in THC. È tuttavia necessario ricordare che anche gli altri sessanta cannabinoidi svolgono un ruolo importante negli effetti dei derivati della Cannabis e che il solo THC purificato può avere effetti diversi dall'azione concertata dei derivati della pianta a composizione complessa.

Una volta identificata, nel 1964, la struttura chimica dei cannabinoidi e, soprattutto, del THC, numerosi ricercatori si impegnarono nello studio dei meccanismi attivati sia negli animali sia nell'uomo dalla somministrazione di questo principio attivo. Per circa venticinque anni, si sviluppò un dibattito piuttosto intenso che vedeva schierati, da un lato, i fautori della teoria lipofila e, dall'altro, quelli della teoria recettoriale. Per i primi, poiché tutti i cannabinoidi sono sostanze lipofile (ossia si sciolgono e interagiscono con sostanze grasse e non in ambiente acquoso), il THC sarebbe stato in grado di modificare le attività cellulari (soprattutto dei neuroni) semplicemente interferendo con la struttura lipidica delle membrane e quindi alterandone le proprietà fisico-chimiche. Le membrane (vere e proprie 'pareti' che dividono l'esterno dall'interno delle cellule che compongono il nostro corpo) sono formate da doppi strati di lipidi (grassi) che, appunto, separano i due ambienti acquosi intracellulare ed extracellulare. Tramite diversi meccanismi, le membrane sono in grado di mantenere una differente composizione chimica fra tali ambienti e, di conseguenza, di conferire alle cellule molte delle loro proprietà fisico-chimiche. Interferendo con la composizione dei lipidi di membrana, si possono quindi alterare tali proprietà. I fautori della teoria recettoriale, invece, sostenevano l'esistenza di un meccanismo più specifico, basato sull'interazione molecolare del THC con recettori cellulari inseriti nella membrana delle cellule aventi una struttura che permette loro di accogliere in modo molto selettivo specifiche molecole esterne (i ligandi), proprio come una serratura è in grado di accogliere solo la sua chiave. Il legame fra il ligando e il recettore provoca cambiamenti all'interno delle cellule che ne modificano le proprietà funzionali, permettendo loro di ricevere informazioni sulle variazioni dell'ambiente esterno e di reagire a esse in maniera appropriata. Dalla fine degli anni Ottanta del 20° sec. fu comunque la seconda teoria a prevalere, con la scoperta di siti di legame specifici per i cannabinoidi su cellule di tipo neuronale mantenute in coltura. A queste prime osservazioni si aggiunse, la fondamentale identificazione molecolare del primo recettore per i cannabinoidi (denominato CB1), ottenuta da Lisa A. Matsuda nel laboratorio di Allyn Howlett negli Stati Uniti (L.A. Matsuda, S.J. Lolait, M.J. Brownstein et al., Structure of a cannabinoid receptor and functional expression of the cloned cDNA, «Nature», 1990, 346, 6284, pp. 561-64). CB1 appartiene alla grande famiglia di recettori proteici a sette domini transmembranari (possiede, cioè, una struttura simile a quella di un serpente che passa sette volte attraverso la membrana, fig. 1B).

Con l'identificazione del recettore endogeno (prodotto, cioè, all'interno dell'organismo) si comprese meglio il meccanismo di azione del THC e di altri cannabinoidi di sintesi (nel frattempo prodotti da numerosi laboratori). Restava aperta, comunque, la questione importante sul perché l'evoluzione avesse portato alla presenza di un recettore cellulare capace di rispondere specificamente a sostanze esogene, esterne, cioè, al corpo. Si tratta probabilmente di un caso di 'evoluzione parallela', simile a quella descritta per i derivati dell'oppio come la morfina, di cui erano già stati identificati i recettori sulle cellule, e a quella per le sostanze endogene, le endorfine, capaci di attivare quei recettori. In entrambi i casi, quello dei cannabinoidi e quello degli oppioidi, le piante e gli animali sembrano aver sviluppato sostanze attive e meccanismi di risposta a queste sostanze. Nel caso degli oppioidi, l'intenso lavoro di alcuni gruppi di farmacologi negli anni Settanta aveva portato all'identificazione dei cosiddetti oppioidi endogeni (peptidi), capaci di attivare i recettori senza la necessità di somministrare morfina o altri oppioidi esogeni. Nel caso dei cannabinoidi, invece, al momento dell'individuazione di CB1 e dei suoi aspetti farmacologici, la natura di eventuali ligandi endogeni era ancora sconosciuta. Fu ancora il gruppo di Mechoulam in Israele a colmare per primo questa lacuna. Nel 1992, a soli due anni dalla pubblicazione della struttura molecolare di CB1, il gruppo israeliano, servendosi di mezzi biochimici, identificò il primo 'cannabinoido del corpo', presto ribattezzato endocannabinoido (W.A. Devane, L. Hanus, A. Breuer et al., Isolation and structure of a brain constituent that binds to the cannabinoid receptor, «Science», 1992, 258, 5090, pp. 1946-49). Data la natura lipofila dei cannabinoidi esogeni, non fu una gran sorpresa scoprire che questo primo endocannabinoido e quasi tutti gli altri individuati negli anni successivi fossero molecole lipidiche, derivati dell'acido arachidonico, un acido grasso abbondante nelle strutture biologiche. Il primo endocannabinoido fu identificato come derivante dalla fusione fra l'acido arachidonico e un'ammina, conosciuta come etanolammina. L'arachidoniletanolammide è prodotta in quantità notevole nel corpo animale ed è in grado di legare e attivare i recettori cannabinoidi. In omaggio all'uso dei cannabinoidi nella tradizione induista, i ricercatori ribattezzarono questa molecola con il nome di anandammide, ottenuto dalla fusione del suffisso chimico -ammide con la parola sanscrita ananda «beatitudine». In questo modo, Mechoulam e i suoi collaboratori vollero indicare le probabili funzioni rilassanti e antistress che, dati i risultati farmacologici ottenuti con la somministrazione di marijuana a uomini e animali, si potevano attendere da un nuovo sistema presente nel corpo: il sistema endocannabinoido (Maccarrone, Gasperi, Bari et al. 2009).

Il sistema endocannabinoido

A livello scientifico, il 1992 può essere considerato l'anno di nascita del sistema endocannabinoido. La dimostrazione dell'esistenza di un 'sistema' fisiologico, formato da recettori e dai loro ligandi endogeni, indicava che questo dovesse partecipare a funzioni normali e/o patologiche degli animali, e che gli effetti

farmacologici della marijuana fossero da considerare come interferenze con questo sistema. Dalla scoperta originale dell'anandamide, un intenso lavoro ha via via contribuito a definire il quadro del sistema endocannabinoide. Numerose ricerche hanno apportato il loro contributo: altri endocannabinoidi sono stati descritti, fra cui il 2-arachidonil-glicerolo è quello conosciuto meglio (fig. 1A); un altro recettore, denominato CB2, è stato identificato come responsabile principale degli effetti farmacologici dei cannabinoidi esogeni e delle funzioni fisiologiche degli endocannabinoidi sul sistema immunitario; si sono cominciati a studiare e a chiarire i meccanismi molecolari per la sintesi e la degradazione degli endocannabinoidi; in particolare, sono andate emergendo nel corso degli studi numerose funzioni fisiologiche del sistema endocannabinoide, inoltre sono state proposte nuove possibilità per l'eventuale sfruttamento a fini terapeutici del sistema.

Un enorme interesse ha portato a un incremento esponenziale delle pubblicazioni scientifiche sull'argomento (fig. 2) in cui, tra l'altro, sono state evidenziate differenze significative fra gli effetti farmacologici della marijuana e del THC e le funzioni fisiologiche del sistema endocannabinoide: si ritiene, infatti, che il sistema endogeno sia estremamente specifico nella modulazione spaziotemporale delle attività biologiche. Gli endocannabinoidi sono prodotti dalle cellule solo in determinate condizioni e, dopo aver agito sui recettori (CB1 o CB2), sono rapidamente degradati da sistemi enzimatici specifici. Tali eventi (sintesi degli endocannabinoidi, loro azione sui recettori e loro degradazione) avvengono solitamente in un periodo di tempo relativamente breve che può durare da poche decine di millisecondi a qualche minuto. Inoltre, data la specificità delle condizioni in cui gli endocannabinoidi sono prodotti e la loro scarsa abilità a diffondersi dal luogo di produzione (a causa della loro limitata capacità di sciogliersi nei liquidi extracellulari a base acquosa), anche l'aspetto spaziale dell'attivazione del sistema endocannabinoide è estremamente specifico. È quindi possibile che solo poche cellule producano, in un determinato momento, endocannabinoidi, i quali agiranno nelle immediate vicinanze per un tempo limitato. In altre parole, si pensa che il sistema endocannabinoide posseda un modo di azione on demand («a richiesta»): solo dove e quando vi è necessità, esso viene attivato per contribuire a determinate funzioni fisiologiche (o fisiopatologiche), per essere poi rapidamente inattivato (Piomelli 2003). Al contrario, la somministrazione esogena di THC, di marijuana o di altri farmaci in grado di attivare i recettori cannabinoidi porterà a una loro attivazione prolungata e generalizzata, con il risultato di generare effetti che solo raramente riproducono le funzioni fisiologiche del sistema endogeno. In pratica, i recettori cannabinoidi attivati da un farmaco esogeno saranno tutti quelli presenti nel corpo, al medesimo tempo e per una durata che dipende esclusivamente dalle proprietà farmacocinetiche di assorbimento, diffusione ed escrezione del farmaco stesso. Il sistema endocannabinoide può, quindi, essere considerato come la 'marijuana del corpo', ma tale definizione non permette di apprezzare

completamente l'estrema precisione spaziotemporale delle sue funzioni (Maccarrone, Gasperi, Bari et al. 2009).

Se lo studio della farmacologia dei cannabinoidi esogeni (marijuana, THC e derivati sintetici) ha una lunga storia, la novità degli ultimi anni è rappresentata dallo studio della fisiologia del sistema endocannabinoide. Nei paragrafi successivi saranno esaminate alcune funzioni fisiologiche del sistema endocannabinoide che, per quanto detto prima, non vanno confuse con gli effetti farmacologici della marijuana e degli altri cannabinoidi esogeni.

Funzioni

Il sistema endocannabinoide è coinvolto in un numero crescente di funzioni fisiologiche e fisiopatologiche. Non passa settimana che la letteratura scientifica non aggiunga un tassello al complesso rompicapo formato da queste funzioni e dalle loro interazioni. Allo stato attuale delle conoscenze, non è esagerato ipotizzare che quasi tutte le funzioni del corpo, dalla pelle al cervello, vedano il sistema endocannabinoide coinvolto in alcuni dei loro meccanismi. Dal controllo del prurito cutaneo fino alla regolazione della trasmissione sinaptica fra neuroni, necessaria per ricordare o muoversi, esistono evidenze che indicano nel sistema endocannabinoide un fattore di regolazione e di controllo estremamente importante (per un ulteriore approfondimento di questo argomento v. *Cannabinoids and the brain*, 2008, e Maccarrone, Gasperi, Bari et al. 2009). Qui è sufficiente fornire alcuni esempi delle funzioni del sistema endocannabinoide nella fisiologia e fisiopatologia animale, secondo un immaginario viaggio attraverso il corpo, dal 'centro operativo', il sistema nervoso, alla periferia.

Controllo della trasmissione sinaptica retrograda

Date le proprietà psicotrope della marijuana, i primi studi sul sistema endocannabinoide si focalizzarono sulle sue funzioni neuronali. Effettivamente, CB1 è espresso in maniera molto abbondante nel cervello, anche se è ormai chiaro che esso è presente anche in numerosi organi periferici.

I neuroni sono cellule altamente specializzate del sistema nervoso, il cui scopo principale è quello di scambiare e immagazzinare informazioni: la capacità di comunicare ne rappresenta, quindi, la caratteristica principale. Anche la loro forma riflette questa specializzazione. In genere, essi sono composti da un corpo cellulare e da prolungamenti sottili (i neuriti) che possono essere anche molto lunghi in rapporto alle dimensioni del corpo. I neuriti sono ulteriormente classificati in due categorie: i dendriti e gli assoni. Ai

dendriti spetta soprattutto il compito di ricevere informazioni da altri neuroni, mentre gli assoni le ritrasmettono elaborate dalla cellula ai loro bersagli, in genere i dendriti di altri neuroni. La natura dell'informazione ricevuta, elaborata e trasmessa dai neuroni, è di tipo elettrochimico. Le membrane neuronali posseggono la caratteristica di essere selettivamente permeabili a certi ioni carichi elettricamente, quali il sodio, il potassio, il calcio e altri. Una permeabilità selettiva che, insieme alla presenza di 'pompe' capaci di mantenere gradienti ionici (differenze, cioè, di concentrazione ionica), permette di mantenere una differenza di carica fra un lato e l'altro della membrana e di determinare un potenziale di membrana. Ogni variazione di tale potenziale è utilizzata dai neuroni come segnale elettrico che, quando raggiunge una certa intensità, si diffonde lungo la membrana attraverso meccanismi specializzati che generano il potenziale d'azione, il quale progredisce rapidamente lungo le membrane. Tranne che in alcune situazioni particolari, però, le membrane di un neurone sono fisicamente separate da quelle di un altro neurone. Si pone, quindi, il problema di come trasformare il segnale elettrico che viaggia sulla membrana di una cellula in qualcosa di riconoscibile da un'altra cellula. È per risolvere tale problema che i neuroni hanno sviluppato strutture specializzate – le sinapsi – che permettono la trasformazione del segnale elettrico in segnale chimico, capace di trasmettere l'informazione da una cellula all'altra.

Le sinapsi sono formate da due componenti, una appartenente all'assone della cellula che trasmette il segnale, denominata terminale presinaptico, e l'altra appartenente al neurone (o alla cellula di altro tipo) che riceve il segnale, denominata porzione postsinaptica della sinapsi stessa. Il terminale presinaptico contiene alcune vescicole che a loro volta sono riempite da un neurotrasmettitore, una molecola che agisce come segnale chimico fra neuroni o fra questi e altre cellule. In corrispondenza del terminale presinaptico, nella parte postsinaptica, il neurone ricevente contiene recettori specifici per il neurotrasmettitore rilasciato dal terminale presinaptico. Una volta attivati, i recettori modificano le proprietà elettriche della membrana postsinaptica e trasferiscono così l'informazione alla cellula ricevente. La modificazione a livello postsinaptico dipende dalla natura del neurotrasmettitore utilizzato dal neurone presinaptico, che può indurre diversi effetti, ma che in generale può essere di tipo eccitatorio (quando aumenta l'intensità del segnale elettrico della membrana postsinaptica) o inibitorio (quando l'effetto sulla cellula postsinaptica è opposto). In questo modo, nella sinapsi, l'informazione viene trasferita a una cellula ricevente tramite una trasformazione da segnale elettrico (presinaptico) a segnale chimico (sinaptico), per poi ridiventare segnale elettrico (aumentato o diminuito) a livello postsinaptico. Si ritiene a tutt'oggi che il meccanismo descritto sia il principale metodo di trasferimento di informazione a livello neuronale.

Per molti anni, il fatto che l'informazione fluisse in maniera unidirezionale da una cellula presinaptica a una cellula postsinaptica, e mai viceversa, è stato considerato una specie di verità indiscutibile. Così fino agli anni Novanta quando, in base a nuove evidenze sperimentali, un numero crescente di neurofisiologi (fra cui Bradley E. Alger negli Stati Uniti e Alain Marty in Francia spiccano come veri pionieri) non l'hanno posta in discussione (I. Llano, N. Leresche, A. Marty, Calcium entry increases the sensitivity of cerebellar Purkinje cells to applied GABA and decreases inhibitory synaptic currents, «Neuron», 1991, 6, 4, pp. 565-74; T.A. Pitler, B.E. Alger, Postsynaptic spike firing re-duces synaptic GABAA responses in hippocampal py-ramidal cells, «The journal of neuroscience», 1992, 12, 10, pp. 4122-32). I loro risultati – tratti dall'osservazione di sinapsi sia eccitatorie sia inibitorie, in diverse regioni del sistema nervoso centrale – misero in evidenza come, in certe condizioni, il flusso di informazione possa prendere la direzione inversa portando il segnale dalla membrana postsinaptica alla membrana presinaptica, secondo modalità di trasmissione retrograda. Tali studi dimostrarono che, in determinate condizioni, un segnale di natura chimica è rilasciato a livello postsinaptico, viaggia nello spazio sinaptico in senso opposto ai neurotrasmettitori classici e ne diminuisce il rilascio presinaptico. Un neurone, quindi, non solo può 'parlare' a un altro neurone a livello di singola sinapsi, ma – al contrario di quanto ritenuto sino ad allora – è anche in grado di 'ascoltarne' la risposta o, semplicemente, di riceverne nuova informazione.

La comprensione dei meccanismi della trasmissione retrograda a livello sinaptico si presentava ostica per la difficoltà di individuare quale potesse essere il mediatore chimico della comunicazione. Se, infatti, la natura e i meccanismi dei mediatori classici (quelli cioè che portano il messaggio dalla pre- alla postsinapsi) erano ben conosciuti e descritti, poco o nulla si riusciva a immaginare di quale potesse essere l'entità chimica capace di portare il messaggio 'all'indietro'. Si sapeva, per es., come, a livello di terminale presinaptico, i messaggeri chimici, idrosolubili, fossero conservati in vescicole lipidiche e che l'arrivo del segnale elettrico al terminale inducesse una fusione delle vescicole con la membrana cellulare, provocando il rilascio delle molecole di neurotrasmettitore nello spazio sinaptico e l'attivazione dei loro recettori specifici a livello postsinaptico. A livello postsinaptico, però, non è presente alcuna struttura simile alle vescicole: la trasmissione retrograda doveva quindi basarsi su meccanismi diversi rispetto alla trasmissione classica anterograda.

Nel 2001 apparvero quasi contemporaneamente tre articoli fondamentali nella ricerca sulla trasmissione sinaptica e sul sistema endocannabinoide. Gli autori, i gruppi di Roger A. Nicoll e Wade G. Regehr negli Stati Uniti e di Masanobu Kano in Giappone, mostrarono che gli endocannabinoidi erano i mediatori della trasmissione sinaptica retrograda (Wilson, Nicoll 2001; Ohno-Shosaku, Maejima, Kano 2001; Kreitzer, Regehr 2001). Gli endocannabinoidi, infatti, rispondono a molte delle caratteristiche che un mediatore

retrogrado deve avere. A causa della loro natura lipofila, essi non possono essere conservati entro vescicole, ma sono prodotti direttamente dalle membrane cellulari. Il loro recettore CB1 è presente principalmente a livello della membrana presinaptica, in posizione strategicamente perfetta per mediare un segnale di tipo retrogrado: in seguito alla sua attivazione tramite un ligando esogeno o endogeno, esso è in grado di diminuire l'eccitabilità del neurone che lo contiene e di ridurre, così, il rilascio del neurotrasmettitore specifico di quella sinapsi. L'attivazione di CB1 può quindi determinare sia una diminuzione della comunicazione eccitatoria (quando la sinapsi è di questo tipo) sia una riduzione della trasmissione inibitoria (nel caso contrario). I ricercatori dimostrarono che queste proprietà degli endocannabinoidi e dei loro recettori permettono al sistema endocannabinoide di mediare la comunicazione retrograda a livello sinaptico: durante la trasmissione sinaptica, in determinate condizioni, il neurone postsinaptico produce endocannabinoidi che sono rilasciati nello spazio extracellulare, attraversano lo spazio sinaptico e si vanno a legare ai recettori CB1 posti sulla membrana presinaptica, dove inibiscono l'eccitabilità della membrana presinaptica e riducono il rilascio del neurotrasmettitore (Nicoll, Alger 2004).

Meccanismi simili sono stati in seguito descritti in quasi tutte le aree cerebrali, permettendo di affermare che, allo stato attuale delle ricerche, il sistema endocannabinoide è il più diffuso e conosciuto sistema di comunicazione retrograda a livello sinaptico. Un'efficace rappresentazione animata di tali meccanismi può essere ritrovata sul sito dell'ECSN (EndoCannabinoid System Network, <http://www.endocannabinoid.net/videoAnimation/EndocannabinoidBiology.aspx>, 24 febbraio 2010).

I meccanismi descritti mostrano che il sistema endocannabinoide rappresenta un fattore molto importante nella regolazione fine della trasmissione sinaptica e nella modulazione dell'attività del cervello e del sistema nervoso in genere. Nonostante sia sempre difficile stabilire nessi sicuri e solidi fra i fenomeni di tipo cellulare e i comportamenti complessi degli animali e dell'uomo, è molto probabile che la trasmissione sinaptica retrograda sia alla base di molte delle funzioni attribuite al sistema endocannabinoide negli ultimi anni, almeno di quelle mediate dal sistema nervoso.

Protezione contro l'eccessiva attività neuronale

Le funzioni del sistema nervoso dipendono dalla continua attività dei neuroni basata sull'equilibrio delicato fra eccitazione e inibizione neuronale. Una gran parte delle informazioni scambiate fra neuroni viaggia attraverso meccanismi eccitatori: un neurone viene eccitato da uno stimolo e comunica a un altro neurone questa eccitazione, il quale ne ecciterà un altro e così via, formando dei veri e propri circuiti eccitatori. È

opinione condivisa fra i neuroscienziati moderni che la diversa combinazione di tali circuiti formi una sorta di rappresentazione interna del mondo esteriore e induca l'organismo, tramite l'attivazione di altri circuiti, a reagire a questa informazione. I neuroni, però, sono costantemente esposti al rischio della sovraeccitazione. Quando queste cellule sono molto eccitate, si instaurano meccanismi che portano al danneggiamento o alla morte dei neuroni stessi e di quelli in contatto con loro. Questi fenomeni, denominati eccitotossici, sono coinvolti nella fisiopatologia di numerose malattie neuronali, quali, per es., diverse forme di epilessia, le malattie di Alzheimer, di Parkinson o di Huntington. Il sistema nervoso è dotato quindi di potenti e sofisticati mezzi per controllare i propri livelli di eccitazione. I due neurotrasmettitori principali utilizzati dai neuroni sono l'acido glutammico (Glu, eccitatorio) e l'acido γ -amminobutirrico (GABA, inibitorio). L'attivazione dei neuroni che utilizzano Glu come neurotrasmettitore (detti neuroni glutamatergici) indurrà, quindi, un'eccitazione della cellula bersaglio, mentre i neuroni GABAergici provocheranno l'effetto contrario. L'eccitotossicità si genera principalmente quando il rapporto fra le attività di questi neurotrasmettitori è sbilanciato verso un'eccessiva attività glutamatergica. CB1, come è stato detto in precedenza, è in grado di regolare la liberazione dei neurotrasmettitori dai neuroni sui quali è espresso. Infatti, è presente sia su neuroni glutamatergici sia su quelli GABAergici e può, quindi, regolare il livello sia di eccitazione sia di inibizione dei circuiti. D'altro canto, la sintesi degli endocannabinoidi è estremamente sofisticata e può essere fortemente specifica dal punto di vista spaziotemporale.

Nei primi anni del 21° sec., numerose evidenze hanno mostrato come, in modelli animali di eccitotossicità (in situazioni, cioè, in cui gli sperimentatori inducono artificialmente condizioni di eccessiva attività eccitatoria neuronale negli animali da esperimento), il sistema endocannabinoidale agisce come un potente controllore, proteggendo l'animale dalle conseguenze nefaste di quelle condizioni. Per es., l'induzione di crisi di tipo epilettico in topi da laboratorio tramite la somministrazione di particolari farmaci (eccitotossine) provoca un'attivazione pronunciata del sistema endocannabinoidale, con la conseguente inibizione del rilascio di glutammato da parte dei neuroni e il miglioramento del quadro clinico dell'animale (Marsicano, Goodenough, Monory et al. 2003). Studi ancora più recenti hanno mostrato come il sistema endocannabinoidale, in tali condizioni, sembri essere attivato solo a livello di neuroni glutamatergici eccitatori, ma non di quelli GABAergici inibitori, confermando l'idea di attivazione a richiesta del sistema (Monory, Massa, Egertová et al. 2006). In presenza di un'eccessiva eccitazione (mediata principalmente dai neuroni glutamatergici), il sistema endocannabinoidale è in grado di attivarsi solo ove e quando ciò sia utile all'individuo. Si avrà, quindi, una riduzione del rilascio di glutammato, ma nessuna alterazione del rilascio di GABA che, essendo un neurotrasmettitore inibitorio, partecipa alla protezione contro l'eccitotossicità.

La conclusione è che il sistema endocannabinoide sembrerebbe svolgere una funzione decisiva nella protezione contro fenomeni potenzialmente dannosi per la salute. Anche se è sempre difficile estendere risultati ottenuti in laboratorio alle patologie umane, esiste la speranza che l'uso di farmaci capaci di aumentare l'attività del sistema endocannabinoide possano in futuro aiutare a combattere alcune malattie neuronali importanti, quali l'epilessia. Ulteriori studi saranno, quindi, necessari per confermare o meno queste speranze.

Controllo delle reazioni emozionali

La paura è un'emozione che svolge un ruolo fondamentale nel comportamento degli animali e dell'uomo. Sulla base dell'istinto e dell'esperienza, essa permette di evitare comportamenti che possono essere pericolosi, o di adottare misure atte a evitare l'insorgenza di situazioni di pericolo. La paura istintiva verso certi animali, quali ragni o serpenti, permette di evitare il contatto con essi e quindi di esporci a eventuali pericoli. La paura non è solo istintiva, ma può anche essere appresa. Tutti noi insegniamo ai nostri figli a fare attenzione alle automobili quando si attraversa la strada. Nel caso fortunato di un incidente evitato o con danni limitati, tale apprendimento sarà sicuramente più rapido, perché sarà rafforzato da meccanismi molto potenti che vengono generalmente descritti come condizionamento. Dopo un incidente evitato, il segnale rappresentato dal sopraggiungere di un'automobile diventerà un allarme molto più efficace e spingerà ad agire in maniera molto più prudente in futuro.

Sono migliaia gli esempi che dimostrano come la paura, istintiva o acquisita tramite l'insegnamento o l'esperienza diretta, sia un'emozione fondamentale per la sopravvivenza degli individui. Il cervello, infatti, possiede meccanismi specifici per generare questa emozione in risposta a stimoli potenzialmente pericolosi provenienti dall'ambiente esterno. Tuttavia, la paura deve essere tenuta sotto controllo. Una persona che abita in campagna non potrebbe sopravvivere se la sua paura naturale per i ragni fosse troppo forte e gli impedisse di muoversi nel suo ambiente (che, ovviamente, presenta una densità di ragni superiore a quella di un appartamento in città). Allo stesso modo, un cittadino non potrebbe attendere ad alcuna delle sue funzioni quotidiane (fare la spesa o recarsi al lavoro) se la sua paura delle automobili gli impedisse di attraversare la strada in qualsiasi condizione.

La paura, quindi, è un'emozione fondamentale, ma la sua intensità deve essere sempre regolata per adattarsi alle condizioni ambientali e non impedire lo svolgersi di altre funzioni altrettanto importanti (per es., la ricerca del cibo). Solo così la vita degli uomini e degli animali può scorrere in maniera normale, in un giusto

equilibrio fra le paure necessarie e quelle sotto controllo. Esistono numerose patologie psichiche caratterizzate dall'alterazione dei meccanismi di controllo della paura. Le fobie, le sindromi da stress posttraumatico o numerosi tipi di disturbi d'ansia presentano, come elemento comune, l'alterazione nella capacità dei pazienti di adattare le proprie paure e i comportamenti legati a esse alle condizioni normali della vita quotidiana. Per riprendere uno degli esempi fatti prima, gli aracnofobici (coloro che soffrono di una paura patologica dei ragni) o i claustrofobici (coloro che soffrono di una paura eccessiva di un'altra condizione potenzialmente pericolosa: i luoghi chiusi e senza vie di fuga) presentano eccessi patologici di una funzione naturale. Il cervello, quindi, ha sviluppato, nel corso dell'evoluzione, meccanismi per sopprimere la paura altrettanto potenti di quelli per generarla ed esprimerla, e l'equilibrio fra questi meccanismi distinti è centrale per il benessere e la sopravvivenza di uomini e animali.

Dal 2002, numerosi studi hanno dimostrato che il sistema endocannabinoide svolge una funzione importante nei meccanismi cerebrali del controllo della paura, sia acquisita sia istintiva. In laboratorio, la paura può essere 'insegnata' agli animali. Uno dei modi classici per indurre forme di paura acquisita è il cosiddetto condizionamento alla paura. In questo modello sperimentale, l'animale viene esposto a uno stimolo neutro, incapace, cioè, di generare di per sé alcun comportamento di paura nell'animale stesso. Lo stimolo, per es. un suono o una luce, è chiamato stimolo condizionato. In laboratorio, si può associare lo stimolo condizionato a un'esperienza negativa, per es. a una leggera scossa elettrica, che viene denominata stimolo incondizionato. Dopo questa esperienza (che ricorda l'incidente con leggere conseguenze menzionato in precedenza), si presenta all'animale lo stimolo condizionato. L'individuo reagirà con comportamenti di paura tipici della sua specie: esprimerà, quindi, una reazione condizionata.

Tali comportamenti sono misurabili e possono fornire allo sperimentatore un mezzo per valutare la quantità di paura che lo stimolo condizionato è in grado di suscitare. Se la presentazione dello stimolo, però, viene ripetuta varie volte in assenza dell'esperienza avversa, si osserva una diminuzione progressiva della paura espressa dall'individuo. Il fenomeno, conosciuto come estinzione della paura, ricorda molto da vicino i processi di adattamento e di equilibrio per il controllo della paura descritti sopra. Il fatto che lo stimolo pauroso sia ripetutamente presente senza che questo abbia più alcun effetto dannoso porta a una sorta di ridimensionamento del suo valore e a una diminuzione della risposta condizionata di paura. Allo stesso modo, dopo l'incidente con leggere conseguenze, la nostra paura delle automobili tenderà a diminuire se ci troviamo nelle condizioni di attraversare la strada molte volte senza conseguenze dannose. I risultati sperimentali in laboratorio hanno mostrato che animali in cui il sistema endocannabinoide è stato bloccato possono essere condizionati normalmente alla paura, ma presentano una ridotta capacità di estinguere questa emozione.

Continueranno, cioè, a reagire con la medesima intensità anche in seguito alla presentazione ripetuta dello stimolo condizionato in assenza dell'esperienza negativa (Marsicano, Wotjak, Azad et al. 2002). La fig. 3 mostra il ruolo del sistema endocannabinoide nell'estinzione della paura: 24 ore dopo essere stati condizionati, topi normali sono riesposti in giorni successivi allo stimolo condizionato in assenza di ogni stimolo avversivo (simboli viola). Mentre la paura suscitata dallo stimolo è alta il primo giorno, essa diminuisce decisamente nei giorni successivi, indicando l'avvenuta estinzione della reazione. Topi in cui il sistema endocannabinoide è stato bloccato (simboli rossi) mostrano la stessa paura dei topi normali al primo giorno di esposizione, ma poi non sono in grado di diminuire la reazione durante i giorni successivi. In numerosi laboratori sono stati ottenuti simili risultati, mostrando come il sistema endocannabinoide svolga un ruolo fondamentale nei processi adattativi necessari per stabilire il giusto equilibrio fra 'paura necessaria' e 'paura sotto controllo'.

Esiste la speranza che tali osservazioni possano un giorno portare allo sfruttamento di queste proprietà nello sviluppo di terapie contro alcune delle malattie psichiche menzionate in precedenza. Si tratta, comunque, ancora di una speranza, e ulteriori approfonditi studi saranno necessari per estendere all'uomo e alle sue patologie questi risultati, ottenuti, per ora, solo su animali da laboratorio.

Regolazione centrale e periferica dell'alimentazione e della bilancia energetica

Gli organismi biologici possono essere considerati macchine per accumulare e usare energia. A partire dagli organismi più semplici, il problema di conservare l'energia sottratta all'ambiente esterno ha rappresentato probabilmente la spinta più forte dal punto di vista evolutivo. Negli animali, i meccanismi per eseguire questa funzione fondamentale hanno raggiunto livelli molto complessi di perfezionamento. Il rapporto fra l'energia assimilata, la sua conservazione e il suo utilizzo è denominato bilancia energetica degli individui. Ognuna delle tappe della bilancia energetica è regolata attraverso meccanismi altamente specializzati che necessitano di un continuo scambio di informazioni fra gli organi periferici e il cervello, dove queste funzioni sono controllate e tradotte in comportamenti. Esistono ormoni periferici, come, per es., la leptina prodotta nel tessuto adiposo, che informano il cervello sullo stato generale della bilancia energetica. Quando il corpo necessita di un aumento dell'apporto energetico, gli adipociti (le cellule del tessuto adiposo) diminuiscono la produzione di leptina. La diminuzione è registrata dal cervello, il quale mette in atto una serie di sensazioni e di comportamenti che comunemente chiamiamo fame e ricerca del cibo. Al contrario, quando l'apporto energetico è sufficiente, i livelli di leptina circolante aumentano, inducendo, così, il cervello a diminuire la sensazione di fame (in altre parole ad aumentare la sensazione di sazietà) e di conseguenza a ridurre la ricerca del cibo. In modo simile, altri ormoni regolano questi processi, modificando l'attività di un gran numero di

regioni cerebrali e di organi periferici. Inoltre, i meccanismi che regolano l'apporto e la conservazione dell'energia non dipendono solo dai bisogni immediati del corpo, ma sono anche predisposti alla previsione di future necessità.

Gli animali e l'uomo si sono evoluti in condizioni piuttosto ostili, in cui la quantità di nutrimento era spesso insufficiente a soddisfare i bisogni fondamentali. Meccanismi si sono sviluppati con lo scopo non solo di indurre l'assunzione della quantità di cibo necessaria nel momento in cui una fonte di nutrimento è a disposizione, ma anche l'accumulo di eccessi di energia, che risulteranno molto utili in futuri periodi di scarsità alimentare, creando vere e proprie riserve nel corpo. Per far ciò, sono necessarie alcune funzioni che vanno al di là della semplice equazione «ho fame, il mio corpo ha bisogno di cibo, quindi mangio». Innanzitutto, bisogna che lo stimolo a mangiare non sia esclusivamente legato ai bisogni immediati, ma che l'individuo sia portato a mangiare anche se al momento non ne ha un bisogno reale. Se i meccanismi di fame e sazietà fossero perfettamente bilanciati e regolati sui bisogni immediati, non ci sarebbe nessuno stimolo a mangiare di più e quindi non ci sarebbe possibilità di crearsi delle riserve. Ecco così che i processi evolutivi hanno selezionato pulsioni e comportamenti per cui la presa alimentare non è soggetta alla sola regola del bisogno immediato. Queste pulsioni trasformano il cibo stesso, la sua presenza e le sue caratteristiche organolettiche (la sua bontà, che spesso corrisponde direttamente al suo contenuto energetico) in uno stimolo a cibarsi che agisce in maniera indipendente dallo stato energetico momentaneo dell'individuo. È così che il comportamento alimentare dell'uomo e degli animali non è sempre strettamente legato ai suoi bisogni energetici, ma anche ad altri impulsi, che coinvolgono meccanismi quali quelli cosiddetti della ricompensa (reward): non si mangia solo per fame, ma anche per piacere. Inoltre, l'eccesso di energia così acquisito deve essere conservato per un uso futuro. È per tale ragione che il corpo è dotato di meccanismi per lo stoccaggio di questa energia sotto forma di grassi. L'organo centrale di tali meccanismi (anche se non l'unico coinvolto) è il tessuto adiposo, le cui cellule, gli adipociti, hanno come funzione più evidente quella di accumulare grassi. Il tessuto adiposo, però, non è solo un magazzino di energia, ma partecipa attivamente ai processi di regolazione della bilancia energetica. Si è già visto come esso sia la principale fonte di sintesi e rilascio della leptina, ma negli ultimi anni si è anche scoperto che gli adipociti sono cellule estremamente reattive che 'dialogano' in continuazione con altri organi e partecipano a numerose funzioni non solo legate all'accumulo di energia.

Anche altri organi periferici regolano attivamente le riserve energetiche. Il fegato, per es., è in grado di sintetizzare grassi a partire dai nutrienti ingeriti; il pancreas regola il consumo della fonte di energia più immediata, il glucosio; il sistema gastroenterico non svolge solo il ruolo fondamentale dell'assorbimento dell'energia, ma è anche capace di comunicare con altri organi e con il sistema nervoso centrale, fornendo e

ricevendo informazioni sullo stato energetico del corpo; i muscoli, poi, sono la maggior fonte di consumo di energia e la loro funzionalità è molto importante per la regolazione della bilancia energetica. I vari organi e le loro interazioni formano una macchina complessa capace di regolare l'apporto, lo stoccaggio e il consumo di energia. L'evoluzione di questa macchina negli animali e nell'uomo è avvenuta lungo il corso di milioni di anni, durante i quali, in condizioni selvagge, l'apporto di nutrimento è quasi sempre stato al limite delle necessità, ma mai abbondante, e il lavoro (e quindi il consumo di energia) necessario per procurarsi il cibo è sempre stato piuttosto elevato. Allo stato attuale dell'evoluzione, quindi, i meccanismi di controllo della bilancia energetica sono sbilanciati verso l'assimilazione e l'accumulo di energia, piuttosto che verso il digiuno e il consumo di energia: in altre parole, per l'uomo e gli animali è più istintivo e naturale mangiare molto e lavorare poco, piuttosto che mangiare poco e lavorare molto. Con l'avvento dell'industrializzazione nella società umana occidentale e la conseguente possibilità di produzione di ingenti quantità di beni e cibo, questa tendenza naturale all'accumulo ha prodotto una situazione che possiamo definire paradossale. Oggi, in una parte estesa del mondo, sono presenti enormi quantità di nutrimento ad alto contenuto energetico relativamente poco costose da ottenere in termini di lavoro individuale. Se a ciò si aggiunge l'avvento delle macchine che sollevano gli individui da buona parte del loro lavoro fisico (per spostarsi e per produrre), ecco che si delinea una situazione in cui gli uomini si trovano a poter ingerire e accumulare grandissime quantità di energia e consumarne pochissima. Poiché tali comportamenti sono favoriti dai sistemi di controllo della bilancia energetica, gli uomini hanno cominciato ad accumulare sempre più energia sotto forma di grassi. Ciò ha causato l'insorgenza dell'obesità, una malattia che provoca enormi danni dal punto di vista socioeconomico e sanitario. L'eccesso di grasso, infatti, non è solo un problema estetico, ma implica soprattutto lo scatenarsi di una serie di processi patologici che possono portare a situazioni estremamente gravi, quali il diabete e numerose malattie cardiovascolari, con enormi rischi per la sopravvivenza stessa dell'individuo.

Gli studi hanno mostrato che il sistema endocannabinoide svolge un ruolo fondamentale nel controllo della bilancia energetica, contribuendo sostanzialmente alla 'tendenza all'accumulo' (Pagotto, Marsicano, Cota et al. 2006). Tale ruolo si esplica praticamente a tutti i livelli anatomici (fig. 4). Il sistema è presente nel cervello, dove partecipa attivamente sia ai meccanismi della 'fame' (cioè l'impulso all'assunzione di cibo in condizioni di bisogno fisico di energia dell'individuo), sia ai meccanismi di 'piacere' dato dal cibo, che ci portano ad assumere nutrimento anche se non ne abbiamo immediato bisogno, soprattutto se esso è ricco in energia (zuccheri, grassi) e associato a esperienze positive dell'individuo (nessuno, anche dopo un pranzo abbondante, potrebbe resistere alla torta che faceva la nonna quando eravamo bambini). Inoltre, il recettore CB1 e gli endocannabinoidi sono presenti in tutti i siti periferici che partecipano alla bilancia energetica: nel tessuto adiposo e nel fegato essi favoriscono la sintesi e l'accumulo dei grassi; nel muscolo diminuiscono l'utilizzo

del glucosio; nel pancreas regolano la sintesi e la secrezione di insulina (ormone fondamentale per il controllo dei livelli di glucosio nel corpo); nel sistema gastroenterico facilitano l'assorbimento dei nutrienti e partecipano attivamente alla comunicazione fra questo organo e il cervello.

In conclusione, si può affermare che il sistema endocannabinoide, attraverso azioni concertate in organi diversi, tende a favorire l'acquisizione e l'accumulo di energia, piuttosto che il suo consumo. Questa funzione del sistema è stata molto utile nel corso dell'evoluzione delle specie, quando le fonti di cibo erano limitate: nella savana è meglio mangiare di più e ingrassare, piuttosto che limitarsi e rischiare la morte per inedia. Al contrario, in condizioni di eccesso di apporto energetico quali quelle tipiche della società occidentale industrializzata, l'attivazione eccessiva del sistema endocannabinoide può contribuire in maniera sostanziale a indurre uno stato di obesità con tutte le sue conseguenze pericolose per l'organismo. Numerosi studi hanno dimostrato che in soggetti obesi (umani o animali), il sistema endocannabinoide tende a essere potenziato oltre i suoi limiti normali, favorendo sia l'eccesso di ingestione di energia (effetto principalmente nel cervello e nel tratto gastroenterico), sia il suo accumulo (effetto principalmente a livello di tessuto adiposo e fegato), sia la diminuzione del suo consumo (effetto principalmente nel muscolo e nel pancreas). Si crea così una sorta di circolo vizioso, per cui il soggetto obeso ha grandissime difficoltà a regolare i suoi comportamenti e il suo metabolismo, anche perché il sistema endocannabinoide superpotenziato continua a spingere verso l'accumulo di energia. In questo quadro, l'industria farmaceutica è stata attratta dall'idea che la diminuzione dell'attività del sistema endocannabinoide tramite l'uso di farmaci antagonisti del recettore CB1 (capaci, cioè, di impedirne l'attivazione da parte degli endocannabinoidi) potrebbe contribuire al trattamento farmacologico dell'obesità e delle malattie associate. Dal 2004, si sono effettuati test clinici che hanno mostrato come questa via terapeutica farmacologica (in aggiunta, naturalmente, a un cambiamento negli stili di vita: mangiare meno e muoversi di più) possa davvero contribuire a ostacolare l'epidemia di obesità che si sta profilando come uno dei problemi sanitari più seri per i prossimi decenni (Pagotto, Marsicano, Cota et al. 2006). Naturalmente, questo approccio farmacologico è un ottimo mezzo per affrontare il problema, ma non bisogna dimenticare le numerose altre funzioni importanti e utili del sistema endocannabinoide fra cui quelle viste in precedenza. Il blocco totale del sistema in pazienti obesi potrebbe quindi favorire sì la loro perdita di peso e il miglioramento del loro profilo metabolico, ma potrebbe anche esporli ad altri rischi collaterali. Infatti, il primo bloccante di CB1 è stato ritirato dal commercio nel 2008 a causa dei suoi effetti collaterali di tipo ansiogeno.

La bilancia energetica può anche essere alterata in senso inverso durante altre patologie, caratterizzate dalla perdita eccessiva di peso con le conseguenze nefaste che si possono immaginare. Condizioni psichiche o fisiche, quali l'anoressia nervosa o le cachessie causate dal cancro, sono situazioni in cui gli individui, per

diverse ragioni, non sono in grado di assumere e conservare livelli sufficienti di energia. Il sistema endocannabinoide (in questo caso a causa di un suo ipofunzionamento) potrebbe partecipare a queste condizioni patologiche. In tali campi, comunque, gli studi sugli animali sono appena iniziati e non vedono ancora una loro applicazione clinica pienamente supportata da prove conclusive. L'approvazione in alcuni Paesi del mondo, comunque, dell'uso della marijuana come palliativo per il trattamento delle cachessie associate al cancro o all'AIDS ha generato risultati piuttosto promettenti e ci sono buone speranze che questo aspetto del sistema endocannabinoide potrà, in un prossimo futuro, essere sfruttato in terapia.

Conclusioni

Il sistema endocannabinoide è molto antico dal punto di vista evolutivo: già animali molto semplici, quali le sanguisughe, producono e usano endocannabinoidi nella loro fisiologia. Si tratta, però, di un sistema relativamente nuovo dal punto di vista della ricerca scientifica. In questo breve saggio si è cercato di riportare lo stato attuale delle conoscenze generali sull'argomento, e di approfondire alcuni casi esemplari, ma moltissime sono ancora le scoperte sul sistema endocannabinoide che ci attendono nel futuro. Alcune, come per es. il ruolo del sistema nella percezione del dolore, nella modulazione della memoria, nelle attività vascolari, nella regolazione del sistema immunitario, nella fisiologia della crescita ossea o della riproduzione, nel controllo di numerose malattie e molte altre ancora, sono venute all'attenzione dei ricercatori di tutto il mondo. Sicuramente, comunque, ci saranno grandi sorprese in futuro che aumenteranno ancor più l'interesse suscitato da questo argomento affascinante sia per la ricerca 'pura' dei meccanismi di funzionamento del nostro corpo sia per la ricerca più 'applicata', tesa alla scoperta di nuovi bersagli terapeutici per il trattamento medico di moltissime malattie.

LA DIPENDENZA DALLE DROGHE

XXI Secolo (2010)

di Pier-Vincenzo Piazza, Véronique Deroche-Gamonet, Giovanni Marsicano

La dipendenza dalle droghe

La dipendenza: un fenomeno naturale

La dipendenza dalle droghe è un fenomeno conosciuto dal genere umano da millenni (Nencini 2004). In realtà, la dipendenza da fattori esterni è una costante degli esseri viventi. Sin dalle loro origini, i viventi 'dipendono'

da fonti esterne per ottenere i nutrienti necessari alla sopravvivenza e alla riproduzione. Più si sale nella scala evolutiva, più i fattori di dipendenza aumentano di numero e complessità. Si pensi, per es., che gli animali a riproduzione sessuata ‘dipendono’ dall’incontro e dal contatto con congeneri del sesso opposto per riprodursi. Con il modificarsi del sistema nervoso negli animali più evoluti, la regolazione dei comportamenti legati a varie forme di dipendenza naturale è divenuta progressivamente più complessa e sofisticata. Per es., la ricerca del cibo o la ricerca e la realizzazione di rapporti sociali con i propri conspecifici assumono, negli animali evoluti e soprattutto nei mammiferi, livelli molto complessi e sono alla base di gran parte dei nostri comportamenti quotidiani. In generale, i comportamenti complessi legati alla ricerca di cibo e a quella del partner rappresentano forme di regolazione di questi fenomeni di dipendenza. Nel tentativo di adattarsi alla complessità dell’ambiente, l’evoluzione ha portato all’insorgere di ‘pulsioni’ comportamentali che, semplificando, si possono indicare con il termine motivazione. Infatti, sono le motivazioni che regolano la maggior parte dei comportamenti e le più forti sono quelle legate a stimoli da cui si è dipendenti, come la nutrizione o la riproduzione.

Se la dipendenza è quindi un fenomeno fisiologico e, anzi, è la base sulla quale si è evoluto il comportamento umano, è lecito domandarsi perché la parola dipendenza è oggi divenuta sinonimo di patologia. In realtà non è lo stato di dipendenza in sé, ma l’oggetto di essa che causa la patologia. In altri termini, dipendenze da stimoli che favoriscono la sopravvivenza dell’individuo o della specie, come il cibo e l’attività sessuale, sono presenti in tutti gli individui sani e non possono essere considerate patologiche. Mentre gli stimoli che risultano irrilevanti per la sopravvivenza e, anzi, la mettono in pericolo (come le droghe, il gioco d’azzardo o le attività fisiche estreme ad alto rischio) trasformano la dipendenza in stato patologico. Negli animali più evoluti, quali i mammiferi e tra essi l’uomo, i meccanismi della motivazione che permettono di compiere attività complesse per rispondere a stimoli da cui si è dipendenti hanno raggiunto livelli molto raffinati e, nel cervello, sono serviti da circuiti neuronali specifici. Le caratteristiche di questi meccanismi sono oggetto di intensi studi da molti anni senza, peraltro, che le varie discipline che se ne sono occupate (dalla filosofia alla psicologia alle neuroscienze) siano ancora giunte a una completa comprensione del fenomeno.

In generale, quando la dipendenza da droghe di abuso si orienta verso stimoli irrilevanti o nocivi anziché importanti per la sopravvivenza diviene una patologia legata ad alterazioni dei meccanismi della motivazione. Infatti, dal punto di vista neurobiologico, tutte le cosiddette droghe di abuso, quali la caffeina, la nicotina, gli oppiacei, la cocaina o l’alcol, solo per citarne alcune, vedono la loro azione convergere su circuiti neuronali cerebrali che sembrano implicati nei processi fisiologici della motivazione. Per es., si sa da molto tempo che la regolazione della dopamina, un neurotrasmettitore fondamentale nei meccanismi di motivazione (oltre che in

numerose altre funzioni), rappresenta un obiettivo comune delle droghe di abuso. Al riguardo, esistono pubblicazioni molto dettagliate, che descrivono con dovizia di particolari come queste droghe siano in grado di alterare in maniera acuta o cronica tali circuiti neuronali (Gessa 2008).

Molto meno conosciuti sono i meccanismi che portano dal consumo di un determinato farmaco (o droga) al suo uso indiscriminato (abuso), fino alla vera e propria dipendenza, e ciò costituirà il tema centrale di questo saggio. Innanzi tutto, affronteremo alcune definizioni che appaiono chiare intuitivamente, ma che in realtà possono essere controverse e sottili, quali le distinzioni fra l'uso di un farmaco, il suo abuso e la dipendenza (farmacodipendenza o tossicodipendenza). In particolare, si discuterà delle recenti trasformazioni nella definizione di tossicodipendenza dal punto di vista neuropsichiatrico. Ci si occuperà inoltre di alcune recenti scoperte che hanno probabilmente aperto la via per una migliore comprensione dei meccanismi che portano al passaggio dall'uso di un farmaco alla vera e propria dipendenza da tale uso.

Il repertorio comportamentale e la dipendenza

Dal punto di vista dei comportamenti, le attività umane e degli animali più evoluti possono essere schematicamente racchiuse in alcune categorie. Le attività dedicate alla consumazione (di alimenti, di farmaci a uso terapeutico ecc.), alla ricreazione (per es., il gioco o altre attività creative), alla produzione (il lavoro) e alla riproduzione (ricerca di un partner ecc.) costituiscono la vita degli esseri umani, ma anche degli altri animali. Nell'ambito di queste attività rientra anche l'assunzione di farmaci o droghe. Questo è ovvio quando la motivazione all'assunzione di un farmaco è di tipo terapeutico, consente cioè di guarire da un determinato stato patologico, ma può anche riferirsi a ragioni extraterapeutiche, per es. per alcuni effetti che rendono le droghe piacevoli e ricreative. Tale uso non può essere definito necessariamente patologico, altrimenti si sarebbe costretti a definire malati i miliardi di persone che bevono un bicchiere di buon vino, o che non riescono a iniziare una giornata di lavoro senza consumare una tazza di caffè.

In realtà, il problema non consiste nel fatto che queste attività siano presenti nel repertorio comportamentale che caratterizza la vita degli individui, ma nel tempo e nel consumo di energia dedicato a ciascuna di esse. In condizioni normali, esiste una proporzione fra il tempo e l'energia dedicati a ciascuna di queste categorie di comportamenti (fig. 1). Il repertorio comportamentale del soggetto sano è quindi plastico e flessibile: si può passare facilmente da un'attività all'altra. Esso inoltre è equilibrato: il tempo e le energie spesi in ogni attività tendono, nel lungo periodo, ad aggiustarsi per mantenere un equilibrio. In termini generali, si può affermare che uno stato patologico interviene quando queste proporzioni sono alterate e un'attività prende il sopravvento

sulle altre, sebbene le cause del passaggio dalla normalità alla tossicodipendenza siano ancora ignote. Ciò che appare evidente è il fatto che si assiste a un 'irrigidimento' del repertorio comportamentale del soggetto, che quasi sempre corrisponde a quella che viene comunemente chiamata malattia mentale e questo si verifica per tutte le attività e gli stati emozionali. Per es., attività ricreative, come una partita a carte con gli amici, sono sicuramente normali. Invece, quando una persona comincia a passare ore al tavolo da gioco e spende tutti i suoi risparmi in questa attività, si assiste alla comparsa di un comportamento patologico. Simili considerazioni sono valide anche per le emozioni. In seguito a una brutta notizia (per es., una perdita o una delusione amorosa), il sopraggiungere di uno stato di tristezza e di prostrazione è certamente normale. Quando però, in seguito a un evento triste o, talvolta, anche in mancanza di un evento identificabile, la prostrazione e la malinconia diventano perenni e inarrestabili si entra in una patologia molto nota, la depressione. Nel caso specifico dell'assunzione di farmaci per il loro effetto ricreativo, la quantità di tempo ed energie a essa dedicati e la possibilità dell'individuo di interrompere quest'attività per passare ad altro, segnano la differenza tra una condizione normale e una chiaramente patologica. Nei tossicomani, infatti, l'assunzione di droga può in effetti assumere proporzioni enormi in relazione alle altre attività che vengono così completamente trascurate. Se inoltre tale sproporzione si associa agli effetti deleteri che un farmaco assunto in dosi massicce può avere, rappresenta una vera minaccia per il benessere dell'individuo e del suo entourage sociale e deve, quindi, essere considerata vero e proprio stato patologico.

Si può, quindi, parlare di uso normale e uso patologico di droghe. Anche se alcune di esse sono socialmente o legalmente accettate (l'alcol, la nicotina, la caffeina) e altre non lo sono (oppiacei, cannabinoidi, stimolanti quali cocaina o anfetamine), non cambia il fatto che possano essere usate non alterando in maniera significativa la proporzione fra le diverse attività fisiologiche dell'individuo. Al contrario, in altri soggetti le attività dedicate all'uso della droga assumono proporzioni abnormi che li conducono a passare dall'uso normale a quello patologico, chiamato generalmente dipendenza.

Evoluzione delle definizioni di tossicodipendenza

Si è visto come l'uso patologico di una sostanza può essere definito in maniera schematica un'amplificazione aberrante (con conseguenze devastanti per l'individuo, il suo ambiente e la società) del tempo e delle energie dedicate a tale uso. Ci si renderà conto, comunque, che tale definizione rimane quanto mai vaga. Quando avviene che la proporzione fra le varie attività assume caratteri aberranti? Nel campo della salute vi sono ambiti dove lo stato patologico è molto chiaro e ben definibile. Dolori muscolari, febbre, infezioni secondarie alle vie respiratorie e/o gastrointestinali sono sintomi che chiunque, anche senza essere un medico, può

riconoscere come caratteristici dell'influenza. Alterazioni di determinati parametri dei valori ematici associati a sintomi immediatamente individuabili da un medico assumono subito il significato di una patologia in atto.

Nel campo della psichiatria le cose non sono così evidenti. Varie condizioni storiche, scientifiche, sociali possono modificare le definizioni delle malattie neuropsichiatriche. Le patologie psichiche spesso rappresentano alterazioni quantitative di tratti comportamentali che sono comuni a soggetti sani o chiaramente malati. Ciò non significa assolutamente che la malattia psichiatrica sia solo una variazione sul tema o addirittura sia inesistente. Significa solo che la sua definizione e la sua identificazione diagnostica sono generalmente piuttosto complesse. A causa di questa complessità, negli ultimi decenni ci si è trovati nella necessità di uniformare a livello internazionale la definizione delle malattie neuropsichiatriche, anche per favorire la comunicazione fra gli operatori del settore. Tale operazione, con tutti i suoi limiti che non verranno qui discussi, rappresenta un passo avanti molto importante, perché permette alla comunità scientifica, ai terapeuti e alla società di utilizzare un 'codice' comune nella diagnosi delle malattie neuropsichiatriche, elemento decisivo nella lotta per ottenere terapie efficaci e verificabili. Questo problema apparve subito chiaro ai pionieri della moderna neuropsichiatria, che già nel 19° sec. proposero diverse classificazioni delle malattie psichiche, senza tuttavia trovare unanimi consensi. Negli anni Cinquanta del 20° sec., la comunità scientifica (a maggioranza anglosassone, ma con contributi da ogni parte del mondo occidentale) elaborò il primo Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM) curato dall'American psychiatric association. È interessante notare che dalla data della sua prima pubblicazione, nel 1952, il DSM ha subito numerose revisioni, che hanno portato, fra le altre, all'edizione di tre successive versioni: DSM II (1968), DSM III (1980) e DSM IV (1994). Per quanto riguarda la dipendenza dalle droghe, le ultime due edizioni del DSM sono alquanto differenti e riflettono un cambiamento profondo nel modo di valutare e definire la malattia.

Nel DSM III la comparsa di uno stato di dipendenza viene identificato in sintesi valutando le modificazioni degli effetti della sostanza che sopraggiungono con il suo uso cronico (v. la prima colonna della tabella). Infatti, per poter parlare di abuso e dipendenza, l'elemento determinante è l'uso cronico di una determinata sostanza. È altrettanto ovvio, però, che l'uso cronico di un farmaco non può essere definito di per sé una tossicodipendenza. Per es., nessuno immaginerebbe di definire tossicodipendente un diabetico che si autosomministra quotidianamente insulina, anche se è profondamente dipendente da questa sostanza. Il DSM III identifica dunque due ulteriori elementi atti a definire la farmacodipendenza, ossia la tolleranza e la cosiddetta crisi di astinenza che appare all'interruzione della somministrazione.

La tolleranza indica che la dose da autosomministrarsi per ottenere il medesimo effetto aumenta progressivamente. Questo fenomeno è ben conosciuto e i suoi meccanismi neuronali sono stati chiariti in maniera piuttosto approfondita. La maggior parte delle droghe di abuso agisce tramite l'interazione diretta o indiretta con specifici recettori localizzati sulle membrane dei neuroni. I recettori sono proteine che agiscono come vere e proprie 'serrature' molecolari. Le droghe rappresentano una categoria di 'chiavi' di queste serrature (denominate ligandi del recettore). L'interazione di un ligando con il suo recettore specifico (in grado di riconoscerlo, proprio come una serratura riconosce la sua chiave) genera dei cambiamenti all'interno del neurone ospite che si riflettono nell'alterazione dell'attività del neurone stesso e, in ultima analisi, negli effetti specifici della droga. In condizioni fisiologiche, l'attivazione dei recettori è rigorosamente controllata. Numerosi meccanismi permettono alle cellule di regolare tale attivazione e di mantenerla entro limiti normali. Uno di questi meccanismi, per es., comporta che un recettore eccessivamente attivato venga riassorbito all'interno della cellula stessa. La cellula riduce così il numero dei recettori esposti all'esterno e si difende da un'eccessiva stimolazione. Ovviamente, quando un farmaco che agisce su un tipo di recettore viene assunto in maniera costante e abbondante, ne deriva una progressiva riduzione della presenza dei recettori esposti all'esterno delle cellule. Ecco, così, che la dose per ottenere il medesimo effetto deve necessariamente aumentare, portando il tossicodipendente alla ben conosciuta escalation nell'assunzione della droga.

L'altro elemento diagnostico descritto del DSM III, la crisi di astinenza, è legato a meccanismi simili. Molte droghe di abuso agiscono su sistemi endogeni all'organismo, soprattutto quelli legati alla percezione e alla motivazione. La ragione per cui le droghe sono attrattive è che esse potenziano funzioni fisiologiche positive, provocando intense sensazioni. Dopo un lungo periodo di autosomministrazione, fenomeni simili a quello della tolleranza portano a una riduzione dell'attività di questi sistemi endogeni, le cui funzioni sono ormai sostenute quasi esclusivamente dalla loro stimolazione artificiale con la droga. Quando si interrompe bruscamente l'assunzione del farmaco, quindi, l'organismo si trova per così dire 'scoperto' e precipita nella situazione opposta. Per es., oppiacei quali la morfina e l'eroina agiscono su recettori (i cosiddetti recettori oppioidi) che giocano un ruolo fisiologico molto importante nel controllo e nella riduzione delle sensazioni dolorifiche. Un eroinomane che interrompa bruscamente l'assunzione della droga si trova in una situazione in cui il dolore non è più controllato, né in maniera fisiologica, né in maniera farmacologica. La crisi di astinenza è la conseguenza dovuta alla mancanza di una serie di funzioni (diverse a seconda del tipo di droga) progressivamente sostituite dall'assunzione del farmaco stesso. In conclusione, secondo il DSM III, un individuo che si somministrasse una droga cronicamente, a dosi crescenti, e che presentasse i segni di una crisi di astinenza in seguito all'interruzione dell'autosomministrazione, sarebbe definito tossicodipendente.

Il DSM IV, apparso nel 1994, ha provocato una vera e propria rivoluzione. In questa edizione la tossicomania non è più esclusivamente identificata dall'analisi dei cambiamenti degli effetti della droga sull'individuo, come nel DSM III, ma analizzando le modificazioni della relazione comportamentale dell'individuo con la droga. In altri termini, l'attenzione si sposta dagli effetti della droga (DSM III) ai cambiamenti riscontrabili nel comportamento del soggetto nei confronti della droga (DSM IV). Si introduce, in sostanza, il concetto che la tossicodipendenza è una patologia del 'controllo' e che la malattia insorge soltanto quando appare una perdita di controllo dell'uso della droga. Nel DSM IV i sintomi della tolleranza e della crisi di astinenza sono ancora considerati, ma la loro presenza non è più necessaria per diagnosticare una tossicomania in atto. Ciò che diviene necessario è la presenza di almeno uno degli altri cinque sintomi (nonché criteri diagnostici: cfr. la seconda colonna della tabella) che definiscono una perdita di controllo nell'uso della droga stessa: il soggetto usa la sostanza in quantità superiori o per un tempo maggiore di quanto egli intendesse inizialmente; non riesce, una volta iniziato, a interrompere o a limitare l'assunzione della droga; spende una parte considerevole del suo tempo in attività legate alla sostanza (ricerca, uso, recupero psicofisico dai suoi effetti); trascura profondamente importanti attività (sociali, lavorative, ricreative) a vantaggio di quelle legate all'uso della droga; non riesce a smettere di usare la sostanza nonostante sia perfettamente a conoscenza degli effetti negativi che tale uso comporta. Considerando anche la tolleranza e la crisi di astinenza, il DSM IV presenta, quindi, sette sintomi che aiutano a definire un paziente tossicodipendente. La malattia viene rilevata dalla presenza di tre o più di questi sintomi. Ecco così che il verificarsi di una modificazione degli effetti del farmaco non è più necessaria per indicare una patologia di tossicodipendenza in atto. In conclusione, quindi, un soggetto che non presenti né tolleranza né crisi di astinenza, ma che non riesca a controllare la quantità di droga assunta, che trascuri le sue attività normali a causa di essa e che non riesca a smettere nonostante sia perfettamente cosciente del danno che tale uso gli causa, viene oggi definito tossicodipendente a tutti gli effetti.

Ma qual è la causa di un'evoluzione così profonda della concezione della tossicomania? La risposta è in realtà molto semplice. Nel periodo del DSM III le due tossicomanie prevalenti erano quelle da oppioidi (oppio, morfina ed eroina) e da alcol. Per queste droghe, i fenomeni di tolleranza e i sintomi di astinenza sono molto importanti, clinicamente evidentissimi e accompagnano perfettamente lo sviluppo della perdita di controllo sull'uso della droga. Nell'ultimo ventennio del 20° sec., sono apparsi però due fenomeni nuovi. Il principale è stato l'epidemia di tossicomania da crack, che non è altro che cocaina in forma tale da poter essere assunta tramite il fumo, associata a una recrudescenza delle metanfetamine e dell'ecstasy. Il secondo è stato il tentativo largamente infruttuoso di diminuire l'uso del tabacco nella popolazione, a causa della presa di coscienza dei suoi effetti devastanti sulla salute.

Ci si è infatti resi conto che il tabagismo è probabilmente una delle più gravi e resistenti forme di tossicomania. Per tutte queste 'nuove' droghe (crack, metanfetamine, nicotina) i criteri del DSM III si sono rivelati immediatamente del tutto inadeguati. Infatti, nessuna di queste droghe provoca in pratica alcuna tolleranza misurabile. Anzi, alcune di esse inducono un fenomeno inverso, quello della sensibilizzazione (un fenomeno per cui gli effetti di un farmaco aumentano invece di diminuire con l'uso cronico). Non solo la tolleranza non fa parte del repertorio di queste tossicodipendenze, ma anche la crisi di astinenza è un fenomeno sporadico fra i tossicodipendenti da queste droghe e difficile da diagnosticare. Un tabagista, per es., può non presentare fenomeni di tolleranza (spesso i fumatori consumano più o meno la stessa quantità di nicotina giornaliera per molti anni), e una crisi di astinenza chiara, con sintomi fisici precisi in caso di interruzione improvvisa, è un fenomeno poco comune. Nel DSM III, un paziente che avesse fumato costantemente venti sigarette al giorno, ma che non avesse né tendenza ad aumentare la quantità né una crisi di astinenza all'interruzione, non sarebbe stato definito tossicodipendente. Oggi, si sa che questo tipo di paziente probabilmente non sarebbe capace di rinunciare ad alcuna delle sue venti sigarette nonostante la volontà e l'intenzione di farlo (sintomo 4 del DSM IV). Inoltre, se non ha sigarette la domenica sarà capace di percorrere molti chilometri per riuscire a trovarle, magari rinunciando a passare la giornata in famiglia (sintomi 5 e 6), e continuerà a fumare (trovando decine di scuse) nonostante sappia che ciò danneggerà molto probabilmente la sua salute (sintomo 7). L'osservazione clinica e l'elaborazione teorica degli aspetti legati a queste 'nuove' tossicomanie hanno permesso di comprendere che, in ultima analisi, sono la variazione del comportamento del soggetto e la sua relazione con la sostanza che definiscono in modo preciso e onnicomprensivo tutte le tossicodipendenze.

Un elemento importante da rilevare in base a tutte queste considerazioni è che l'uso di una droga non può e non deve essere assimilato a uno stato di dipendenza di per sé, ma che esso insorge in alcuni soggetti in cui tale uso acquista caratteri compulsivi e diviene incontrollabile. È per questa ragione che gli studi più recenti si sono focalizzati sul fenomeno della transizione dall'uso di un farmaco al suo abuso e alla vera e propria dipendenza. Di questi studi ci si occuperà nel prosieguo di questo saggio.

Basi neuropsichiatriche della transizione: due teorie a confronto

Gli effetti attrattivi delle droghe di abuso sono ampiamente presenti lungo la catena evolutiva. Animali molto semplici quali vermi, api, roditori e primati non umani sono in grado di distinguere gli effetti di queste droghe. Per es., se messi in condizioni sperimentali in cui un particolare ambiente è stato associato con una

somministrazione di droga, essi preferiranno frequentare tale ambiente rispetto a un altro associato con uno stimolo neutro. La vera e propria autosomministrazione di droghe di abuso negli animali, cioè la capacità di un animale di produrre un lavoro per ottenere come sola ricompensa un'iniezione di droga, fu dimostrata per la prima volta nel 1962, quando James R. Weeks negli Stati Uniti dimostrò che ratti di laboratorio sono capaci di premere un numero rilevante di volte una leva per ottenere un'iniezione di morfina per via intravenosa (Experimental morphine addiction. Method for automatic intravenous injections in unrestrained rats, «Science», 1962, 138, 3537, pp. 143-44).

Il fatto che l'assunzione spontanea e volontaria di droghe di abuso non esiste solo nell'uomo, ma anche negli animali, ha esteso le possibilità di elaborazione teorica sul fenomeno della tossicomania. Il confronto e l'integrazione fra dati clinici ed epidemiologici (ottenuti nel mondo reale, ma di difficile controllo e interpretazione) e dati sperimentali ottenuti con l'uso di modelli animali (più controllabili e misurabili) hanno permesso di estendere in maniera considerevole le nostre conoscenze sull'argomento. Nel corso degli ultimi decenni, sulla base di dati sperimentali simili al modello di Weeks e di osservazioni cliniche sempre più dettagliate si sono sviluppati due filoni teorici per spiegare il fenomeno della transizione dall'uso di una droga alla dipendenza. Uno di questi filoni è centrato sulla droga, mentre l'altro è invece centrato sull'individuo. Essi sono basati rispettivamente su due osservazioni cliniche comunemente accettate: il fatto che la transizione avviene solo dopo un uso prolungato della droga ha dato origine alle teorie centrate sulla droga, mentre il fatto che fra gli individui che fanno uso di una droga anche per lunghi periodi la tossicomania insorge solo in un numero molto limitato di soggetti ha prodotto le teorie centrate sull'individuo.

Le teorie centrate sulla droga sono sicuramente le più esplorate dai ricercatori e hanno guidato gli sforzi terapeutici, purtroppo piuttosto infruttuosi, indirizzati alla cura della malattia negli ultimi 40-50 anni. Secondo queste teorie, la transizione dall'uso alla dipendenza deriva dagli effetti neurobiologici e psicologici dovuti all'uso prolungato di una droga, che, attraverso profonde modificazioni del cervello e del comportamento, renderebbero l'individuo tossicodipendente. Secondo le differenti scuole di pensiero susseguitesesi nel corso degli anni (Kalivas, Volkow, Seamans 2005; Nestler 2005; Hyman, Malenka, Nestler 2006; Robinson, Berridge 2008), sono stati considerati principali fenomeni associati a questi effetti della droga la tolleranza, l'astinenza e, più recentemente, la sensibilizzazione motivazionale (cioè la riorientazione della motivazione dagli stimoli naturali alla droga) nonché il condizionamento (l'acquisizione di stimoli dell'ambiente associati all'assunzione di droga, capaci cioè di ricordarla e indurre uno stato di desiderio per essa). Numerosi esperimenti di laboratorio forniscono un chiaro e dettagliato supporto a queste teorie, mostrando che la durata e l'intensità di esposizione alla droga inducono in maniera proporzionale fenomeni di tolleranza,

sensibilizzazione, astinenza e condizionamento sempre più importanti. Inoltre gli animali tendono ad aumentare il consumo delle sostanze di abuso con il passare del tempo, e questa tendenza è proporzionale alla quantità di droga assunta dagli individui. Un sostegno molto importante alle teorie centrate sulla droga è venuto anche da ricerche puramente neurobiologiche che hanno mostrato come l'uso cronico di una droga sia spesso associato a profondi cambiamenti molecolari, cellulari o sinaptici (le sinapsi sono i siti di contatto e comunicazione fra diversi neuroni) nel cervello (Grimm, Hope, Wise, Shaham 2001; Nestler 2005; Hyman, Malenka, Nestler 2006). Pertanto, è indiscutibile che l'uso prolungato di farmaci a effetto psicotropo scateni alterazioni profonde nel cervello e nel comportamento dell'individuo che potrebbero essere alla base della transizione dall'uso alla dipendenza.

Per queste teorie la tossicomania è dunque una malattia iatrogena, cioè un effetto collaterale dell'assunzione ripetuta di una sostanza farmacologica. Per capire meglio questo concetto è importante ricordare che alcune droghe sono anche farmaci. La cocaina fu introdotta inizialmente come anestetico locale e suoi derivati sono ancora utilizzati a questo scopo. La morfina, che in sostanza equivale all'eroina, è l'analgescico più potente che si conosca ed è ancora universalmente utilizzato in medicina. La Cannabis sativa (marijuana) era presente in tutte le farmacopee ufficiali come strumento terapeutico per numerose malattie fino agli anni Trenta del 20° sec., quando i suoi effetti collaterali psicotropi, appunto, ne provocarono l'interdizione.

Le teorie centrate sull'individuo sono state finora molto meno studiate. Esse furono proposte molto più tardi (circa vent'anni fa), e sono basate sull'osservazione che 'solo' un numero variabile (dal 10 al 30%, a seconda delle sostanze) delle persone che fanno uso di droghe per periodi anche prolungati, ne diviene clinicamente dipendente (Piazza, Deminière, Le Moal, Simon 1989; Piazza, Le Moal 1996). Tali teorie individuano la transizione dall'uso alla dipendenza come una risposta patologica alla droga che dipende da specifiche caratteristiche dell'individuo. La tossicomania sarebbe cioè una risposta anormale alla droga in alcuni soggetti, e non una conseguenza inevitabile del suo uso prolungato. Questo tipo di teoria porta a classificare la tossicomania come vera patologia del comportamento.

Per comprendere tale concetto, esempio illuminante è quello della depressione, una delle malattie psichiche più diffuse e gravi. In Europa, la depressione si manifesta clinicamente con maggiore frequenza in seguito a due eventi piuttosto comuni, i divorzi e i traslochi. Nessuno può però considerare la depressione una conseguenza diretta dei divorzi o dei traslochi e pensare, quindi, che basterebbe eliminare queste due situazioni per ridurre l'incidenza della malattia. È invece evidente come la malattia nasca dall'interazione tra stimoli che non sono obbligatoriamente patologici e un terreno (l'individuo) vulnerabile. Le teorie centrate

sull'individuo identificano questo stesso tipo di interazione tra droga, terreno vulnerabile e tossicomania. Esistono numerose evidenze cliniche e sperimentali in favore delle teorie centrate sull'individuo. Per es., profonde differenze individuali esistono negli animali da laboratorio per quanto riguarda l'autosomministrazione delle droghe di abuso. Tali differenze possono essere di origine genetica ma anche ambientale, in particolare come conseguenza di situazioni di stress.

Negli ultimi anni, le due teorie sono state contrapposte anche in maniera accesa. L'esistenza della variabilità individuale non è mai stata messa in discussione, ma i fautori della teoria centrata sulla droga hanno spesso cercato di spiegarla con fattori esterni all'individuo. Per es., la disponibilità di una determinata droga e la 'pressione sociale' al suo uso potrebbero essere la causa di tale variabilità individuale nell'uomo, mentre l'errore sperimentale (la variabilità intrinseca in ogni esperimento condotto su materiale vivente, dovuto a fattori incontrollabili e ai limiti delle tecniche di misurazione) sarebbe all'origine della variabilità individuale negli esperimenti condotti in laboratorio. In altre parole, alcune persone avrebbero più tendenza a divenire tossicodipendenti di altre, semplicemente perché hanno più possibilità di accedere alla droga o hanno pressioni sociali più importanti per farlo, senza che il loro fenotipo (l'insieme dei caratteri fisici, psicologici e comportamentali di un individuo) sia parte in causa in questo processo. Come spesso succede nella scienza, le due teorie contengono entrambe una dose di evidenza rilevante: la droga ha sicuramente un effetto biologico sul cervello, che contribuisce allo sviluppo della dipendenza, ma ogni individuo possiede un suo fenotipo psicofisico che lo espone o meno a questo rischio. Mentre, però, la prima evidenza è conosciuta da lungo tempo e largamente accettata, la seconda è stata fortemente criticata negli ultimi anni, fino ad affermare che la variabilità individuale non ha alcuna rilevanza nella transizione dall'uso di una droga alla sua dipendenza. Tali affermazioni sono state chiaramente smentite negli ultimi 10-20 anni da studi su modelli animali di uso delle droghe, fino ad arrivare alla più recente dimostrazione che la variabilità individuale esiste e può essere studiata in laboratorio in condizioni sperimentali controllate fino alla vera e propria transizione dall'uso alla dipendenza.

Per quanto riguarda le evidenze in favore della vulnerabilità individuale all'uso della droga, si è visto che tali variazioni individuali non dipendono dalle condizioni sperimentali e dal loro errore. Infatti, alcune variabili comportamentali indipendenti dalla droga stessa predicono la maggiore o minore predisposizione all'assunzione volontaria di droga in laboratorio. Fattori individuali come la risposta allo stress, i livelli di ansietà o l'impulsività sono elementi predittivi di un maggiore o minore uso di droga da parte di individui specifici. In altre parole, numerosi studi hanno mostrato che gli animali che presentano una maggiore o minore capacità di adattarsi allo stress, o sono più o meno inclini ad agire impulsivamente, consumeranno maggiori o

minori quantità di droga, quando esposti alla possibilità di autosomministrarsela. Ovviamente, questi fattori non possono dipendere da un errore sperimentale, perché altrimenti dovremmo pensare che lo stesso errore, che è per definizione casuale, dovrebbe regolarmente riprodursi in maniera identica in esperimenti successivi su comportamenti diversi degli stessi individui. Ciò è chiaramente impossibile. Inoltre, le variabilità individuali persistono negli animali quando le dosi di droga sono esattamente le stesse per tutti gli individui e si mantengono su un largo spettro di dosi. Questo indica chiaramente che la disponibilità della droga non può da sola spiegare la variabilità del suo uso e che anche in condizioni come quelle umane, in cui la dose di droga presa può essere liberamente scelta dall'individuo, alcuni soggetti saranno maggiormente indotti a consumarla. Infine, numerosi studi più recenti hanno rivelato vere e proprie basi biologiche associate alla maggiore o minore vulnerabilità all'assunzione di droga e che lo stato di ciascun individuo (per es., la sua previa esposizione a diversi tipi di stress) può determinare tale vulnerabilità. È fondamentale notare che le modificazioni biologiche che causano la vulnerabilità concernono proprio quei sistemi motivazionali che controllano la dipendenza fisiologica dal cibo o dal sesso, sistemi che nei soggetti vulnerabili si attivano in maniera aberrante in risposta alla droga.

In conclusione, oggi si sa che alcuni individui sono maggiormente esposti ai rischi delle droghe a causa delle loro caratteristiche individuali. Anche i ricercatori più riluttanti ad ammettere l'importanza di questi fenotipi sono oggi convinti che essi esistono e hanno un ruolo fondamentale nella fisiopatologia della dipendenza.

Dall'uso alla dipendenza: necessità di modelli

Si è finora accennato alla differenza fra uso della droga e vera e propria dipendenza o tossicomania. Per quanto riguarda l'uso, si è visto che dati clinici e sperimentali convergono sull'idea che, oltre agli effetti della droga stessa, alcuni fattori biologici intrinseci del soggetto (fenotipo) determinano la maggiore o minore vulnerabilità dei singoli individui all'autosomministrazione. Fino a pochi anni fa, però, non era ancora chiaro se fosse realmente possibile riprodurre in laboratorio una vera e propria transizione dall'uso alla dipendenza, per poterne studiare i meccanismi biologici. A questo punto occorre sottolineare ancora una volta che l'uso di una droga non è assimilabile completamente al suo abuso e alla dipendenza e che anche un aumento progressivo della consumazione non è obbligatoriamente un sintomo di dipendenza. Come definito dal DSM IV del 1994, la dipendenza appare quando l'assunzione di droga diviene compulsiva e, soprattutto, incontrollabile.

Per ottenere modelli sperimentali di questi ultimi aspetti della patologia, è necessario individuare i singoli sintomi, ottenere osservazioni equivalenti misurabili negli animali da laboratorio, valutarle durante un periodo esteso di esposizione all'uso volontario della droga e, infine, considerare i risultati per singolo animale, in maniera da evidenziare il potenziale impatto della variabilità individuale su di essi. Tutto ciò appare semplice teoricamente, ma comporta notevoli difficoltà tecniche. Infatti è necessario individuare comportamenti e reazioni degli animali che possano, nel modo più preciso possibile, rappresentare i sintomi umani. Negli ultimi dieci anni, alcuni gruppi di ricerca hanno raccolto la sfida. Il gruppo di Pier-Vincenzo Piazza in Francia è stato il primo a elaborare un modello plurisintomatico di transizione dall'uso alla dipendenza dalle droghe (Deroche-Gamonet, Belin, Piazza 2004). Inoltre, altri gruppi hanno ottenuto modelli che, pur basandosi su singoli aspetti (sintomi) come segni della transizione (modelli monosintomatici), hanno contribuito alla ricerca in questo campo (Grimm, Hope, Wise, Shaham 2001; Belin, Mar, Dalley et al. 2008).

Il modello plurisintomatico

Questo modello è stato sviluppato usando la cocaina come droga di abuso, ratti da laboratorio come soggetti e procedure di autosomministrazione intravenosa (Deroche-Gamonet, Belin, Piazza 2004). I ratti sono esposti alla possibilità di autosomministrarsi cocaina per due ore al giorno a una dose prefissata. In queste condizioni, tutti gli animali imparano a premere una leva per ottenere le loro dosi di cocaina, senza grandi variabilità individuali. Quanti di questi animali a un certo punto passeranno la soglia e diventeranno francamente dipendenti dalla cocaina? Per rispondere a questa domanda, è necessario ritornare al DSM IV.

Come si è visto in precedenza, il manuale individua cinque sintomi basati sulla perdita di controllo dell'individuo. In pratica, i soggetti dipendenti sono disposti a superare qualsiasi barriera pur di ottenere la droga. Per semplificare, nelle condizioni sperimentali, questi cinque sintomi possono essere raggruppati in tre criteri diagnostici comportamentali, cui un animale dipendente dovrà rispondere per essere definito tale (v. la terza colonna della tabella): dovrà avere una forte motivazione per la droga; sarà incapace di frenare la ricerca della droga, anche se sa che questa è resa indisponibile dallo sperimentatore; continuerà ad autosomministrarsi la droga anche in presenza di chiare conseguenze negative causate da tale comportamento. Il primo criterio viene valutato mediante un aumento del lavoro necessario per ottenere l'iniezione di una singola dose. In pratica, mentre in condizioni normali basta che il ratto prema tre volte per ottenere una dose, durante il test, l'animale deve progressivamente aumentare il numero di pressioni sulla leva per ottenere una singola iniezione. In questo modo, a un certo punto tutti gli animali smetteranno di premere (il numero di pressioni può arrivare anche a livelli molto alti, 2000-3000 per una singola iniezione). La soglia a cui ogni individuo si

arresta è usata come indice della sua motivazione per la droga e sarà più elevata per ratti dipendenti. Il secondo criterio è valutato introducendo un segnale (una luce o un suono) che indica l'indisponibilità della droga. In pratica, se il segnale è acceso, il ratto può premere quanto vuole, ma non riceverà alcuna dose di cocaina. Un segno di dipendenza sarà, quindi, il fatto che alcuni animali continueranno a premere durante il segnale, anche se sanno che l'azione non verrà ricompensata. Il terzo criterio è forse uno dei più determinanti. Per valutarlo, si presenta uno stimolo (diverso da quello del secondo criterio), durante il quale la pressione della leva che provoca normalmente l'iniezione della droga viene anche associata a una punizione (per es., una leggera scossa elettrica alle zampe). In queste condizioni, i ratti non dipendenti smetteranno di premere la leva alla presenza dello stimolo, mentre quelli dipendenti continueranno ad assumere la droga nonostante le conseguenze negative. Questi tre test diagnostici sono eseguiti a intervalli regolari durante un periodo piuttosto lungo (alcuni mesi). Ogni individuo è valutato secondo il suo livello di risposta in rapporto alla media della popolazione degli animali nell'esperimento. I risultati mostrano come, in un primo periodo, quasi nessun animale risulti positivo ai test: quasi tutti mostrano una motivazione simile e abbastanza bassa (criterio 1), sono in grado di frenare la pressione della leva durante il segnale di inaccessibilità della droga (criterio 2) e smettono completamente di premere la leva quando imparano che il nuovo stimolo è associato alla punizione, rinunciando, pertanto, alla loro dose (criterio 3). Con il passare delle settimane, però, ci si rende conto di come individui che avevano smesso di richiedere la droga quando questa era inaccessibile e di prenderla quando il lavoro era troppo importante o la dose era associata a una punizione, cambino il loro comportamento durante i test diagnostici, mostrando una vera e propria incapacità di controllare le azioni dirette all'assunzione della cocaina.

Gli animali, quindi, vengono classificati a seconda del numero di criteri per cui risultano positivi. In questo modo, si possono distinguere quattro popolazioni, caratterizzate dal numero di criteri incontrati: da zero a tre. In analogia con i criteri diagnostici del DSM IV (la presenza di tre sintomi su una lista di sette), questo metodo permette di distinguere animali che non hanno sviluppato dipendenza (quelli che non sono positivi ad alcun criterio), animali che presentano una dipendenza intermedia (con uno o due criteri), e animali che sono veramente dipendenti, ossia positivi a tutti e tre i criteri. Sempre attraverso metodi statistici, è possibile trasformare i valori registrati in ciascun test in un punteggio di dipendenza, che può essere considerato analogo a un altro strumento diagnostico usato su pazienti umani, la scala di gravità della dipendenza (ASI, Addiction Severity Index). In questo modo si possono ottenere valori qualitativi (presenza o meno dei criteri) e quantitativi (scala di gravità) molto simili a quelli utilizzati dagli psichiatri. I risultati di questi esperimenti mostrano che, in maniera simile agli esseri umani, solo il 17% dei ratti consumatori di cocaina diviene veramente cocainomane (diversi studi epidemiologici indicano che questa percentuale negli esseri umani

oscilla fra il 15 e il 20%). Inoltre, ancora in analogia con gli esseri umani, i ratti tossicomani con tre criteri mostrano una forte tendenza alla ricaduta nell'uso della droga, anche dopo lunghi periodi di astinenza e disintossicazione (Deroche-Gamonet, Belin, Piazza 2004).

Probabilmente la scoperta più importante di questi studi è stata la dimostrazione che la quantità totale di droga consumata dai ratti con tre criteri (dipendenti) non è diversa da quella consumata dagli animali che, invece, non sviluppano la patologia e mantengono un controllo perfetto sull'uso di droga (zero criteri). Si tratta di un'osservazione fondamentale che dimostra definitivamente l'importanza della vulnerabilità individuale rispetto alle teorie iatrogene che predicano come la quantità di droga assunta sia direttamente proporzionale alla probabilità di cadere nella transizione dall'uso alla dipendenza. Si può, quindi, parlare di vera e propria tossicodipendenza anche per gli animali da esperimento e i dati indicano in maniera molto netta come la transizione dall'uso non patologico all'abuso patologico risulti dalla combinazione di due fattori principali: un'esposizione prolungata a una sostanza con potenziale di abuso e un fenotipo individuale vulnerabile.

Tutto ciò offre la possibilità ai ricercatori di affrontare in maniera efficace la cura e la prevenzione di questa patologia. Sarà, infatti, possibile studiare i meccanismi neuronali della transizione in condizioni sperimentali e, soprattutto, individuare le caratteristiche psicobiologiche degli individui vulnerabili. Nell'impossibilità pratica di eliminare tutte le droghe dalla società umana, infatti, la speranza offerta dalla ricerca è quella di identificare le specifiche reazioni alla droga degli individui vulnerabili, in modo da instaurare terapie che possano combatterle e vincere così la tossicomania. Naturalmente, i ratti da laboratorio non presentano la complessità psichica, sociale, economica tipica degli esseri umani in cui la malattia si sviluppa. La possibilità, però, di studiare i dettagli neurobiologici di questi processi rappresenta il contributo che le neuroscienze possono fornire alla comprensione e, forse, alla cura e prevenzione della tossicodipendenza.

Basi psicobiologiche della transizione alla dipendenza

Nel tentativo di trovare i fattori causali della tossicodipendenza, numerosi studi epidemiologici e clinici si sono focalizzati su aspetti psicologici, come per es. l'impulsività o la capacità di adattarsi allo stress, o a patologie spesso associate alla dipendenza, quali i disturbi di ansia o la depressione. Sebbene questi studi siano molto complessi e i risultati a volte contraddittori, si può oggi affermare che esistano delle associazioni fra l'uso prolungato di alcune droghe e queste condizioni o patologie neuropsichiche. Ancora una volta, però, studiare i dettagli di questi meccanismi nel mondo reale è molto difficile e, soprattutto, studi clinici ed epidemiologici non permettono di stabilire se un dato carattere psicologico o patologia psichica è una

conseguenza dell'uso delle droghe o ne è la causa. Alcuni modelli animali (come quello discusso in precedenza) hanno permesso negli ultimi anni di chiarire certi aspetti della relazione causale fra la tossicodipendenza e tali caratteri psicologici e psicopatologici.

Adattamento allo stress

L'esposizione a eventi stressanti come fattore di rischio della tossicodipendenza è un leitmotiv degli studi epidemiologici sull'uomo. Gli studi sperimentali supportano questa ipotesi e hanno permesso di mostrare una relazione causale tra i due fenomeni (Piazza, Le Moal 1997 e 1998).

Alla fine degli anni Ottanta del 20° sec. si dimostrò, con esperimenti di laboratorio condotti su ratti, che certi individui mostrano una vulnerabilità più pronunciata all'autosomministrazione di droghe di abuso rispetto ad altri congeneri (Piazza, Deminière, Le Moal, Simon 1989). Essi assumono più droga e mostrano una sensibilità accresciuta ai suoi effetti. Questa maggiore tendenza al consumo di droga può essere prevista analizzando alcune semplici reazioni a situazioni stressanti. Per es., per i roditori, che sono animali notturni abituati a spazi ristretti, l'esplorazione di spazi aperti e sconosciuti è un evento piuttosto stressante e la reattività a tale stress può essere valutata semplicemente misurando l'attività locomotoria degli animali in tali circostanze. Gli studi hanno mostrato che gli animali con una maggiore reattività allo stress sono anche quelli che svilupperanno un maggiore consumo di droga in test successivi. Inoltre, eventi stressanti a diversi stadi dello sviluppo possono indurre lo stesso effetto: rendere, cioè, più disponibili al consumo soggetti che erano inizialmente resistenti alla droga (Piazza, Le Moal 1997 e 1998). Una volta sviluppato il nuovo modello animale di transizione dall'uso alla dipendenza, era logico supporre che tale comportamento avesse valenza predittiva anche per individuare gli animali che avrebbero sviluppato una reale tossicomania. Purtroppo, però, gli stessi parametri si sono rivelati insufficienti per predire la transizione. Questi risultati confermano ancora una volta che non esiste una relazione diretta fra la tendenza a consumare più droga e quella a sviluppare tossicodipendenza a livello individuale. Resta oggi da comprendere se esiste una relazione fra l'esposizione a eventi stressanti e una maggiore vulnerabilità alla tossicodipendenza in condizioni sperimentali. In altre parole, si sa che eventi stressanti possono portare a un uso maggiore di droga, ma non è certo ancora se gli stessi eventi possano facilitare la transizione dall'uso alla dipendenza.

Impulsività

Dal punto di vista psicologico, l'impulsività è un tratto della personalità caratterizzato dalla scarsa capacità di concepire decisioni e comportamenti appropriati a diverse situazioni. In altre parole, decisioni e comportamenti affrettati e poco meditati definiscono il carattere impulsivo. L'impulsività è un tratto complesso, formato da componenti multiple, quali la mancanza di inibizioni comportamentali, l'intolleranza alle ricompense ritardate e l'incapacità di valutare in maniera appropriata le conseguenze dei propri comportamenti. Nell'uomo, i consumatori regolari di droga presentano un'incidenza di impulsività superiore alla media. Inoltre, malattie legate a disturbi impulsivi, come per es. il disturbo di attenzione e di iperattività (ADHD, Attention Deficit Hyperactivity Disorder), sembrano essere associate a una maggiore vulnerabilità alla tossicodipendenza (Belin, Mar, Dalley et al. 2008). Esistono vari approcci sperimentali per determinare i livelli di impulsività negli animali da laboratorio, che non verranno qui discussi. Tuttavia alcune evidenze indicano come alcuni aspetti dell'impulsività possano agire da fattori predittivi della maggiore assunzione di droga.

Per quanto riguarda la transizione dall'uso alla dipendenza, studi recenti hanno mostrato che l'impulsività potrebbe rappresentarne un fattore predittivo (Belin, Mar, Dalley et al. 2008). È interessante notare che gli aspetti dell'impulsività associati con l'aumentata tendenza a consumare la droga non sembrano essere gli stessi che possono predire la transizione alla dipendenza. Inoltre, una volta che la dipendenza si è instaurata, l'impulsività non sembra più essere un fattore determinante. Infatti, ratti tossicomani con tre criteri non presentano differenze rispetto ai ratti non tossicomani con zero criteri in comportamenti impulsivi legati all'assunzione della droga (Deroche-Gamonet, Belin, Piazza 2004).

Disturbi di ansia

La tossicodipendenza è spesso associata a disturbi di ansia, ma non è ancora chiaro quale sia la relazione temporale/causale fra le due patologie (Koob, Le Moal 2008). In animali da laboratorio, sia l'assunzione di droga sia la sospensione possono causare disturbi di ansia misurabili, ma non è ancora chiaro se un'aumentata risposta ansiosa può essere un fattore di rischio per l'uso della droga. Entrambi i casi sono stati descritti in letteratura e molti fattori sembrano dipendere dalle condizioni sperimentali. Il rapporto fra ansia e transizione verso la dipendenza è ancora relativamente poco esplorato. Sembra, comunque, che un livello di ansia più elevato sia associato a una più grande predisposizione a prendere droga in quantità importanti (Koob, Le Moal 2008). Invece i ratti dipendenti (con tre criteri) non sembrano più ansiosi dei ratti resistenti.

In conclusione, questi studi mostrano fondamentalmente l'esistenza di due fenotipi vulnerabili indipendenti. Il primo fenotipo è associato a una più grande vulnerabilità a stress, ansietà e impulsività, e predispone ad aumentare l'assunzione di droga per lunghi periodi. Nel secondo si verifica un passaggio da consumo cronico alla tossicomania, ma le sue caratteristiche psicofisiche sono a tutt'oggi ancora sconosciute.

Una visione unificata della tossicodipendenza

La comparsa di modelli animali pertinenti e l'accumulo delle conoscenze descritte in precedenza permette oggi di riconciliare i due maggiori filoni teorici sullo sviluppo della tossicodipendenza, quello centrato sulla droga e quello centrato sull'individuo. Oggi siamo in grado di proporre una teoria generale della tossicomania secondo la quale la patologia è un'interazione tra la droga e l'individuo che si sviluppa secondo un processo in due tappe e richiede l'associazione di due tipi di vulnerabilità indipendenti. Infatti, la tossicomania appare solo dopo un'esposizione prolungata alla droga, ma nonostante l'assunzione di quantità simili di droga in tutti i soggetti, essa si sviluppa solo in alcuni individui vulnerabili. È quindi l'interazione fra l'esposizione alla droga e un fenotipo vulnerabile, ma non ciascuno di questi due fattori indipendenti, che determina lo sviluppo della tossicodipendenza (fig. 2).

Inoltre, dati più recenti indicano che esistono due vulnerabilità indipendenti. La prima è quella che porta all'uso della droga, mentre la seconda porta alla transizione verso la dipendenza. Il primo tipo di vulnerabilità è quello che conduce a consumare droga in maniera regolare perché ha effetti piacevoli e motivazionali particolarmente elevati. Questa fase di consumo sostenuto non corrisponde alla vera tossicomania, ma è una tappa fondamentale e necessaria per arrivarci. Si sa, infatti, che per compiere la transizione dall'uso alla tossicomania bisogna prendere la droga in maniera ripetuta per lungo tempo. Comunque, solo gli individui che presentano anche il secondo tipo di vulnerabilità, quello alla dipendenza, di cui purtroppo oggi si sa ancora poco, passeranno dall'uso sostenuto alla vera tossicomania.

La strada è ancora lunga, ma l'unione e l'integrazione delle teorie e dei dati provenienti sia dall'esperienza clinica sia dal laboratorio cominciano a portare all'identificazione di fattori e meccanismi importanti per determinare una patologia complessa e grave come la tossicodipendenza. La speranza è che questi studi, associati a sforzi sociali, economici e politici, possano portare a una riduzione dell'impatto devastante che questa malattia può avere sulla vita degli individui come anche sul loro ambiente.

Psicofarmacologia

Enciclopedia del Novecento (1980)

di Giancarlo Pepeu

Sommario: 1. Introduzione: a) le origini della psicofarmacologia; b) definizione di psicofarmacologia. 2. Classificazione degli psicofarmaci. 3. Scoperta dei primi psicofarmaci e sviluppo della psicofarmacologia. 4. I principi generali dell'azione degli psicofarmaci: a) la neurotrasmissione; b) i neurotrasmettitori; c) i neuromodulatori; d) i neuroregolatori: importanza del loro studio per la psicofarmacologia. 5. I meccanismi d'azione degli psicofarmaci e le loro principali azioni farmacologiche, terapeutiche e tossiche: a) i farmaci antischizofrenici; b) i farmaci antidepressivi; c) i farmaci usati nel trattamento della sindrome maniaco-depressiva; d) i farmaci usati nel trattamento dell'ansia; e) gli allucinogeni o psicotomimetici; f) psicofarmaci usati prevalentemente a scopo voluttuario. 6. Importanza sociale della psicofarmacologia. 7. Critiche alla psicofarmacologia. 8. Influenza della psicofarmacologia sulle altre neuroscienze.

1. Introduzione

a) Le origini della psicofarmacologia

“Il desiderio di un paradiso immediato è antico quanto l'uomo stesso. Attraverso i tempi, gli uomini hanno cercato mezzi artificiali per migliorare la loro condizione e i farmaci hanno avuto un ruolo preminente in questa ricerca” (J. P. Smith, *The false illusion*, in “U. S. Food and Drugs Administration papers”, 1967, I). In tutte le epoche e in tutti i paesi l'uomo ha fatto uso di sostanze capaci di modificare le sue condizioni psichiche e di alterare, influenzando sul pensiero e sulla percezione, il suo rapporto con la realtà.

L'etnofarmacologia ci fornisce molti esempi: le bevande alcoliche nella cultura occidentale, le preparazioni derivate dalla *Cannabis sativa* nel Medio Oriente, l'oppio nell'Estremo Oriente, il peyotl nel Messico settentrionale.

L'uso di queste sostanze ha avuto e ha ancora uno scopo non terapeutico, in quanto non sono impiegate per curare malattie, ma per rendere più tollerabili le prove e gli affanni dell'esistenza: definiremo quest'uso come 'volutuario'. Talvolta queste sostanze hanno avuto e hanno un impiego rituale in una istintiva ricerca di aprire “le porte della percezione”, per usare l'espressione resa celebre dal libro di Huxley (v., 1954). L'uso del vino, ad esempio, è stato associato a manifestazioni religiose fin dall'antichità classica, come è testimoniato dai misteri dionisiaci e dal profondo e misterioso significato che ha assunto nelle religioni cristiane; possiamo ricordare, poi, che in alcune tribù indiane del Messico settentrionale e del sud-ovest degli Stati Uniti, mangiare

il sacro peyotl significa assorbire lo spirito divino la cui presenza si manifesta con le allucinazioni indotte dalla mescalina contenuta in questo cactus.

L'uomo ha sempre saputo trovare nell'ambiente che lo circonda sostanze attive sulla psiche e ne è sempre stato affascinato. Tuttavia, raramente nel passato ha tentato di usarle anche a scopo terapeutico. Forse solo l'oppio è stato usato nell'antichità per le sue proprietà analgesiche. All'oppio potremmo anche aggiungere la Rauwolfia serpentina, le cui proprietà terapeutiche in alcune malattie mentali sembra fossero note anche alla medicina popolare indiana e forse anche a Dioscoride, chirurgo militare dell'epoca di Nerone, che curava la 'mania' con una radice a forma di serpente. Tale è infatti l'apparenza della radice della Rauwolfia dalla quale si ottiene la droga.

Possiamo porre attorno al 1950 la data di nascita della psicofarmacologia moderna con i primi successi terapeutici ottenuti con la reserpina, un alcaloide estratto dalla Rauwolfia, e con la clorpromazina, la prima sostanza chimica di sintesi che è stata usata nel trattamento della schizofrenia.

b) Definizione di psicofarmacologia

Possiamo definire la psicofarmacologia come quella parte della farmacologia che tratta dei farmaci che hanno effetti terapeutici nelle malattie mentali. Tuttavia, poiché molte sostanze allucinogene o stupefacenti possono produrre profonde alterazioni psichiche e sintomi, ad esempio le allucinazioni, simili a quelli che insorgono nelle malattie mentali, la definizione della psicofarmacologia può essere estesa a comprendere tutte le sostanze che influenzano il pensiero, le percezioni, l'umore, senza alterare profondamente lo stato di coscienza.

La parola 'neurofarmacologia' è stata spesso usata al posto di psicofarmacologia. Tuttavia, preferiamo riservare il primo termine alla trattazione di tutti quei farmaci che agiscono sul sistema nervoso, quali gli ipnotici e gli antiepilettici, che non modificano primariamente le funzioni psichiche. Un sinonimo di psicofarmacologia è 'chemioterapia delle malattie mentali'. Questa locuzione esprimeva l'ottimismo indotto nella classe medica e nel pubblico dai primi successi terapeutici nel trattamento della schizofrenia e la speranza che i farmaci per le malattie mentali avessero una specificità d'azione paragonabile a quella dei chemioterapici antibatterici. Tuttavia, l'esperienza derivata dalla ricerca sperimentale e dall'impiego terapeutico ha insegnato che la specificità degli psicofarmaci nei riguardi delle malattie mentali è relativa e che le azioni collaterali e indesiderate sono molto numerose.

2. Classificazione degli psicofarmaci

Sono passati circa trent'anni da quando l'uso della clorpromazina e della reserpina è stato introdotto in psichiatria. Come ha scritto M. Tobino, psichiatra e letterato, l'introduzione di quelle "pasticche", gli psicofarmaci, ha "talmente cambiato i manicomi che in certi giorni non si riconoscono più, le urla sono taciute, i deliri rotti [...]".

In questo trentennio gli psicofarmaci si sono moltiplicati, i loro meccanismi d'azione sono stati esplorati, gli impieghi terapeutici definiti. Nella tab. I è presentata una classificazione degli psicofarmaci basata sulle prevalenti azioni farmacologiche da essi esercitate. Prevalenti perché nella pratica le divisioni non sono così nette, e talvolta farmaci qui classificati come antischizofrenici possono essere usati nella psicosi che può accompagnare una sindrome depressiva. La classificazione tiene conto dei numerosi nomi che sono stati dati ai diversi gruppi di farmaci e che hanno valore di sinonimi. Nell'ambito di ciascun gruppo i farmaci sono divisi in base alla loro struttura chimica; solo i principali psicofarmaci reperibili in Italia sono stati inclusi nella tabella.

TABELLA I. – PRINCIPALI GRUPPI DI PSICOFARMACI.

Farmaci per il trattamento della schizofrenia (o antischizofrenici o antipsicotici o neurolettici o tranquillanti maggiori).

1. Fenotiazine: a) derivati dimetilamminopropilici (clorpromazina, fluorpromazina); b) derivati piperazinici (flufenazina, perfenazina, trifluoperazina); c) derivati piperidinici (tioridazina).
2. Tioxanteni (tiotixene, flupentixolo, clopentixolo).
3. Butirrofenoni e difenilbutilpiperidine (aloperidolo, droperidolo, trifluoperidolo, pimozide, fluspirilene).
4. Dibenzossapine e dibenzotiazepine (lossapina, clotiapina).
5. Benzammidi (sulpiride).
6. Alcaloidi della *Rauwolfia serpentina* (reserpina).

Farmaci per il trattamento della depressione (o antidepressivi o timoanalettici).

1. Inibitori delle monoamminossidasi (fenelzina).
2. Composti triciclici (imipramina, amitriptilina, clorimipramina, desimipramina, nortriptilina).
3. Composti tetraciclici (mianserina).
4. Composti a struttura chimica diversa (nomifensina, vilossazina).

Farmaci per il trattamento della mania o sindrome maniacodepressiva.

1. Sali di litio (carbonato, citrato).

Farmaci per il trattamento dell'ansia (o ansiolitici, o tranquillanti minori o tranqurilassanti).

1. Propanedioli (meprobamato).
2. Derivati del difenilmetano (idrossizina).
3. Benzodiazepine (clordiazepossido, diazepam, ossazepam, pinazepam).

Allucinogeni o psicotomimetici.

1. Dietilammide dell'acido lisergico (LSD 25), mescalina, psilocibina.
2. Anticolinergici (atropina, scopolamina, ditran).

Psicofarmaci usati a scopo voluttuario.

1. Alcool etilico.
2. Derivati dell'oppio e analoghi di sintesi (morfina, eroina, codeina, mepedrina, metadone, levorfanolo).
3. Cocaina, anfetamina.
4. Preparazioni di *Cannabis sativa*.

Una posizione molto particolare in questa classificazione è quella dell'anfetamina. Essa è stata infatti usata in passato, con scarsi risultati, nel trattamento della depressione e in molti trattati è quindi elencata fra gli antidepressivi. A parte il suo limitato uso medico, giustificato solo nel trattamento delle ipersonnie, l'anfetamina è usata soprattutto per le sue proprietà psicostimolanti. Tuttavia l'assunzione di alte dosi di anfetamina induce una vera e propria psicosi caratterizzata da allucinazioni, spersonalizzazione e profonde alterazioni del pensiero. Pertanto, l'anfetamina può essere considerata anche un vero psicotomimetico. È importante ricordare che, con la sola esclusione dell'alcool etilico, il cui consumo è ammesso in pratica senza limitazioni in Italia ed è assoggettato a limitati controlli in altri paesi occidentali, tutte le sostanze appartenenti al gruppo degli 'allucinogeni e psicotomimetici' e a quello degli 'psicofarmaci usati a scopo voluttuario' devono essere considerate stupefacenti da un punto di vista medico legale. Esse infatti sono comprese nella tabella 7 (intitolata 'Elenco delle sostanze ad azione stupefacente') della Farmacopea Italiana (VIII edizione).

3. Scoperta dei primi psicofarmaci e sviluppo della psicofarmacologia

La scoperta di quasi tutti i prototipi degli psicofarmaci attualmente usati in terapia è stata dovuta al caso o a presupposti teorici erronei, ma sempre nell'ambito delle ricerche di neurobiologia sperimentale e clinica condotte da molte decine d'anni in molti paesi. Il caso ha sempre agito in un contesto culturale preparato ad afferrare il significato delle osservazioni scientifiche accidentali e a sfruttarle.

La straordinaria efficacia terapeutica della clorpromazina nella schizofrenia è stata scoperta da A. Sigwald e C. Bouttier alla fine del 1951 e da J. Delay e P. Deniker nel 1952, sperimentando in clinica questo composto introdotto in terapia un anno prima come antistaminico.

L'imipramina è stata sintetizzata con lo scopo di ottenere un farmaco antischizofrenico analogo alla clorpromazina. Le sue proprietà antidepressive sono emerse nel corso di un'accurata sperimentazione clinica condotta da Kuhn nel 1957.

Le benzodiazepine erano state sintetizzate da Sternbach senza un obiettivo particolare e le loro proprietà farmacologiche sono state scoperte durante un normale lavoro di screening farmacologico.

Una delle tappe fondamentali della psicofarmacologia, la scoperta nel 1943 delle proprietà allucinogene dell'LSD, è così descritta dal suo autore: "Venerdì scorso 16 aprile a metà del mio lavoro pomeridiano in laboratorio dovetti smettere. Dovetti andare a casa perché provavo un'inquietudine molto particolare associata a lievi vertigini. A casa andai a letto e caddi in un non sgradevole stato di ebbrezza che era caratterizzato da fantasie estremamente stimolanti. Quando chiudevo gli occhi (la luce del giorno mi era molto sgradevole)

vedevo immagini fantastiche di straordinaria plasticità. Esse erano associate ad un intenso, caleidoscopico gioco di colori. Dopo circa due ore questa condizione scomparve" (A. Hofmann, Psychotomimetic agents, in *Drugs affecting the central nervous system*, a cura di A. Burger, vol. II, New York 1968, pp. 184-185). Il giorno dopo Hofmann identificò la causa di questi sintomi straordinari nell'ingestione accidentale di una minima quantità del derivato della segale cornuta che aveva appena sintetizzato e al quale aveva dato la sigla LSD 25.

Apparentemente paradossali sono anche le vicende che hanno portato all'introduzione in terapia dei sali di litio o degli antidepressivi inibitori delle monoamminossidasi il cui prototipo, l'iproniazide, fu sintetizzato come antitubercolare.

Solo l'impiego in terapia psichiatrica della *Rauwolfia serpentina* deriva, come abbiamo già ricordato, dalla medicina popolare indiana, ma il suo alcaloide più attivo sul comportamento, la reserpina, è stato isolato e studiato in Occidente.

Tuttavia, potremmo forse dire che la psicofarmacologia, una volta sviluppatasi, ha fatto proprie anche sostanze come l'alcool, l'oppio, la Cannabis, che erano divenute di uso corrente nei diversi paesi. Questo non impedisce che si debba considerare la psicofarmacologia una disciplina che si è sviluppata ed è fiorita dal tronco delle ricerche chimiche e farmacologiche iniziate nel XVIII e XIX secolo, in una visione prevalentemente organicistica delle malattie mentali.

4. I principi generali dell'azione degli psicofarmaci

a) La neuro trasmissione

Un imponente numero di ricerche sperimentali, pubblicate nel corso di un trentennio, permette oggi di descrivere in modo esauriente anche se non completo il meccanismo di azione di molti psicofarmaci. Tuttavia, quanto esporremo nei prossimi paragrafi non deve essere considerato un punto di arrivo definitivo. Le conoscenze accettate oggi sono infatti destinate a essere superate, talvolta a essere riconosciute come errori, più spesso a essere incorporate in un quadro sempre più articolato e complesso.

Lo studio dei meccanismi di azione degli psicofarmaci è iniziato con la loro introduzione in terapia negli anni cinquanta, in un momento in cui le ricerche di istologia e di elettrofisiologia avevano fornito le definitive basi sperimentali alla teoria neuronale di S. Ramón y Cajal, formulata cinquant'anni prima. In base a questa teoria il sistema nervoso centrale è concepito come una complessa rete di neuroni separati fra di loro ma i cui prolungamenti, assoni e dendriti, si toccano in punti chiamati sinapsi (v. sinapsi).

Nello stesso periodo erano estrapolati al sistema nervoso centrale i principi della teoria di O. Loewi secondo la quale gli impulsi nervosi superano le sinapsi mediante un meccanismo elettrochimico. Negli anni dal 1930 al

1950 era stato infatti definitivamente dimostrato che, a livello del sistema nervoso autonomo e della giunzione neuromuscolare, gli impulsi nervosi superano l'interruzione di continuità fra i neuroni (o spazio intersinaptico), o fra neuroni e cellule effettrici, muscolari o ghiandolari, mediante la liberazione di acetilcolina (ACh), di noradrenalina (NA) o di adrenalina (AD) (v. sistema nervoso autonomo).

In base a questo complesso meccanismo elettrochimico, gli stimoli elettrici che percorrono le fibre nervose determinano la liberazione di una sostanza chimica accumulata nella terminazione nervosa. Questa sostanza chimica diffonde nello spazio intersinaptico e si fissa su appositi siti specifici, chiamati recettori, della membrana postsinaptica, causando una modificazione chimico-fisica della membrana stessa che si traduce in una variazione di permeabilità a uno o più ioni e di conseguenza in una depolarizzazione o iperpolarizzazione. A ciò fa seguito una eccitazione o una inibizione della cellula postsinaptica (v. neurone e impulso nervoso; v. neurosecrezione; v. recettori).

All'inizio degli anni cinquanta i neurotrasmettitori identificati nel sistema nervoso periferico erano ACh, NA e AD. Le prime due sostanze erano state ritrovate anche nel cervello di molti vertebrati ed era pertanto possibile supporre che anche in questo organo fungessero da neurotrasmettitori. A esse si aggiunsero presto anche la serotonina o 5-idrossitriptamina (5-HT) e la dopamina (DA).

Erano stati inoltre identificati numerosi farmaci, quali l'atropina e i suoi derivati, i ganglioplegici, l'ergotamina, la fisostigmina, che agivano modificando la funzione dei neurotrasmettitori. L'ipotesi, prospettata alla luce di queste conoscenze, che gli psicofarmaci potessero esercitare le loro azioni sul comportamento mediante un'interazione con uno o più neurotrasmettitori nel sistema nervoso centrale trovava una prima conferma nell'osservazione, fatta da B. B. Brodie nel 1958, che la sedazione causata dalla reserpina nel ratto era accompagnata da una diminuzione dei livelli di 5-HT nel cervello. Da questa osservazione, presto seguita da quella che anche i livelli di ACh e DA nel cervello potevano essere modificati da psicofarmaci, nasceva quello studio delle interazioni fra psicofarmaci e neurotrasmettitori che, spinto dallo sviluppo della biochimica e dell'elettrofisiologia, ha portato al grado odierno di conoscenza dei meccanismi d'azione degli psicofarmaci.

Uno psicofarmaco può modificare l'azione di un neurotrasmettitore nei modi seguenti: a) stimolando o inibendo la sintesi; b) ostacolando l'accumulo del neurotrasmettitore nelle terminazioni nervose; c) ostacolando o facilitando la liberazione; d) inibendo l'inattivazione; e) bloccando i recettori specifici (farmaci antagonisti); f) imitando l'azione del neurotrasmettitore sui recettori (farmaci agonisti); g) interferendo con le modificazioni chimicofisiche della membrana neuronale che conseguono all'occupazione del recettore da parte di un neurotrasmettitore.

b) I neurotrasmettitori

A dieci anni dall'inizio della psicofarmacologia, le sostanze identificate nel cervello per le quali era stato ipotizzato il ruolo di neurotrasmettitore erano ancora un numero limitato: ACh, NA, AD, DA, 5-HT e l'acido γ -amminobutirrico (GABA). Per nessuna di esse, tuttavia, era stata raggiunta una dimostrazione definitiva, ma erano state raccolte numerose prove indirette. Erano stati inoltre stabiliti i criteri generali che permettono di definire un neurotrasmettitore. Essi possono essere così riassunti: 1) l'ipotetico neurotrasmettitore deve essere presente nel cervello ed essere distribuito in maniera non uniforme in nuclei e aree diverse; 2) nel cervello devono essere presenti gli enzimi deputati alla sua sintesi e alla sua inattivazione; 3) la stimolazione di definite vie nervose deve indurre la liberazione della sostanza in qualche area cerebrale; 4) devono esistere nel cervello recettori specifici cui il neurotrasmettitore si deve legare per esercitare la sua azione; 5) l'applicazione della sostanza, ritenuta un neurotrasmettitore, sui singoli neuroni (microionoforesi) o in zone ristrette del cervello deve indurre risposte simili a quelle evocate dalla stimolazione di ben definite vie nervose; 6) farmaci e ioni devono modificare in ugual misura sia le azioni indotte dall'applicazione esogena del neurotrasmettitore, sia quelle causate dalla sua liberazione da vie nervose.

L'indagine neurochimica e quella elettrofisiologica hanno permesso di identificare numerose altre sostanze, oltre a quelle già ricordate, che rispondono a tutti o ad alcuni dei criteri sopraelencati. Esse sono riassunte nella tab. II.

Tabella 2

Le tecniche istochimiche e immunoistochimiche hanno permesso di preparare delle mappe molto precise e ormai definitive delle vie neuronali a mediazione dopamminergica, noradrenergica e serotoninergica. Sono state inoltre identificate nel cervello numerose vie a mediazione colinergica e GABAergica e sono già in parte definite alcune vie nervose contenenti endorfine o sostanza P.

c) I neuromodulatori

Molte delle sostanze elencate nella tab. II devono essere considerate neuromodulatori piuttosto che veri neurotrasmettitori. Infatti, pur modificando l'attività elettrica neuronale, esse non sono liberate dalle terminazioni presinaptiche per effetto degli stimoli nervosi e non agiscono transinapticamente. Esse raggiungono i neuroni attraverso il plasma, il liquido cefalorachidiano e i liquidi pericellulari. In molti casi la loro sintesi avviene fuori dal sistema nervoso centrale: per citare alcuni esempi, secondo G. Burnstock l'adenosina modulerebbe la sintesi di ACh nei neuroni colinergici; in base alle ricerche di G. R. Elliott, le triptoline modulerebbero l'attività delle fibre che liberano 5-HT inibendo la sua inattivazione.

Nel cervello sono stati identificati recettori specifici per numerosi ormoni, quali l'ACTH, il cortisolo, gli estrogeni. Inoltre, sono ben noti gli effetti psichici e sul comportamento causati dagli ormoni: basti ricordare gli stati confusionali e paranoidei causati in alcuni soggetti dal trattamento con corticosteroidi.

Sostanze quali la 5-metossidimetiltriptamina e la 5-idrossimetiltriptamina sono di particolare interesse, in quanto sono dotate di proprietà allucinogene. Per quanto i risultati delle ricerche fatte per accertare la loro presenza nel cervello e nei liquidi biologici di pazienti schizofrenici non siano tutti concordi, esistono nell'organismo enzimi che possono formare queste sostanze per le quali è stato proposto il nome di psicotomimetici endogeni. L'ipotesi che sostanze di questo tipo possano essere presenti nel cervello umano in conseguenza di un'alterazione del metabolismo delle ammine nel cervello o nei tessuti periferici e che possano essere una causa della schizofrenia è oggetto di molte ricerche.

d) I neuroregolatori: importanza del loro studio per la psicofarmacologia

Seguendo la classificazione proposta da J. D. Barchas, possiamo raggruppare i neurotrasmettitori e i neuromodulatori sotto il termine più generale di neuroregolatori (v. neurosecrezione). Questa parola indica tutte le sostanze endogene all'organismo che sono in grado di modificare l'attività dei neuroni cerebrali o direttamente come i neurotrasmettitori, o indirettamente come i neuromodulatori, cioè alterando a livello preo postsinaptico l'azione dei neurotrasmettitori.

Le ricerche sui neuroregolatori e la comprensione della loro funzione sono parte fondamentale della psicofarmacologia. Infatti, da quanto è stato esposto nei precedenti paragrafi emergono due ipotesi di rilevante significato euristico e pratico: a) le malattie mentali potrebbero essere causate da alterazioni nella funzione dei neuroregolatori; b) gli psicofarmaci potrebbero agire modificando la funzione di uno o più neuroregolatori. Ambedue le ipotesi sono sostenute da numerosi risultati sperimentali e sono al centro delle attuali ricerche sperimentali e cliniche nel campo della psicofarmacologia.

5. I meccanismi d'azione degli psicofarmaci e le loro principali azioni farmacologiche, terapeutiche e tossiche

a) I farmaci antischizofrenici

1. Fenotiazine, tioxanteni, butirrofenoni, dibenzossapine, dibenzotiazepine e benzammidi. - I farmaci appartenenti a questo eterogeneo gruppo di molecole possono essere trattati insieme in quanto il loro meccanismo d'azione e il loro impiego clinico sono, sotto numerosi punti di vista, simili. Essi sono usati nel trattamento delle psicosi endogene ed esogene acute, della schizofrenia, delle psicosi paranoidee e possono essere impiegati anche nelle manifestazioni psicotiche dei disturbi affettivi, quali la depressione.

Il profilo farmacologico di questi farmaci è complesso. Essi si differenziano fra loro per una maggiore o minore attività sedativa, per la durata di azione e per l'intensità di alcuni effetti collaterali. Tutti i farmaci antischizofrenici di questo gruppo hanno in comune la proprietà di bloccare i recettori per la DA. Questo antagonismo è stato dimostrato con metodi elettrofisiologici, neurochimici, di farmacologia comportamentale e, più recentemente, marcando i recettori stessi con agonisti e antagonisti radioattivi. È stata dimostrata una correlazione statisticamente significativa fra l'affinità per i recettori e l'efficacia terapeutica di questi farmaci; infatti maggiore è l'affinità per i recettori dopamminergici, minore è la dose terapeutica.

Il blocco dei recettori riduce o sopprime l'attività delle tre vie dopamminergiche identificate nel cervello dei Mammiferi e precisamente: a) la via nigrostriatale, la cui inattivazione porta ai disturbi del movimento (discinesia, sindrome parkinsoniana) che accompagnano spesso, come effetti indesiderati, il trattamento con questi farmaci; b) la via mesolimbica-mesocorticale, la cui inattivazione spiegherebbe l'azione antipsicotica. Questa via origina dalla substantia nigra e da aree limitrofe e raggiunge i nuclei del sistema limbico e le regioni corticali. Si ritiene che il sistema limbico sia coinvolto nel mantenimento del tono affettivo, e la corteccia nell'attività nervosa superiore, incluso il pensiero, la cui alterazione è una caratteristica della schizofrenia. Pertanto si può ritenere che l'azione terapeutica dei farmaci antischizofrenici sia dovuta soprattutto alla interferenza con questa via; c) la via tuberoinfundibolare, che ha origine nel nucleo arcuato e raggiunge l'eminenza mediana, modula alcune funzioni endocrine. La DA liberata da questi neuroni inibisce la liberazione di prolattina dall'ipofisi. Il blocco dei recettori dopamminergici nell'eminenza mediana è responsabile dell'aumento dei livelli di prolattina nel sangue che accompagna il trattamento con farmaci antischizofrenici, soprattutto del gruppo delle benzamidi. L'aumento della prolattinemia è la causa di numerosi disturbi a carico del sistema riproduttivo maschile e femminile.

I farmaci antischizofrenici non hanno soltanto un effetto sui sistemi dopamminergici. Alcuni di essi, dotati di spiccata azione sedativa, bloccano anche i recettori per la NA. Inoltre, recenti ricerche hanno dimostrato un'interferenza anche con i sistemi GABAergici ed encefalinergici in alcune zone del cervello. Il significato funzionale di queste interazioni è oggetto di numerose ricerche.

2. Reserpina. - Questo alcaloide è ormai poco usato in terapia psichiatrica, perché le forti dosi necessarie per ottenere risultati terapeutici nella schizofrenia causano anche una profonda sedazione e gravi disturbi extrapiramidali. Piccole dosi di reserpina sono invece usate frequentemente nel trattamento dell'ipertensione. La reserpina deve essere tuttavia ricordata per la sua importanza nello sviluppo della psicofarmacologia. Essa interferisce con il meccanismo di accumulo di NA, DA e 5-HT nei granuli di deposito presenti nelle terminazioni nervose. La struttura proteica di tali granuli viene alterata e le ammine, che rimangono libere nel citoplasma, sono inattivate dalle monoamminossidasi, enzimi deputati a controllare il livello delle ammine libere nel citoplasma, diffusibili e farmacologicamente attive. In conseguenza di questa azione, negli animali e

nei pazienti trattati con reserpina gli stimoli nervosi non sono più in grado di liberare una sufficiente quantità di ammine dai terminali nervosi e ciò determina una ridotta funzionalità delle vie noradrenergiche, dopaminergiche e serotoninergiche. La reserpina si è rivelata un utile strumento per capire il funzionamento delle vie a trasmissione amminergica. Inoltre, l'osservazione che esiste un rapporto temporale fra la sedazione indotta dalla reserpina e la diminuzione dei livelli di 5-HT è stata la prima dimostrazione di un legame fra comportamento e neurotrasmettitori.

b) I farmaci antidepressivi

1. Gli inibitori delle monoamminossidasi (IMAO). - Gli IMAO sono usati oggi solo nel trattamento delle sindromi depressive resistenti ad altre terapie farmacologiche. Essi sono stati i primi psicofarmaci che si sono dimostrati utili in queste malattie psichiatriche, ma sono stati in larga misura soppiantati da altri antidepressivi a causa di alcuni rilevanti effetti tossici. Gli IMAO rimangono tuttavia farmaci importanti per almeno tre motivi. Primo, sono stati uno strumento per studiare e comprendere i meccanismi biochimici della trasmissione nervosa mediata da NA, DA e 5-HT. Secondo, sono ancora farmaci utili in terapia. Terzo, le più recenti ricerche sulle diverse forme molecolari di monoamminossidasi hanno aperto nuove prospettive per queste sostanze.

Le monoamminossidasi inattivano le ammine libere nel citoplasma delle terminazioni nervose in modo che non vi sia una loro fuoriuscita continua ma che siano liberate solo quando gli stimoli nervosi depolarizzano la terminazione. Oltre che nelle terminazioni nervose, le monoamminossidasi sono presenti in molti tessuti dell'organismo, inclusi la mucosa intestinale e il fegato. In questi tessuti la loro funzione è quella di inattivare le ammine esogene ingerite con i cibi o le ammine endogene circolanti nel sangue. L'inibizione delle monoamminossidasi da parte degli IMAO causa un aumento dei livelli di NA, DA e 5-HT nel cervello e nei tessuti periferici. Tale aumento è dovuto a un accumulo di ammine nelle terminazioni nervose e determina una maggior disponibilità di neurotrasmettitori. In qual maniera, tuttavia, l'aumentata disponibilità di NA, DA e 5-HT nel cervello modifichi l'andamento della malattia depressiva non è stato ancora chiarito.

L'inibizione delle monoamminossidasi della mucosa intestinale e del fegato permette ad ammine ingerite con gli alimenti, ad esempio la tiramina, di essere assorbite, entrare in circolo ed esercitare effetti tossici, in particolare di indurre crisi ipertensive in quanto esse liberano NA dalle terminazioni nervose del sistema simpatico.

È stato dimostrato negli ultimi anni che le monoamminossidasi esistono in forme diverse, caratterizzate da differenze nell'affinità per i substrati e nella distribuzione nei tessuti. Nell'uomo le monoamminossidasi dell'intestino sono di tipo A, mentre quelle del cervello sono prevalentemente di tipo B. Inibitori selettivi delle monoamminossidasi di tipo B, quali il Deprenyl, possono esercitare effetti sul sistema nervoso centrale senza

pericolo di crisi ipertensive, perché la tiramina degli alimenti viene normalmente inattivata dalle monoamminossidasi di tipo A della mucosa intestinale.

Lo studio delle differenze molecolari delle monoamminossidasi e la sintesi di nuovi inibitori selettivi sono alcune delle vie ancora aperte alla ricerca in questo campo.

2. Gli antidepressivi triciclici, tetraciclici e a struttura chimica diversa. - Queste sostanze presentano notevoli differenze nella struttura chimica e nelle azioni farmacologiche; esse possono tuttavia essere trattate in un unico gruppo perché recenti ricerche sembrano dimostrare che il meccanismo della loro azione antidepressiva è uguale per tutte.

L'effetto antidepressivo, che compare dopo almeno due settimane di trattamento, è accompagnato da numerosi effetti collaterali che, nel caso degli antidepressivi triciclici, vanno dalla sonnolenza dei primi giorni ai disturbi legati agli effetti anticolinergici di questi farmaci. Questi disturbi sono rappresentati soprattutto da una ridotta salivazione, da stipsi, disturbi della vista e talvolta, negli anziani, da confusione mentale. Proprio per evitare questi effetti collaterali e per ottenere una più rapida insorgenza degli effetti terapeutici, sono stati sintetizzati, sperimentati e introdotti in terapia numerosi altri antidepressivi: i principali sono elencati nella tab. I. In molti casi essi offrono un reale vantaggio rispetto agli antidepressivi triciclici.

Le conoscenze e le teorie derivate dallo studio degli antidepressivi inibitori delle monoamminossidasi avevano spinto a ritenere che il meccanismo d'azione di tutti gli antidepressivi fosse un potenziamento dell'azione delle catecolammine e della 5-HT. A ciò portava anche l'osservazione che, negli animali da esperimento, il pretrattamento con imipramina antagonizzava l'azione sedativa della reserpina, analogamente a quanto era stato visto pretrattando gli animali con gli IMAO. Tuttavia, questo antagonismo è dovuto all'interferenza degli antidepressivi con un secondo processo di inattivazione delle catecolammine e della 5-HT. Infatti gli antidepressivi triciclici bloccano, alle concentrazioni ottenibili con le dosi terapeutiche, la ricaptazione delle ammine da parte delle terminazioni nervose dalle quali sono state liberate: mediante il processo di ricaptazione le ammine sono rapidamente rimosse dallo spazio intersinaptico e riaccumulate nei terminali per essere nuovamente utilizzate. La ricaptazione determina pertanto l'allontanamento delle ammine dai recettori con la conseguente interruzione dell'effetto del neurotrasmettitore, e permette inoltre un recupero di molecole di ammine che può raggiungere anche l'80% della quantità liberata dalle terminazioni per effetto degli impulsi nervosi. Il blocco della ricaptazione prolunga la persistenza delle ammine nello spazio intersinaptico. Ciò può essere dimostrato anche nell'uomo; infatti l'aumento della pressione arteriosa indotto da una piccola dose di NA è potenziato dal pretrattamento con antidepressivi triciclici.

Tuttavia, che il blocco della ricaptazione delle ammine sia responsabile dell'azione antidepressiva è messo in dubbio da due osservazioni. Primo, il blocco insorge nel giro di pochi minuti dalla somministrazione, mentre

la comparsa dell'effetto terapeutico richiede settimane; secondo, non tutti gli antidepressivi bloccano la ricaptazione delle ammine. Infatti la mianserina e l'iprindolo non hanno alcun effetto su questo processo. Ricerche condotte negli ultimi due anni hanno dimostrato che tutti i trattamenti antidepressivi, inclusi gli IMAO e l'elettroshock, inducono nell'animale da esperimento una graduale riduzione della sensibilità dei recettori cerebrali per la NA accoppiati all'enzima adenilciclastasi. Tale subsensibilità recettoriale attenua la trasmissione dei segnali trasmessi dalle fibre noradrenergiche nel cervello. Questa osservazione, il cui significato deve essere ancora chiarito, ha il merito di proporre un meccanismo unitario per tutti i trattamenti antidepressivi e di offrire nuove ipotesi di ricerca anche sulla patogenesi della malattia depressiva.

c) I farmaci usati nel trattamento della sindrome maniaco-depressiva

La sindrome maniaco-depressiva è caratterizzata dal susseguirsi, con frequenza variabile da individuo a individuo, di episodi di depressione e di intensa eccitazione; l'eccitazione può divenire euforia e addirittura psicosi conclamata, che richiede l'intervento con farmaci antischizofrenici.

La somministrazione di sali di litio è l'unica terapia di tipo preventivo che, continuata per anni, può portare a una completa scomparsa degli episodi sia depressivi che eccitatori. L'introduzione in terapia dei sali di litio si deve a un medico australiano, J. F. J. Cade, e risale al 1949. Questa data è di poco anteriore a quella dell'introduzione della reserpina e della clorpromazina, e pertanto il litio può essere considerato il primo psicofarmaco usato con successo nelle malattie mentali. Tuttavia, l'uso di questo farmaco, diventato comune solo verso la fine degli anni sessanta, ha incontrato molti ostacoli dovuti al fatto che questa terapia non aveva basi sperimentali attendibili e che l'impiego dei sali di litio come sostituti del cloruro di sodio aveva causato negli Stati Uniti, pochi anni prima, molte gravi intossicazioni. Inoltre, per un prodotto di questo tipo mancava la spinta promozionale dell'industria farmaceutica.

Il litio si scambia nell'organismo con il sodio. Come il sodio, diffonde attraverso le pareti cellulari seguendo i gradienti di concentrazione, ma viene estruso dalle cellule con maggior difficoltà del sodio dalla pompa che scambia il sodio con il potassio ed è deputata a mantenere alte le concentrazioni di potassio all'interno delle cellule e basse quelle del sodio. Il litio tende quindi ad accumularsi all'interno delle cellule e la prima condizione per una corretta terapia è di contenere questo accumulo, che influisce sull'eccitabilità cellulare, entro limiti ridotti, in quanto le sue conseguenze sono molteplici e non del tutto note. I meccanismi della neurotrasmissione sembrano essere particolarmente sensibili all'azione del litio e sono state riscontrate, nell'animale da esperimento, alterazioni nel funzionamento dei meccanismi noradrenergici, serotoninergici, colinergici. Tuttavia manca per il momento una soddisfacente interpretazione di questi effetti e soprattutto va chiarito il loro ruolo nell'azione terapeutica del litio.

Il litio esercita numerosi effetti collaterali che possono diventare anche molto gravi o persino letali. Essi sono prevenuti quasi completamente da un suo accurato dosaggio e da un costante controllo dei suoi livelli ematici che non devono superare 1,5 milliequivalenti per litro. Il litio continua a essere oggetto di molte ricerche sperimentali volte a comprenderne il meccanismo d'azione.

d) I farmaci usati nel trattamento dell'ansia

L'ansia può essere definita in base a un gruppo di sintomi psichici e fisici valutabili con una attenta intervista psichiatrica. Lo stato d'ansia è una sensazione comune alla maggior parte degli uomini che si trovano di fronte a situazioni ambientali potenzialmente pericolose o rilevanti, ad esempio per il proprio lavoro. Un esame, la partenza per un viaggio, un incontro di lavoro, sono tipiche situazioni ansiogene. L'ansia indotta da esse è stata definita situazionale, e se è contenuta in limiti 'normali' aumenta la capacità dell'individuo di affrontare l'ambiente. Questa reazione, che può essere considerata di carattere finalistico, si distingue dallo stato ansioso di tipo patologico per la sproporzione fra l'intensità dell'ansia e la causa immediata che la determina e che spesso perde i suoi confini precisi per diventare un indefinito timore dell'ignoto e della vita quotidiana in tutte le sue manifestazioni.

L'ansia può essere anche un sintomo di malattie organiche o di natura tossica. Spesso è associata a depressione e rabbia e si manifesta con insonnia, senso di fatica, perdita dell'attenzione e della memoria e con sintomi fisici quali la tensione muscolare, palpazioni cardiache, disturbi gastrointestinali, ecc. L'ansia è dimostrabile anche negli animali da esperimento, che possono pertanto essere usati per identificare e studiare sostanze ad azione ansiolitica. L'uomo ha sempre cercato di attenuare questa complessa risposta psicomotoria, così strettamente legata alla vita di relazione, e si è servito a questo fine di numerose sostanze psicoattive. Prima fra esse l'alcool etilico, poi i barbiturici a piccole dosi e numerosi altri neurodepressivi.

Ma gli ansiolitici più diffusi dal 1958 sono le benzodiazepine. Si calcola infatti che siano usate, più o meno saltuariamente, dal 10-20% della popolazione adulta dei paesi industrializzati e il loro costante consumo è diventato per molti la maniera più semplice per rendere accettabili le difficoltà quotidiane.

Se vogliamo riassumere il profilo di azione di questi farmaci, il cui numero va continuamente aumentando pur essendo tutti molto simili fra di loro, possiamo ricordare che, accanto all'azione ansiolitica, le benzodiazepine esercitano un'azione miorilassante, sono potenti anticonvulsivanti, possono facilitare il sonno o essere francamente ipnotiche.

Esula dallo scopo di questo articolo esaminare in dettaglio gli impieghi terapeutici di questi farmaci. Bisogna tuttavia rilevare che, anche se dotati di una bassa tossicità, essi possono esercitare subdoli effetti collaterali. La sonnolenza, la riduzione dell'attenzione e del tono muscolare da esse indotte sono causa di incidenti sul lavoro

o alla guida. L'interruzione improvvisa del loro uso causa una sindrome di astinenza che può essere anche abbastanza grave.

Le benzodiazepine rappresentano un gruppo di farmaci di grande interesse sotto molti punti di vista. La loro indiscriminata accettazione da parte del pubblico e l'enorme consumo sono divenuti un fatto di costume che ha gravi implicazioni economiche e sociali. Non siamo forse lontani dal "soma", il farmaco ideale descritto da Huxley nel suo *Brave new world*: "quella [...] dose di 'soma' aveva alzato un quasi impenetrabile muro fra il mondo reale e le loro menti".

D'altra parte, solo attualmente, a vent'anni dalla loro introduzione in terapia, comincia a essere compreso l'elusivo meccanismo d'azione delle benzodiazepine. Ciò che più colpisce è che, pur essendo di sintesi e non derivando da alcun modello naturale, queste sostanze agiscono su recettori specifici identificati nel 1978 in molte regioni del cervello di tutti i Vertebrati, uomo compreso. Viene spontaneo di chiedersi qual è il ruolo fisiologico di questi recettori, quale il loro ligante endogeno; ma questa domanda non ha ancora trovato una risposta.

Attraverso questo recettore le benzodiazepine potenziano i meccanismi inibitori centrali funzionanti mediante liberazione di GABA. Il potenziamento dell'azione di questo neurotrasmettitore è stato confermato da esperimenti di elettrofisiologia e neurochimica. L'interferenza con altri neurotrasmettitori, quali l'ACh, la NA, la 5-HT, sembra essere una conseguenza dell'azione sui meccanismi inibitori centrali.

e) Gli allucinogeni o psicotomimetici

Si tratta di un gruppo eterogeneo di sostanze chimiche, di origine sia naturale che di sintesi, la cui assunzione causa profonde alterazioni della percezione, fino alla comparsa di allucinazioni e modificazioni dell'umore, associate a disturbi neurovegetativi di varia intensità. Gli effetti allucinogeni di queste sostanze hanno suscitato uno straordinario interesse fra i ricercatori e anche nel grande pubblico. Essi sono stati oggetto di molte descrizioni: ricorderemo quella delle azioni dell'LSD fatta dal suo scopritore e in parte riportata nel cap. 3. Letteraria ed elegantissima è la descrizione degli effetti mentali della mescalina fatta da Huxley (v., 1954) nel suo libro *The doors of perception*.

La mescalina, contenuta in un cactus, il peyotl, è stata usata fin dal più lontano passato dalle popolazioni indigene del Messico e della parte sudorientale degli Stati Uniti nel corso di cerimonie religiose.

L'impiego di queste sostanze nella ricerca di esperienze religiose ha spinto H. Osmond a definirle 'psichedeliche', sostanze cioè che rivelano o manifestano la mente (dal greco *psyche* e *delo*). Il nome di psicotomimetici allude invece alla loro capacità di indurre sintomi che ricordano la schizofrenia.

Le sostanze psicotomimetiche o psichedeliche possono essere suddivise in due classi: a) sostanze che producono condizioni simili a psicosi funzionali quali la schizofrenia e la mania, per esempio l'LSD e la

mescalina; b) sostanze che inducono una sindrome simile alle psicosi organiche e al delirio, per esempio gli anticolinergici.

Gli allucinogeni possono essere anche suddivisi in base al meccanismo di azione. Quello dell'LSD è stato oggetto di numerose ricerche che hanno dimostrato che questo allucinogeno agisce sulla trasmissione serotoninergica e dopamminergica. Già nel 1953 J. H. Gaddum aveva dimostrato che l'LSD inibiva alcuni degli effetti periferici della 5-HT e aveva avanzato l'ipotesi che anche nel cervello l'LSD bloccasse i recettori per questa sostanza, l'esistenza della quale era stata appena dimostrata. La scoperta, qualche anno più tardi, che le fibre a mediazione serotoninergica originano dai neuroni situati nei nuclei del rafe nel tronco bulbo-mesencefalico ha permesso di dimostrare che l'LSD inibisce i neuroni del rafe, i quali hanno una funzione inibitrice. I sistemi neuronali normalmente inibiti dai neuroni serotoninergici sfuggono pertanto al loro controllo e la loro attività aumenta.

Più di recente è stato dimostrato che l'LSD stimola anche i recettori dopamminergici. La sua azione è quindi la risultante dell'interferenza in senso inibitorio ed eccitatorio con almeno due sistemi neuronali che utilizzano trasmettitori diversi. Tuttavia non è ancora stato chiarito in qual modo l'interazione con questi neurotrasmettitori dia origine alle allucinazioni e alle alterazioni comportamentali.

Il meccanismo d'azione della mescalina, estratta dal cactus peyotl (*Anhalonium lewinii*), della psilocibina, estratta da un fungo (*Psilocibe mexicana*), della dimetiltriptamina e della dimetossifenilamfetamina, queste ultime ottenute per sintesi, è stato studiato meno accuratamente di quello dell'LSD. Tuttavia sono state messe in evidenza analogie fra le strutture chimiche di tutti questi composti e l'LSD e pertanto i meccanismi d'azione sembrano essere, almeno in parte, simili.

Sono stati compiuti numerosi tentativi di utilizzare l'LSD in terapia psichiatrica. Riassumiamo brevemente quali possono essere le esperienze che accompagnano l'assunzione di pochi microgrammi di questa sostanza, come sono state descritte da A. Kurland e collaboratori: a) l'esperienza psichedelica psicotica, caratterizzata da un intenso terrore, da delirio di persecuzione o di grandezza, da stato confusionale, depersonalizzazione e disturbi neurovegetativi; b) l'esperienza psichedelica cognitiva, caratterizzata da lucidità e da una nuova prospettiva nel vedere i problemi personali, anche penosi, problemi che possono aver spinto il soggetto all'alcolismo o essere elementi di una sindrome depressiva; c) l'esperienza psichedelica estetica, caratterizzata da una intensificazione di tutte le percezioni sensoriali: gli oggetti sembrano acquistare vita, i suoni possono essere 'visti', compaiono straordinarie visioni a occhi chiusi; d) l'esperienza psichedelica psicodinamica, nella quale vengono drammaticamente alla coscienza fatti rimossi a livello subconscio, che possono essere rivissuti con drammatica intensità; e) l'ultimo stadio sembra essere l'esperienza mistica o trascendente, nella quale il soggetto prova un senso di gioia, pace, amore, di perdita del proprio io e di trascendenza di spazio e tempo.

È comprensibile che il desiderio di partecipare a queste esperienze possa spingere all'abuso di questa sostanza, il cui uso non è più medico ma ormai appartiene solo al mondo della 'droga'. L'LSD reperibile sul mercato clandestino è impuro e spesso tagliato con altre sostanze e permette in genere di raggiungere solo l'esperienza psicotica, il bad trip il cattivo viaggio - durante il quale il terrore può raggiungere un'intensità tale da portare al suicidio; le allucinazioni e la spersonalizzazione possono dare l'illusione di poter volare, con la prosaica ma drammatica conseguenza di cadere dalla finestra. Se a tutto questo aggiungiamo che sono stati descritti casi di psicosi irreversibile in soggetti che avevano usato ripetutamente l'LSD e il rischio, sia pure remoto, di un danno ai cromosomi, ci rendiamo conto come sia giustificato l'aver incluso questa sostanza fra gli stupefacenti, anche se essa non dà dipendenza e assuefazione (v. droga)

Al gruppo degli allucinogeni delirioeni appartengono l'atropina e la scopolamina, se assunte ad alte dosi, e numerosi analoghi di sintesi, alcuni dei quali sono stati preparati per essere usati come armi chimiche. Tutte queste sostanze hanno la proprietà di bloccare i recettori muscarinici per l'ACh nel sistema nervoso centrale e nel sistema vegetativo periferico. Esse pertanto riducono o bloccano la funzione di una parte delle fibre a mediazione colinergica, lasciando tuttavia integra la funzione di quelle fibre colinergiche che agiscono, nei gangli, alle giunzioni neuromuscolari e in alcune zone del cervello tramite recettori nicotinici.

Atropina e scopolamina sono contenute in numerose piante della famiglia delle Solanacee. Di esse ricorderemo l'Atropa belladonna, i cui frutti sono chiamati in alcuni paesi 'ciliege della pazzia', lo Hyoscyamus niger, la Scopolia carniolica e le varie specie di Datura. Tutte queste piante sono diffuse anche in Europa. In questa breve trattazione non descriveremo né le proprietà terapeutiche né le azioni tossiche di questi alcaloidi e di alcuni composti analoghi di sintesi quali il ditran, ma solo i loro effetti psichici. Tutte queste sostanze causano, a dosi elevate, uno stato di confusione mentale che può assomigliare alla demenza senile, un delirio per lo più di tipo terrificante e perdita della memoria. Queste azioni sul sistema nervoso centrale sono accompagnate da spiccati effetti periferici, i più evidenti dei quali sono la midriasi, l'inibizione di tutte le secrezioni, la tachicardia e la febbre.

A differenza dell'LSD, mancano le drammatiche allucinazioni multicolori, e spesso una intensa sonnolenza precede e segue gli effetti mentali degli anticolinergici. Tuttavia essi hanno una storia altrettanto pittoresca e affascinante, essendo stati attraverso i secoli strumenti di magia sia in Europa che in Asia, tanto che le piante che contengono questi alcaloidi sono state anche chiamate in passato 'erbe delle streghe' o 'erbe del diavolo'. La proprietà degli anticolinergici di cancellare la memoria dei fatti avvenuti immediatamente prima dell'assunzione del farmaco e durante la sua permanenza nel cervello ha offerto uno strumento di ricerca che ha permesso di dimostrare l'importanza delle vie colinergiche nei meccanismi dell'attenzione, dell'apprendimento e della memoria recente. Negli anni cinquanta negli Stati Uniti, e anche attualmente in alcuni paesi dell'Europa orientale, la somministrazione di alte dosi di atropina, in modo da indurre un

profondo coma, è stata impiegata con qualche successo nel trattamento della schizofrenia. Il coma veniva bruscamente interrotto con una iniezione endovenosa di fisostigmina, farmaco che aumenta i livelli di ACh nel cervello.

f) Psicofarmaci usati prevalentemente a scopo voluttuario

L'invocazione di Th. de Quincey "oppio eloquente [...] tu susciti dal grembo delle tenebre, con le fantastiche immagini del cervello, templi e città che superano l'arte di Fidia e Prassitele [...] e dall'anarchia di un sonno pieno di sogni chiami alla luce del sole i volti di beltà da gran tempo sepolti [...] tu solo dai questi doni all'uomo e tu hai le chiavi del Paradiso, o giusto misterioso potente oppio" avvicina l'oppio ai farmaci psicotomimetici e giustifica la trattazione dei farmaci stupefacenti nell'ambito della psicofarmacologia. Tuttavia non è possibile descrivere in dettaglio gli effetti mentali, le azioni farmacologiche, i meccanismi di azione di questo grande gruppo di sostanze che comprende l'alcool etilico, i derivati dell'oppio, la cocaina, l'anfetamina, la Cannabis sativa (v. droga).

Le azioni psichiche dell'alcool etilico, consumato sotto forma di vino, birra, grappa, vodka, whisky, sakè, sono un'esperienza comune per una gran parte della popolazione del mondo. L'alcool in piccole dosi rimuove l'ansia - "il vino che rallegra il cuore dell'uomo" (Salmi, 104, 15) - e induce una moderata euforia; a dosi più alte causa confusione mentale, eccitazione, aggressività: "Schernitore è il vino, tumultuosa cosa la bevanda inebriante: chiunque se ne diletta non è saggio" (Proverbi, 20, 1). Quando le quantità ingerite sono ancora più alte, però, gli effetti del vino possono provocare un sonno profondo che può divenire coma. Numerosi sono i disturbi neurovegetativi, quali nausea, vomito, tachicardia: sono causati soprattutto dall'aldeide acetica che si sviluppa nel corso del metabolismo dell'alcool etilico.

Le azioni dell'alcool non sono dovute a un'interazione con recettori specifici, ma si ritiene che esso modifichi le caratteristiche chimico-fisiche delle membrane dei neuroni in modo simile a quello degli anestetici generali. Del resto l'etere e il protossido d'azoto, usati in piccole dosi, esercitano azioni eccitanti analoghe a quelle dell'alcool e sono stati in passato usati anche come psicofarmaci. Con meccanismo analogo agiscono anche alcuni solventi organici volatili, contenuti per esempio nelle colle, che vengono fiutati per ottenere un blando effetto psicostimolante.

Le modificazioni della permeabilità neuronale si ripercuotono sui meccanismi della neurotrasmissione, per cui in corso di trattamento acuto o cronico con alcool e durante la sindrome da astinenza sono state osservate modificazioni nei livelli, nella liberazione e nel metabolismo dell'ACh, della NA e DA. Inoltre alcuni dati sperimentali, che tuttavia richiedono conferma, suggeriscono la possibilità che l'aldeide acetica alteri il metabolismo della dopamina dando origine alla tetraidropapaverolina - che ha una formula chimica che

ricorda quella della morfina - e a un derivato tetraidrochinolinico, il salsolinolo, che potrebbero avere un ruolo nella induzione della dipendenza e della sindrome da astinenza in corso di alcolismo cronico.

È in fondo sorprendente notare quanto poco si sappia ancora sull'alcool etilico che rappresenta indubbiamente lo psicofarmaco più usato nel mondo occidentale e il cui abuso, peraltro in costante aumento, crea rilevanti problemi sociali e medici. Accurate rassegne sull'alcolismo sono state pubblicate recentemente, e ricorderemo quelle di W. R. Martin (v., 1977), T. J. Cicero (v., 1978) e N. K. Mello (v., 1978).

I derivati naturali e di sintesi dell'oppio, 'le droghe' per antonomasia, hanno stimolato un grandissimo numero di ricerche negli ultimi anni e il loro studio sembra veramente aprire nuove vie alla psicofarmacologia. Essi formano una numerosa famiglia di farmaci: tra questi ricorderemo, perché di più largo uso, la morfina, l'eroina, la codeina, la mefedina, il metadone e il levorfanolo. Tutti hanno in comune la proprietà di reagire con recettori specifici distribuiti in molte zone del sistema nervoso centrale e in alcuni tessuti periferici e di esercitare una potente azione analgesica. Pertanto queste sostanze hanno prima di tutto un ruolo insostituibile nella pratica medica, perché permettono al medico di raggiungere il primo obiettivo della sua professione: lenire il dolore.

L'azione analgesica è accompagnata da depressione del respiro, dall'azione costipante e da importanti azioni psichiche, descritte vividamente da de Quincey. La storia dell'oppio è molto antica. Forse già Elena di Troia aggiunse oppio al vino dei suoi ospiti quando "farmaco infuse contrario al pianto e all'ira e che l'oblio seco induceva di ogni travaglio e cura" (Odissea, IV, 283-286). Le limitazioni al consumo dell'oppio, il cui uso era diffusissimo nei secoli scorsi anche in Europa e in America, sono iniziate nella seconda metà del secolo scorso per molte ragioni: soprattutto per l'aumento del numero dei casi di intossicazione cronica e per la rilevante mortalità da intossicazione acuta.

A tutti è noto che gli oppiacei inducono assuefazione e dipendenza e che l'interruzione della loro somministrazione provoca una complessa e penosa sindrome da astinenza. È altresì noto che l'abuso di questi farmaci ha assunto il carattere di una malattia sociale endemica che negli ultimi anni in molti paesi, inclusa l'Italia, ha raggiunto una larga diffusione.

La trattazione dei molti aspetti dell'uso e dell'abuso degli oppiacei esula dallo scopo e dai limiti di questo articolo. Riassumeremo solo alcune informazioni che sembrano particolarmente rilevanti per il futuro della psicofarmacologia.

Nel 1973 l'ipotesi, formulata sulla base delle analogie strutturali fra questi composti e sull'esistenza di antagonisti, che i derivati dell'oppio agissero su specifici recettori, veniva confermata grazie all'uso di leganti radioattivi che permettevano di determinare la distribuzione di questi recettori. Se esistevano i recettori per gli oppioidi sorgera anche la possibilità che esistessero leganti endogeni. Essi furono identificati alla fine del 1974 sotto forma di due pentapeptidi, la metionina-encefalina e la leucina-encefalina; a esse si aggiungeva

pochi mesi dopo la fi-endorfina, un polipeptide di 31 amminoacidi che si trova nell'ipofisi, nel cervello e nel sistema nervoso autonomo periferico.

Queste scoperte furono seguite da un numero imponente di ricerche volte a definire il ruolo degli oppioidi endogeni, chiamati genericamente endorfine; esse possono essere considerate veri e propri neurotrasmettitori. Analogamente agli oppiacei esogeni modificano l'attività di molti altri neurotrasmettitori e in particolare dell'ACh, della 5-HT, della DA, della NA e della sostanza P, modulandone la liberazione dalle terminazioni nervose mediante un meccanismo di inibizione presinaptica. Le endorfine sembrano coinvolte non solo nella regolazione dei meccanismi di percezione del dolore, ma anche in molte funzioni fondamentali per l'omeostasi dell'individuo, quali il senso dell'appetito, la termoregolazione, la regolazione posturale, la regolazione pressoria. Le endorfine sembrano essere al crocevia di molte vie neuronali e si può ipotizzare che nel corso dell'evoluzione esse siano passate da sistemi relativamente primitivi, coinvolti nella regolazione del dolore e nella risposta agli stress, a sistemi coinvolti nella modulazione degli istinti, delle emozioni e dell'umore. Le più recenti ricerche suggeriscono che nelle malattie mentali vi possano essere modificazioni nei livelli e nel metabolismo delle endorfine. La somministrazione di endorfine a soggetti schizofrenici o depressi ha causato drammatici, anche se temporanei, cambiamenti della sintomatologia; più recentemente è stato dimostrato che un frammento dell'endorfina può esercitare un'azione antipsicotica.

Sembra quindi probabile che dalle ricerche su queste sostanze possano emergere nuovi importanti elementi non solo per comprendere la patogenesi delle malattie mentali, ma anche i meccanismi della tossicodipendenza dagli oppiacei. Inoltre, nessuna sostanza sembra dimostrare meglio delle endorfine gli inscindibili legami fra attività psichiche e funzioni dell'organismo.

La Cannabis sativa, diffondendosi dal subcontinente indiano in tutto il mondo, ha dato origine attraverso i secoli a molti prodotti dal nome diverso a seconda del metodo di preparazione. Faremo riferimento alle due preparazioni più diffuse nel mondo occidentale in questo momento, l'éashêsh, un miscuglio di materiale resinoso e infiorescenze, di origine araba, e la marijuana, un miscuglio di foglie e infiorescenze, di origine messicana. Il principio attivo della Cannabis è il delta-1-trans-tetraidrocannabinolo (Δ^1 -THC), isolato nel 1965. Questo e l'alcool etilico sono indubbiamente le sostanze psicoattive più consumate nel mondo.

L'éashêsh, usato per secoli in tutto il mondo arabo, è giunto verso la fine del secolo scorso in Inghilterra, e ancor prima in Francia dove fu introdotto dalle truppe napoleoniche al ritorno dalla campagna d'Egitto; la marijuana ha preso piede negli Stati Uniti negli anni trenta. Tuttavia è solo dall'inizio degli anni sessanta che la Cannabis si è diffusa negli Stati Uniti e nell'Europa occidentale ed è diventata un problema sociale e medico.

L'assunzione dell'éashêsh avviene per via orale o inalatoria, quella della marijuana per via inalatoria.

Anche la Cannabis ha, come l'alcool e l'oppio, una ricca storia letteraria. Le sue azioni sono state descritte con estrema eleganza da Dumas, da Gautier ma soprattutto da Baudelaire, che in *Les paradis artificiels* così ne

definisce gli effetti: "all'inizio vi è come una assurda irresistibile ilarità che vi travolge [...] le più banali parole, le più triviali idee assumono un nuovo bizzarro aspetto [...] una nuova acutezza, una maggior percezione si manifesta in tutti i sensi [...] talvolta sembra che la propria individuale identità scompaia". Circa un secolo dopo Allen Ginsberg affermerà: "La marijuana è un catalizzatore utile alla percezione estetica". La suggestiva cornice che la letteratura ha creato intorno a questa droga è stata una importante spinta alla sua diffusione; i suoi effetti psichici sono infatti in buona parte legati ai contenuti culturali e alle aspettative di chi ne fa uso.

Tuttavia già nel 1845, in Francia, J. J. Moreau sottolineava le analogie fra gli effetti della Cannabis e i sintomi delle malattie mentali: euforia inspiegabile, dissociazione delle idee, errori di tempo e spazio. Reazioni di panico e psicosi acute tossiche sono state descritte, ma non sono frequenti. L'aspetto più preoccupante di questa droga è rappresentato dal deterioramento mentale e fisico riscontrato, anche in recenti studi, nei suoi consumatori abituali. Nei più giovani la Cannabis compromette i processi di integrazione cerebrale e la strutturazione della personalità.

Tutte le preparazioni di Cannabis sono considerate stupefacenti dalla legge italiana. Si sta peraltro cominciando a discutere della possibilità di liberalizzarne l'uso e soprattutto dell'opportunità di evitare la criminalizzazione dei giovani che ne fanno uso.

Il meccanismo d'azione del $\Delta 1$ -THC è ancora in gran parte ignoto. È stata dimostrata un'interferenza di questa sostanza con alcuni neurotrasmettitori, in particolare l'ACh, la DA e la 5-HT, ma siamo ancora ben lontani dal poter offrire una spiegazione delle sue complesse azioni psichiche, che sembrano essere sostenute da una interazione di moderata intensità con molti sistemi neuronali.

Se il meccanismo d'azione del $\Delta 1$ -THC è oscuro, molto più chiaro è quello di un'altra importante sostanza psicoattiva, la cocaina. Questo alcaloide, estratto dalle foglie dell'Erythroxylon coca, deve molte delle sue numerose azioni sul sistema nervoso a un'interferenza con il metabolismo di NA, AD e DA. Essa impedisce quel processo di ricaptazione da parte dei terminali nervosi che, come abbiamo già detto, inattiva i neurotrasmettitori e ne permette la riutilizzazione. Le azioni di queste ammine sono fortemente potenziate. Anche la cocaina ha una storia complessa e interessante, come quella delle altre droghe psicoattive. La sua lontana origine risale a una primitiva civiltà contadina. È stata scoperta dalla cultura europea nell'Ottocento, e ha avuto una diffusione non controllata per qualche decennio in una brillante cornice letteraria e intellettuale. Dall'immaginario Sherlock Holmes a Freud, che ne prendeva "piccole dosi contro la depressione e l'indigestione e con il più brillante successo", anche la cocaina è stata soggetto di pregevoli brani letterari. "Portato dalle ali di due foglie di coca volai nello spazio di 77.438 parole una più splendida dell'altra. Preferisco una vita di dieci anni con la coca che di centomila senza di lei" - scriveva Paolo Mantegazza nel 1859.

In seguito è venuta la scoperta degli effetti tossici esercitati da questa sostanza e la necessità di una limitazione del suo consumo. La sua assunzione non dà dipendenza fisica e tolleranza, ma solo dipendenza psichica. Il suo abuso causa tendenza alla violenza e una vera psicosi tossica, e si accompagna a insonnia, depressione e a un marcato deterioramento delle condizioni mentali. I danni causati dalla cocaina sono particolarmente evidenti nelle popolazioni delle Ande, dove l'uso di masticare le foglie di coca o di berne il tè è ancora molto diffuso. Della cocaina non va dimenticata l'intensa azione anestetica locale che ne giustifica ancora un limitato uso in oculistica e otorinolaringoiatria.

Gli effetti della cocaina - euforia, eccitazione, garrulità, inquietudine, aumentate capacità per il lavoro, riduzione del senso di fame - sono simili a quelli indotti dall'anfetamina, un'ammina simpaticomimetica introdotta in terapia negli anni trenta e da pochi anni aggiunta alla lista degli stupefacenti, di cui abbiamo già parlato nel cap. 2. L'anfetamina può indurre psicosi tossiche simili alla schizofrenia. Come nel caso della cocaina, essa interagisce con i meccanismi dopaminergici e noradrenergici stimolando la liberazione di NA e DA dalle terminazioni nervose. Cocaina e anfetamina sono sostanze di estremo interesse teorico nello studio della patogenesi della schizofrenia.

6. Importanza sociale della psicofarmacologia

Molteplici sono le conseguenze sociali dell'uso degli psicofarmaci. Prima di tutto la possibilità di trattare con successo le malattie mentali attenuandone i sintomi se non rimuovendone la causa. Da un punto di vista pratico basti pensare che il numero dei ricoverati negli ospedali psichiatrici degli Stati Uniti è sceso da 558.900 nel 1955, anno di introduzione in terapia delle fenotiazine e della reserpina, a 338.600 nel 1970, anche se vi è stato nello stesso periodo un consistente aumento della popolazione. È stata la psicofarmacologia che ha permesso di aprire gli ospedali psichiatrici e, in alcuni paesi fra i quali l'Italia, ridurli a strutture per il trattamento acuto dei malati mentali che vengono poi affidati nuovamente alle famiglie e alla comunità attraverso i centri di igiene mentale. Ciò richiede tuttavia un uso molto attento degli psicofarmaci.

Accanto a questo aspetto positivo stanno aspetti dubbi o negativi della diffusione degli psicofarmaci: ad esempio, la diffusione indiscriminata delle benzodiazepine per evadere la realtà quotidiana. Si calcola che il 10-20% della popolazione adulta dei paesi occidentali faccia uso più o meno regolarmente di questi farmaci. D'altra parte si ritiene che avesse la stessa incidenza il consumo dei preparati a base di oppio nell'Inghilterra vittoriana, prima della sua limitazione. Forse questo consumo di farmaci psicoattivi è in realtà inevitabile se, come ha scritto Osler nel 1891, "il desiderio di prendere medicine è la grande caratteristica che distingue l'uomo dagli animali", o se accettiamo il punto di vista di Alice nel paese delle meraviglie: "So che qualcosa di interessante mi succede di certo se mangio o bevo qualcosa".

L'aspetto decisamente negativo della psicofarmacologia è la diffusione dei farmaci illegali, eroina, cocaina, LSD ecc., che ha gravi conseguenze per la salute dei cittadini e pesanti implicazioni per l'ordine pubblico. L'entità del problema è indicata dalla cifra di circa 65.000 drogati in Italia, secondo una valutazione del Ministero della Sanità pubblicata all'inizio del 1980. Si tratta di più dell'uno per mille della popolazione. Quest'uso illegale è stato oggetto di numerose analisi sociologiche e psichiatriche. In esso si innestano i più diversi elementi, quali la curiosità e il desiderio di nuove esperienze, espresso infantilmente nella frase di Alice appena citata, la ribellione verso la famiglia e la società, un inconscio desiderio di punizione e autodistruzione in un contesto sociale e familiare difficile e spesso ostile.

7. Critiche alla psicofarmacologia

Molte sono le ragioni delle numerose critiche che, soprattutto nel corso dell'ultimo decennio, sono state espresse nei confronti della psicofarmacologia. Del resto farmaci così efficaci nel modificare il pensiero e il comportamento non potevano non suscitare apprensioni e timore di essere usati impropriamente. È stata infatti posta la domanda se il medico abbia il diritto di intervenire con tanta facilità sull'attività psichica dei suoi pazienti; se l'uso indiscriminato degli ansiolitici non spenga l'essenza stessa della natura umana, la spinta a cambiare l'ambiente che la circonda, addormentandola in una supina accettazione di una realtà spesso ingiusta. D'altra parte i farmaci antischizofrenici hanno sì offerto la possibilità di reinserire i malati nella comunità, ma anche quella di mantenerli negli ospedali psichiatrici in uno stato di assoluta passività, assistiti da scarso personale, con la certezza che ogni violenza e protesta sono impedita. Questa non è certo terapia e la pittoresca espressione 'camicia di forza chimica' per definire questi psicofarmaci non è, in questo caso, del tutto impropria. E non è difficile capire come da questo scorretto uso medico dei farmaci antischizofrenici si possa passare anche a servirsene come strumento di oppressione. Del resto, le proprietà amnesiche della scopolamina e dei suoi analoghi sono state usate non raramente per facilitare interrogatori e ammissioni di colpevolezza.

Tuttavia in tutti questi casi le critiche non vanno appuntate sugli psicofarmaci o su chi li studia o produce, ma su chi li usa in maniera deontologicamente non corretta. Possiamo chiudere questo capitolo con il giudizio di Basaglia, che nel suo *L'istituzione negata. Rapporto da un ospedale psichiatrico* (Torino 1968, p. 146) così scrive: "Uno sguardo generale agli ospedali psichiatrici ci può dire che, grosso modo, la terapia farmacologica ha dato ovunque risultati sorprendenti e sconcertanti. I farmaci hanno un'indubbia azione di cui si sono visti i risultati [...] nella riduzione del numero dei malati associati all'ospedale. Ma a posteriori si può cominciare a vedere come questa azione si muova sia a livello del malato che del medico: poiché agisce

contemporaneamente sia sull'ansia del malato come sull'ansia di chi lo cura". Il rischio è che il medico sedi "attraverso i farmaci che somministra la sua ansia di fronte ad un malato con cui non sa rapportarsi".

8. Influenza della psicofarmacologia sulle altre neuro scienze

Gli psicofarmaci hanno avuto grande importanza euristica in psichiatria; infatti lo studio dei loro meccanismi d'azione ha spinto a formulare numerose teorie sulla patogenesi delle malattie mentali. Ad esempio, la constatazione che i farmaci che potenziano l'azione della NA, quali gli inibitori delle monoamminossidasi e gli antidepressivi tricyclici, sono efficaci nella depressione ha indotto J. J. Schildkraut a postulare che in questa malattia mentale vi possa essere una ridotta trasmissione noradrenergica. Anche se questa ipotesi si è dimostrata inadeguata nella sua formulazione iniziale, la possibilità che alla base della depressione vi sia un'alterazione dei meccanismi della neurotrasmissione monoamminergica continua a raccogliere molti consensi.

D'altra parte è anche possibile ritenere che un importante elemento patogenetico della schizofrenia sia un'iperattività delle vie dopamminergiche cerebrali, in particolare della via nigro-mesocorticale. Infatti i farmaci antischizofrenici bloccano i recettori della DA e i farmaci dopamminomimetici, ad esempio l'anfetamina, possono causare psicosi.

Queste osservazioni e la constatazione che alcune sostanze, quali l'LSD, esercitano una marcata attività psicomimetica, hanno fornito molti elementi alle teorie organicistiche delle malattie mentali. La psicofarmacologia ha insegnato che l'attività nervosa superiore, il pensiero, l'affettività, sono profondamente modificate da piccole molecole e dipendono dall'integrità dei complessi meccanismi biochimici della neurotrasmissione.

Le cause delle malattie mentali rimangono ancora oscure, ma alcuni anelli patogenetici hanno cominciato ad aprirsi. D'altro canto, numerosi esperimenti dimostrano che l'ambiente può influenzare i meccanismi neurochimici. Ricordiamo le alterazioni dei meccanismi serotoninergici osservate in topolini tenuti in prolungato isolamento o la liberazione di endorfine indotta dal semplice timore di un evento doloroso in ratti condizionati.

Gli psicofarmaci si sono dimostrati strumenti utilissimi per esplorare il sistema nervoso centrale. Per esempio, le conoscenze sul funzionamento del sistema simpatico e delle fibre a mediazione dopamminergica e noradrenergica nel cervello sono in gran parte dovute alla scoperta della reserpina, degli inibitori delle monoamminossidasi e alle ricerche sulla cocaina.

Lo studio degli psicofarmaci ha richiesto da un lato modelli comportamentali semplici, e dall'altro mezzi per valutare in maniera quantitativa gli effetti terapeutici. Queste necessità hanno spinto ad approfondire le

conoscenze sul comportamento degli animali e a mettere a punto accurate scale di valutazione dei sintomi clinici nell'uomo.

Ricorderemo che la psicofarmacologia deve molto alla ricerca sugli animali da laboratorio, senza la quale nessuno dei farmaci oggi in uso sarebbe stato realizzato. Nonostante l'immensa diversità esistente fra l'attività mentale dell'uomo e quella degli animali, i meccanismi fondamentali della neurotrasmissione sono uguali, per lo meno in tutti i Vertebrati, così come attenzione, apprendimento, ma anche ansia e alcune risposte affettive sono uguali almeno attraverso tutta la parte più alta della scala filogenetica.

Possiamo concludere questo articolo affermando che la psicofarmacologia ha portato un decisivo contributo alla terapia delle malattie mentali e, se anche non ha permesso di "allargare le porte della percezione" verso il mondo esterno, ha certamente reso agli uomini "più facile l'accesso alle scatole misteriose dentro di loro" (Kurt Vonnegut).

Psicofarmacologia

Enciclopedia del Novecento II Supplemento (1998)

di Giancarlo Pepeu

Sommario: 1. Introduzione: a) sviluppo della psicofarmacologia dal 1980 a oggi; b) definizione e articolazione della psicofarmacologia. 2. Classificazione degli psicofarmaci. 3. Scoperta dei nuovi psicofarmaci e loro sviluppo. 4. Il progresso delle conoscenze sul meccanismo di azione degli psicofarmaci: a) la neurotrasmissione; b) i neurotrasmettitori; c) i recettori. 5. Gli psicofarmaci usati in terapia: meccanismo di azione, efficacia e problemi connessi al loro impiego: a) i farmaci per il trattamento della schizofrenia (o antischizofrenici o antipsicotici o neurolettici); b) i farmaci antidepressivi; c) i farmaci usati nel trattamento dei disturbi bipolari dell'umore (stabilizzanti dell'umore); d) i farmaci usati nel trattamento dell'ansia; e) i farmaci per le demenze senili. 6. Gli allucinogeni o psicotomimetici. 7. Gli psicofarmaci di abuso e il loro uso a scopo ricreazionale. 8. Psicofarmacologia e società.

1. Introduzione

a) Sviluppo della psicofarmacologia dal 1980 a oggi

Negli anni trascorsi dalla stesura dell'articolo dedicato alla psicofarmacologia, pubblicato in uno dei volumi precedenti (v. psicofarmacologia, vol. V), si sono registrati importanti progressi nel trattamento delle malattie mentali e nella comprensione del meccanismo d'azione sia degli psicofarmaci usati nella terapia delle malattie mentali che dei farmaci di abuso. Essa si è avvantaggiata della straordinaria espansione delle conoscenze nel campo delle neuroscienze avvenuta nell'ultimo decennio, che può essere vista come la realizzazione in ambito biologico del classico "nosce te ipsum", conosci te stesso. Conoscenza di se stessi intesa come comprensione dei meccanismi genetici, neurochimici ed elettrofisiologici che sono alla base dei processi cognitivi, del pensiero e pertanto del comportamento e della sua patologia.

L'approfondimento delle conoscenze sul funzionamento del sistema nervoso porta a una migliore comprensione delle cause e dei meccanismi patogenetici delle malattie neurologiche e psichiatriche. Ciò ha un'importante ricaduta sulla psicofarmacologia, in quanto permette un'approfondita comprensione del meccanismo di azione dei farmaci già in uso, un loro più accurato impiego terapeutico e l'identificazione di possibili siti d'azione di nuovi farmaci, di cui facilita la progettazione e lo sviluppo. D'altra parte la psicofarmacologia rappresenta uno degli aspetti applicativi più rilevanti delle neuroscienze, in quanto i farmaci costituiscono dei fondamentali strumenti per la comprensione dei meccanismi del funzionamento del cervello.

I progressi della psicofarmacologia fra il 1978 e il 1994 sono sintetizzati in due volumi dell'American College of Neuropsychopharmacology, dal titolo Psychopharmacology. The third generation of progress (v. Meltzer, 1987) e Psychopharmacology. The fourth generation of progress (v. Bloom e Kupfer, 1995): la terza e quarta generazione cui viene fatto riferimento sono le ultime due che si sono succedute dopo quella che, negli anni cinquanta, ha rappresentato la nascita della psicofarmacologia, con la scoperta dei primi antipsicotici, antidepressivi e ansiolitici. I volumi, di più di 2.000 pagine ciascuno, ben dimostrano l'ampiezza raggiunta dalle conoscenze in questo campo e ne sanciscono la suddivisione in due parti, quella preclinica, che è la premessa conoscitiva fondamentale per lo sviluppo della seconda, quella clinica. L'ampliamento delle conoscenze, ad ambedue i livelli, continua con ritmo incalzante.

La descrizione delle origini della psicofarmacologia, del contesto culturale che ne ha accompagnato lo sviluppo, i riferimenti letterari antichi e moderni all'uso degli psicofarmaci rendono il precedente articolo una utile premessa a quello attuale, che ne segue lo schema aggiornandolo punto per punto.

Le motivazioni che hanno originariamente fornito l'impulso alla ricerca degli psicofarmaci, determinando così la nascita della psicofarmacologia, sono le stesse che ritroviamo alla base di tutti i successivi sviluppi della disciplina: il desiderio, che sembra insito nell'uomo, di disporre di sostanze capaci di modificare le proprie condizioni psichiche e alterare il rapporto con la realtà, e la necessità di farmaci per curare o controllare le malattie psichiatriche. A questi due fattori possiamo aggiungere il desiderio di conoscere la natura, il

meccanismo e gli effetti di sostanze che possono modificare radicalmente il comportamento dell'uomo. "La mente, dicono, governa il mondo. Ma chi governa la mente? Il corpo giace alla mercé del più onnipotente di tutti i potentati - il chimico. Dammi [...] la chimica [...] e con pochi grani di polvere mischiati al suo cibo quotidiano posso ridurre la mente di Shakespeare [...] fino al punto che la sua penna scriva le più abiette sciocchezze che abbiano mai sporcato carta", scrive Wilkie W. Collins (v., 1980) in *The woman in white*.

b) Definizione e articolazione della psicofarmacologia

La definizione della psicofarmacologia fornita nel precedente articolo rimane valida; essa può tuttavia essere riscritta in maniera più articolata: la psicofarmacologia è quella parte della farmacologia che utilizza i farmaci, e altre sostanze chimiche, per studiare il funzionamento del sistema nervoso, per prevenire e trattare le malattie mentali, l'abuso di farmaci, l'alcolismo, e comprendere in che modo sostanze psicoattive di uso non terapeutico, voluttuario o 'ricreazionale', modificano l'umore, i processi mentali, l'attività motoria e le funzioni endocrine e neurovegetative. La somministrazione e l'assunzione di psicofarmaci, infatti, ha innanzitutto scopi terapeutici, talvolta di pura ricerca, ma molto spesso si assumono sostanze di uso sia legale, quali alcool, nicotina, caffeina, sia illegale, quali marijuana, cocaina ed eroina, a scopo puramente 'ricreazionale' - termine recente che sostituisce quello di 'volutuario'.

La psicofarmacologia è suddivisa in psicofarmacologia di base, o preclinica, e clinica. La prima studia soprattutto i meccanismi di comunicazione mediante i quali i neuroni eseguono le operazioni necessarie per adeguare il comportamento alle richieste dell'ambiente e per svolgere le attività nervose superiori, incluso il pensiero, che sono il bersaglio dell'azione degli psicofarmaci. La seconda studia le applicazioni terapeutiche degli psicofarmaci e le conseguenze tossicologiche del loro abuso e, attraverso l'uso di tali farmaci, cerca di capire i meccanismi patogenetici delle malattie mentali. La psicofarmacologia affronta oggi anche gli aspetti epidemiologici dell'uso degli psicofarmaci (farmaco-epidemiologia) e il problema di una corretta valutazione del rapporto fra i benefici derivanti al paziente e alla comunità dal loro uso terapeutico e i loro costi diretti e indiretti (farmaco-economia).

2. Classificazione degli psicofarmaci

Nella tab. I sono elencate le principali categorie di psicofarmaci; di ciascuna categoria chimica sono riportati solo i farmaci più diffusi. Dal confronto fra questa tabella e quella riportata nel precedente articolo emergono due elementi di novità: è cambiata una parte dei farmaci in ciascun gruppo terapeutico ed è comparso un nuovo gruppo di farmaci, quello per le demenze senili.

Tabella 1

Il criterio di classificazione utilizzato in questa tabella può a prima vista sembrare confusionario, in quanto si basa sul principale uso della sostanza considerata; fanno eccezione gli allucinogeni, che sono stati considerati una categoria a sé stante perché, pur essendo usati spesso a scopo 'ricreazionale', talvolta per motivi di carattere religioso e rituale, costituiscono un gruppo di sostanze di grande interesse per la ricerca neurobiologica; in alcuni casi, come in quello degli anticolinergici, le allucinazioni che essi provocano sono quasi sempre un effetto collaterale, tossicologico, dell'uso terapeutico che ne viene fatto o della loro assunzione accidentale. Nell'ambito di ciascuna categoria le sostanze sono state raggruppate talvolta secondo tradizionali criteri chimici, in altri casi in base al principale meccanismo d'azione, oppure secondo criteri medico-legali o ancora tenendo conto del loro profilo terapeutico e tossicologico. La classificazione che ne è risultata ricalca quelle più comunemente usate nella trattatistica e ha il vantaggio di essere facilmente compresa da medici e non medici. La suddivisione degli antipsicotici in tipici e atipici è diventata abituale, anche se poco comprensibile a prima vista, perché presuppone la conoscenza del fatto che tutti gli antipsicotici meno recenti hanno 'tipici' effetti collaterali uguali ed effetti terapeutici che si esercitano solo su una parte della sintomatologia. Gli antipsicotici 'atipici', di recente introduzione, inducono effetti collaterali meno gravi e hanno un impiego terapeutico più ampio. Per gli antidepressivi è in uso anche una classificazione in antidepressivi 'di prima' e 'di seconda generazione': la prima generazione comprende in pratica solo gli antidepressivi tricyclici, mentre tutti gli altri, in particolare i bloccanti della ricaptazione della serotonina (o 5-idrossitriptamina, 5-HT), costituiscono la seconda generazione.

Il confronto tra le due tabelle rivela anche alcune esclusioni e nuove inclusioni. Sono rimasti fuori dalla nuova classificazione la reserpina e alcuni farmaci, ormai di secondaria importanza, per il trattamento dell'ansia. Riguardo alla reserpina, nulla vi è da aggiungere a quanto già scritto; la sua importanza terapeutica è marginale, anche se in molti paesi è ancora prescritta come ipotensivo e sedativo, e tuttavia essa costituisce tuttora un utile strumento di ricerca. Molto più numerosi i farmaci recentemente introdotti: alcuni nuovi antipsicotici, diversi antidepressivi e parecchie nuove sostanze di abuso, indice della continua ricerca, da parte della nostra società, di evadere dalla realtà attraverso i farmaci. Alla categoria degli psicofarmaci usati a scopo ricreazionale è stata aggiunta la nicotina, della cui capacità di indurre dipendenza e danni alla salute è stata presa coscienza. È stato inoltre introdotto il gruppo dei farmaci utilizzati nel trattamento dei disturbi della memoria che caratterizzano la demenza di Alzheimer e la demenza vascolare.

3. Scoperta dei nuovi psicofarmaci e loro sviluppo

Lo sviluppo recente della psicofarmacologia manca del fascino che circonda il susseguirsi di scoperte - nelle quali ricerca e casualità si sono mischiate in parti uguali - che ha caratterizzato la storia della disciplina nel periodo che va dal 1943, anno della scoperta dell'LSD, al 1958, anno in cui furono introdotti in terapia il clordiazepossido e il diazepam, ben più noti al grande pubblico con i nomi commerciali di Librium e Valium, entrati nell'uso comune. Nel giro di pochi anni furono scoperti i primi antipsicotici, antidepressivi e ansiolitici e cambiò radicalmente la terapia delle malattie mentali. A differenza di quel periodo, negli ultimi anni abbiamo assistito a una straordinaria espansione delle neuroscienze, soprattutto a livello preclinico, a un continuo miglioramento dell'uso dei farmaci, con lo scopo di aumentarne l'efficacia e ridurre gli effetti collaterali, e all'introduzione di un numero ridotto di nuovi farmaci, che tuttavia tendono a sostituire gradualmente, con vantaggio, i farmaci precedenti. La scoperta di questi nuovi farmaci non deriva ormai più da occasionalità, ma è il frutto delle conoscenze di biologia molecolare, della sintesi mirata di nuove molecole, di accurate, lunghe e costose sperimentazioni cliniche. Alla base di tutto ciò sta la richiesta da parte della società, e di conseguenza degli organi di controllo che essa esprime, che i nuovi farmaci siano più attivi, o quantomeno più sicuri, di quelli già esistenti e che il loro costo sia giustificato dai benefici terapeutici. Tuttavia, se guardiamo in prospettiva lo sviluppo della psicofarmacologia negli ultimi anni, vediamo emergere importanti progressi sia nella conoscenza che nel trattamento delle malattie mentali.

Nel campo degli antipsicotici si è diffuso l'impiego dei prodotti a lento rilascio (long acting), i quali permettono un migliore controllo dei pazienti, garantendo che la terapia venga attuata. Vi è stata inoltre la reintroduzione della clozapina e l'introduzione del risperidone: questo è in realtà il primo dei nuovi antipsicotici, definito 'di prima linea', introdotto in terapia alla fine degli anni settanta, al quale si è aggiunta, nell'autunno del 1996, l'olanzapina, un analogo della clozapina. La terapia dei disturbi affettivi si è arricchita di molti nuovi farmaci, i principali dei quali appartengono al gruppo degli inibitori della ricaptazione della 5-HT. Il prototipo di questi farmaci è la fluoxetina, introdotta negli Stati Uniti nel 1987 e successivamente in Europa. Altri farmaci importanti introdotti negli anni ottanta sono stati il trazodone, il bupropione, i molti analoghi della fluoxetina e i recentissimi inibitori selettivi, reversibili, delle monoamminossidasi. Infine, va ricordato l'inserimento nella terapia psichiatrica di due ben noti farmaci antiepilettici, carbamazepina e valproato, impiegati dapprima soprattutto per il trattamento delle forme depressive bipolari, ma successivamente anche per quello delle forme unipolari. Gli sviluppi nel campo della terapia dei disturbi dovuti all'ansia sono stati caratterizzati da una revisione diagnostica e terapeutica. Da un lato il timore di indurre dipendenza dalle benzodiazepine, dall'altro la constatazione che gli attacchi di panico rispondono meglio al trattamento con antidepressivi che con ansiolitici, hanno portato la medicina ufficiale a rivedere l'uso di questi ultimi farmaci e a trattare molte forme di ansia con antidepressivi. Pertanto il numero di nuovi ansiolitici si è molto ridotto; possiamo qui ricordare l'alprazolam, una benzodiazepina triazolica, utilizzata

anche come antidepressivo, e il buspirone, l'unico ansiolitico non benzodiazepinico di introduzione relativamente recente.

4. Il progresso delle conoscenze sul meccanismo di azione degli psicofarmaci

a) La neurotrasmissione

Le conoscenze dei principi generali della neurotrasmissione - il complesso meccanismo elettrochimico mediante il quale gli impulsi nervosi sono trasmessi da un neurone all'altro nel sistema nervoso centrale e periferico - non sono cambiate negli ultimi anni, ma quelle dei loro meccanismi molecolari si sono enormemente ampliate (v. neuroscienze: Basi molecolari della comunicazione neuronale, vol. XI). Il precedente articolo psicofarmacologia (v., vol. V) mantiene la sua validità come documento dell'evoluzione delle conoscenze in questo campo; le informazioni in esso contenute non sono errate, alla luce delle conoscenze odierne, ma solo incomplete e superficiali. Esso è ormai del tutto superato per quanto riguarda i recettori e i loro meccanismi molecolari, i canali ionici, i meccanismi di ricaptazione. Il principio che gli psicofarmaci agiscano modificando in modi diversi la neurotrasmissione, nell'ambito di sistemi neuronali più o meno specifici, è tuttora generalmente accettato. Le numerose modalità riportate, mediante le quali gli psicofarmaci possono alterare la neurotrasmissione, non hanno subito modificazioni, ma sono state molto meglio definite a livello molecolare.

b) I neurotrasmettitori

Le ricerche condotte negli ultimi anni hanno chiarito e definito il ruolo di molte delle sostanze presenti nel cervello che venivano definite come 'neuroregolatori', un termine oggi molto meno usato in quanto ritenuto troppo generico. Al gruppo delle sostanze definite 'neurotrasmettitori', il cui ruolo è stato pienamente confermato, ne sono state aggiunte altre, in passato non definite con certezza. Nella tab. II sono elencati i principali neurotrasmettitori, assieme alle principali condizioni patologiche nelle quali si ritiene che la loro carenza o il loro eccesso abbiano un ruolo patogenetico. Il ruolo di diversi neurotrasmettitori è ancora da precisare, anche se sono stati identificati i neuroni che li contengono; è stato inoltre dimostrato che sono liberati dalle terminazioni nervose in seguito alla depolarizzazione prodotta da un potenziale di azione e che agiscono su specifici recettori.

Tabella 2

Si ritiene oggi che la trasmissione delle informazioni fra neuroni possa avvenire non solo in maniera puntiforme, da neurone a neurone, attraverso le sinapsi (detta 'trasmissione telefonica'), ma anche per diffusione dei neurotrasmettitori negli spazi extrasinaptici (detta volume transmission o 'trasmissione mediante altoparlante'). Questo concetto è importante, perché permette di capire il meccanismo d'azione di alcuni farmaci e nello stesso tempo spiega l'azione dei cosiddetti 'neuromodulatori'. Il termine neuromodulatore si applica a numerose sostanze endogene che non trasmettono direttamente uno stimolo, di natura eccitatoria o inibitoria, da un neurone all'altro, ma modificano la capacità di un neurone di rispondere agli stimoli o modulano la liberazione di un neurotrasmettitore.

Fra i principali neuromodulatori ricorderemo l'adenosina, il nitrossido, le prostaglandine, alcune citochine, i corticosteroidi e i neurosteroidi. Gli stessi neurotrasmettitori elencati nella tab. II possono fungere anche da neuromodulatori: per esempio, l'ACh può agire a livello dei recettori presinaptici. I neuromodulatori possono essere liberati dalle terminazioni nervose (per es., adenosina e nitrossido), ma anche dalle cellule gliali (per es., citochine e neurosteroidi), o possono essere portati dal sangue (per es., steroidi surrenalici, estrogeni). Il più importante esempio di psicofarmaco che agisce interferendo con l'azione di un neuromodulatore è rappresentato dalla caffeina, che blocca l'azione inibitoria dell'adenosina sulla liberazione dell'ACh, delle monoammine catecoliche e del glutammato.

Alcuni psicofarmaci agiscono inibendo i meccanismi di inattivazione del neurotrasmettitore: ciò provoca un aumento della concentrazione extracellulare del neurotrasmettitore, che a sua volta attiva i recettori e, nella maggior parte dei casi, induce in un secondo tempo una serie di complesse reazioni di adattamento dei recettori stessi. I tre più importanti farmaci che inibiscono l'inattivazione di neurotrasmettitori sono: 1) gli inibitori delle colinesterasi, che bloccano l'idrolisi enzimatica dell'ACh (per esempio, la tacrina); 2) gli inibitori delle monoamminossidasi (MAO), non selettivi o selettivi per la forma A o B, che inibiscono la deaminazione ossidativa delle monoammine: gli inibitori selettivi della MAO-A inducono un aumento dei livelli extracellulari di noradrenalina (NA) e 5-HT e sono impiegati come antidepressivi, gli inibitori selettivi della MAO-B inducono un aumento della dopamina (DA) e sono utilizzati nel trattamento del morbo di Parkinson; 3) gli inibitori selettivi o non selettivi dei meccanismi di ricaptazione delle monoammine: gli antidepressivi triciclici sono inibitori non selettivi della ricaptazione della NA e della 5-HT, mentre la fluoxetina e i suoi analoghi sono inibitori selettivi della ricaptazione della 5-HT.

La ricaptazione delle monoammine e degli altri neurotrasmettitori dipende dall'attività di trasportatori selettivi presenti nella membrana plasmatica dei neuroni e delle cellule gliali, la cui funzione è quella di rimuovere dallo spazio extracellulare i neurotrasmettitori liberati dai neuroni riportandoli nelle cellule. Nel fare questo, essi contribuiscono a mettere fine all'azione postsinaptica dei neurotrasmettitori e a ripristinare i depositi intracellulari nei neuroni. I trasportatori di molti neurotrasmettitori (GABA, NA, DA, 5-HT, glicina) sono stati

clonati ed è stato visto che appartengono a una famiglia di proteine omologhe. Nella membrana delle vescicole sinaptiche vi è un secondo tipo di trasportatori dei neurotrasmettitori, la cui funzione è quella di trasportare i neurotrasmettitori dal citoplasma nelle vescicole, ove sono accumulati, per essere poi liberati per esocitosi durante la trasmissione sinaptica.

c) I recettori

Sia i neurotrasmettitori, che trasmettono le informazioni fra neuroni, che i neuromodulatori, che ne regolano la liberazione o modificano l'eccitabilità neuronale, esercitano la loro azione legandosi a recettori specifici, sui quali agiscono anche numerosi psicofarmaci, come vedremo in seguito. I progressi delle conoscenze sui recettori rappresentano uno degli sviluppi più importanti della psicofarmacologia dell'ultimo decennio. Grazie alla biologia molecolare, è stato identificato e caratterizzato l'RNA che esprime la maggior parte dei recettori presenti nel sistema nervoso centrale sinora noti; sono state ottenute linee cellulari che esprimono i recettori, i quali possono così essere isolati e studiati con maggior facilità; sono stati creati animali nei quali sono stati eliminati i geni per recettori specifici (knock-out: v. farmacologia e sperimentazione animale, vol. X), di cui, grazie sia alle tecniche di biologia molecolare che ai nuovi ligandi, sono stati identificati numerosi sottotipi. Basti ricordare i 5 sottotipi dei recettori muscarinici per l'ACh, i 7 sottotipi dei recettori per la 5-HT, i 4 sottotipi dei recettori per la DA. I recettori si dividono in ionotropi, ad azione molto rapida, e metabotropi, ad azione più lenta, a seconda che siano accoppiati a un canale per gli ioni di cui modulano l'apertura, o a una proteina G e inducano la formazione di secondi messaggeri. L'impiego di ligandi marcati con isotopi non emittenti e della tomografia a emissione di positroni (PET) permette di visualizzare i recettori nel cervello umano e di studiarne l'occupazione da parte degli psicofarmaci (v. farmacologia molecolare, vol. X; v. neuroscienze: Basi molecolari della comunicazione neuronale, vol. XI).

5. Gli psicofarmaci usati in terapia: meccanismo di azione, efficacia e problemi connessi al loro impiego

Questo capitolo vuole mettere in risalto solo gli aspetti più interessanti, anche per il lettore non specializzato, dei meccanismi d'azione dei principali psicofarmaci, il loro significato euristico e la loro importanza terapeutica e sociale.

a) I farmaci per il trattamento della schizofrenia (o antischizofrenici o antipsicotici o neurolettici)

Ci sono in Italia circa 600.000 pazienti affetti da schizofrenia, cifra corrispondente a circa l'1-1,5% della popolazione generale, percentuale analoga a quella che si riscontra in tutti i paesi occidentali. La grande maggioranza di questi pazienti è trattata con antipsicotici, da soli o in associazione con altri neurofarmaci.

1. Antipsicotici tipici: fenotiazine, tioxanteni, butirrofenoni, dibenzossapine e dibenzotiazepine. - È stato ripetutamente confermato che tutte queste sostanze sono antagonisti dei recettori D2 per la DA, con maggiore o minore selettività. Il blocco dei recettori D2 è ritenuto il principale meccanismo dell'azione antipsicotica di questi farmaci. Né la PET, né l'impiego di molecole marcate non emittenti, tuttavia, ha permesso di visualizzare e calcolare la percentuale di occupazione dei recettori D2 nel cervello umano e di metterla in rapporto con il miglioramento indotto dalla terapia, per confermare la correlazione tra efficacia terapeutica e affinità per i recettori D2 dimostrata in vitro vent'anni fa. Alle dosi terapeutiche l'occupazione dei recettori D2 da parte dei farmaci è dell'ordine dell'80-90%; purtroppo, però, questa percentuale è correlata anche con i disturbi extrapiramidali (acatisia, reazioni distoniche, discinesie, parkinsonismo), che sono tra gli effetti collaterali più gravi della terapia con antipsicotici. Ricordiamo che l'inibizione dei recettori D2 della regione tubero-infundibolare causa un aumento dei livelli plasmatici di prolattina e di conseguenza disturbi endocrini, particolarmente a carico dell'apparato riproduttivo sia femminile che maschile. Allo stesso meccanismo va attribuito anche il blocco della termoregolazione che rende questi farmaci molto utili per instaurare una ipotermia controllata, ma è causa di ipertermia maligna in condizioni ambientali di surriscaldamento. Quarant'anni di esperienza clinica con questo gruppo di farmaci e una estesa meta-analisi dei risultati ottenuti permettono di conoscerne con sicurezza vantaggi e limiti. Se da un lato il loro uso è stato il fattore principale che ha portato alla riduzione progressiva dei ricoveri negli ospedali psichiatrici, alla riforma dell'assistenza ai malati mentali in Italia (legge 180 del 1978) e alla definitiva chiusura dei manicomi alla fine del 1996, dall'altro oggi sappiamo che solo una parte dei sintomi sono controllati e che, nella maggior parte dei casi, i pazienti devono essere trattati con questi farmaci per il resto della loro vita, dopo il primo episodio psicotico, per evitare le ricadute, che avvengono con una probabilità di circa l'80% nel giro di due anni dall'interruzione della terapia. Per facilitare la terapia di mantenimento in pazienti che spesso hanno difficoltà o rifiutano di assumere con regolarità i farmaci, sono state sviluppate forme farmaceutiche a lunga durata di azione, il cui uso si è sempre più affermato: la somministrazione per via intramuscolare di una singola dose permette di ottenere livelli plasmatici terapeutici del farmaco per periodi da 2 a 4 settimane. I sintomi che rispondono alla terapia con antipsicotici tipici sono quelli definiti come produttivi o positivi, quali allucinazioni, delirio, eccitazione, aggressività, mentre non rispondono i sintomi negativi, quali impoverimento ideativo, autismo, depressione, chiusura in se stessi. Alcuni degli antipsicotici tipici sono caratterizzati da un'intensa attività sedativa, presumibilmente dovuta al blocco di altri recettori (muscarinici, α -adrenergici, istaminergici) oltre a quelli dopamminergici; le proprietà sedative sono sfruttate in terapia per il trattamento delle forme acute di psicosi, sia di natura schizofrenica, sia dovute ad assunzione di farmaci quali anfetamina, cocaina, LSD. Molto diffuso, ma oggetto di discussioni deontologiche e, negli Stati Uniti, di regolamentazione da parte dell'autorità sanitaria, è l'uso degli antipsicotici nel trattamento dei disturbi non

cognitivi del comportamento nella demenza senile di Alzheimer, quali aggressività, iperattività motoria, delirio e allucinazioni, mancanza di collaborazione con il personale infermieristico. Il controllo di questi sintomi con gli antipsicotici è in genere buono, ma è accompagnato da un peggioramento dei sintomi cognitivi, con riduzione dell'attenzione e della memoria.

2. Antipsicotici atipici: benzamidi, dibenzodiazepine, derivati del benzilossazolo. - Questi farmaci si differenziano dagli antipsicotici tipici in quanto comportano una minor incidenza di effetti collaterali acuti di tipo extrapiramidale e di discinesie tardive e sono efficaci anche sui sintomi negativi. La clozapina fu introdotta per la prima volta negli Stati Uniti negli anni settanta, ma il suo uso fu interrotto a causa della comparsa di casi fatali di agranulocitosi; venne reintrodotta negli anni ottanta, dopo un'attenta valutazione dei rischi rispetto ai benefici e dopo aver chiarito che la leucopenia, che compare in tutti i pazienti trattati con tale farmaco, raramente evolve in agranulocitosi. Il risperidone e l'olanzapina sono invece il frutto di ricerche chimiche e farmacologiche mirate a identificare antipsicotici con minori effetti collaterali.

Le ragioni delle differenze fra antipsicotici tipici e atipici consistono soprattutto nel fatto che questi ultimi sono caratterizzati da un'affinità minore per i recettori D2 e più elevata per i recettori D3 e D4, che hanno una distribuzione prevalentemente extrapiramidale, come dimostrato con la PET da studi preclinici sia nell'animale che nell'uomo. Inoltre la clozapina e, soprattutto, il risperidone hanno affinità per alcuni sottotipi dei recettori per la 5-idrossitriptamina, in particolare 5-HT₂ e 5-HT₃.

In conclusione, gli antipsicotici tipici e atipici sono farmaci di grande importanza terapeutica, perché permettono di ottenere in una buona parte dei pazienti un controllo, anche se non la guarigione, di molti dei sintomi della schizofrenia, soprattutto di quelli che rendono più difficile il loro reinserimento nella comunità e nella famiglia. Tali farmaci hanno modificato radicalmente la condizione di molti malati mentali, determinando un diverso atteggiamento della società nei loro confronti; come ha scritto Tobino (v., 19632): "Adesso accade che un uomo infuriato entra in manicomio e con poche pasticche, già il secondo o il terzo giorno si placa, fa come un tizzone immerso nell'acqua che frigge e fuma ma non più sfavilla l'incendio. E può accadere - non sempre, con discreta frequenza - che presto si ricostituisce, si stabilizza [...] e esce come un uomo dal cancello dell'ospedale".

Infine, non dobbiamo dimenticare l'importanza euristica di questo gruppo di farmaci nello studio dei meccanismi patogenetici della schizofrenia. La relazione fra occupazione dei recettori dopamminergici ed efficacia terapeutica degli antipsicotici atipici è stata la pietra angolare dell'ipotesi dopamminergica della schizofrenia: secondo questa ipotesi, riassunta nei termini più semplici, il meccanismo patogenetico della schizofrenia sarebbe identificabile in un disturbo della trasmissione dopamminergica delle vie mesolimbiche e mesocorticali, causato da molti fattori quali danni prenatali, genetici, ambientali. Pur non potendosi negare un ruolo dei meccanismi dopamminergici nell'espressione dei sintomi positivi, questa ipotesi è considerata

semplificistica e non ha trovato conferme sperimentali dirette. Inoltre, mentre la dimostrazione dell'efficacia degli antipsicotici atipici e della loro azione sui recettori 5-HT sembra chiamare in causa anche i meccanismi serotoninergici, quanto meno nel manifestarsi dei sintomi negativi, i risultati delle ricerche sulla neurotrasmissione glutammatergica prospettano la possibilità di un coinvolgimento anche di questo sistema.

b) I farmaci antidepressivi

Un recente studio condotto su circa 3.000 soggetti ha consentito di dimostrare che il 2,1% della popolazione italiana fa uso di antidepressivi, cioè che 1,2 milioni di pazienti assumono per periodi variabili, ma sempre prolungati, uno dei farmaci descritti in questo paragrafo.

1. Inibitori delle monoamminossidasi (IMAO). - Come era stato previsto nell'articolo precedente, le ricerche sulle diverse forme molecolari di monoamminossidasi (MAO) hanno portato all'introduzione, nella terapia della depressione, di nuovi IMAO privi degli effetti collaterali che avevano relegato gli IMAO della prima generazione tra i farmaci cosiddetti di 'seconda linea'. Le MAO sono enzimi, presenti in quasi tutti i tessuti, che inattivano le monoammine trasformandole, per deaminazione ossidativa, in aldeidi, successivamente convertite in acidi. Sono state identificate MAO di tipo A e B: substrati preferenziali della MAO-A sono la NA e la 5-HT, della MAO-B la feniletilammina. Ambedue le MAO agiscono sulla dopamina, ma la MAO-B è localizzata soprattutto nelle aree a innervazione dopaminergica e la sua inibizione causa un aumento dei livelli di DA. Gli inibitori introdotti in terapia negli anni cinquanta, quali ad esempio iproniazide, fenelzina, tranilcipromina, erano non selettivi (in quanto inibivano le MAO sia di tipo A che di tipo B) e irreversibili. La loro somministrazione era seguita da un aumento dei livelli tissutali di monoammine, da risultati terapeutici spesso buoni, ma anche da effetti collaterali in alcuni casi drammatici: infatti l'inibizione delle MAO-A della parete intestinale e del fegato permette l'assorbimento della tiramina presente in alcuni alimenti (formaggi, vini) in grado, per le sue proprietà di ammina simpaticomimetica indiretta, di liberare catecolammine dalle terminazioni simpatiche, con conseguenti possibili gravi crisi ipertensive, anche mortali.

Sono stati successivamente sintetizzati e introdotti in terapia inibitori selettivi irreversibili della MAO-B (per es., selegelina o deprenil, impiegato nella terapia del morbo di Parkinson), nonché inibitori selettivi e irreversibili (per es., clorgilina) e reversibili delle MAO-A. Tra questi ultimi, chiamati anche RIMA (Reversible Inhibitors of MAO-A), hanno trovato recente impiego nella terapia della depressione la moclobemide e la bromfaromina. La reversibilità dell'inibizione delle MAO-A della parete intestinale ha eliminato il rischio di crisi ipertensive, mentre l'aumento dei livelli extracellulari di NA e 5-HT nel cervello è associato a buoni effetti terapeutici. Va inoltre ricordato che l'inibizione delle MAO porta a una riduzione della produzione di radicali liberi nei tessuti e a un presumibile effetto neuroprotettivo, attualmente oggetto di numerosi studi (v. radicali liberi: Biologia e patologia, vol. XI).

2. Antidepressivi triciclici. - Questi farmaci, introdotti negli anni cinquanta, hanno rappresentato fino a poco tempo fa il cardine della terapia della depressione maggiore e sono ancora adesso largamente usati, anche in ragione del loro basso costo rispetto ai farmaci più recenti. L'esperienza acquisita su una vastissima casistica ha insegnato che la maggioranza dei pazienti risponde al trattamento con questi farmaci con un miglioramento dell'umore e dei sintomi organici, quali insonnia e anoressia, apprezzabile dopo diverse settimane. Vi è tuttavia un numero consistente di pazienti che non risponde alla terapia con antidepressivi triciclici (non responders), per i quali si deve ricorrere ad altri tipi di antidepressivi o all'elettroshock. L'interruzione della terapia è spesso accompagnata da ricadute, per cui si pone il problema della durata della terapia di mantenimento. La tossicità di questi farmaci è soprattutto a carico del sistema cardiovascolare, così che ne è controindicato l'uso in pazienti cardiopatici. All'attività anticolinergica, antimuscarinica, posseduta in misura maggiore o minore dagli antidepressivi triciclici, si devono particolari effetti collaterali - quali secchezza delle fauci, stipsi, disturbi della minzione, disturbi della acomodazione dell'occhio - che ne limitano l'uso negli anziani.

Il meccanismo d'azione iniziale di questi farmaci, ben dimostrato, consiste nel blocco non selettivo della ricaptazione delle monoammine. In particolare, amitriptilina e clorimipramina bloccano preferenzialmente la captazione della 5-HT, mentre imipramina, desmetilimipramina e nortriptilina bloccano preferenzialmente quella della NA. Tuttavia sono ancora da chiarire le modificazioni dei meccanismi della neurotrasmissione monoaminergica che avvengono fra il blocco della ricaptazione - che in genere è già massimale dopo 3 giorni di terapia ed è accompagnato da un aumento dei livelli extracellulari di monoammine - e il miglioramento clinico che si manifesta dopo alcune settimane; i risultati delle ricerche sperimentali lasciano intravedere una cascata di eventi biochimici che coinvolgono i secondi messaggeri e modificazioni nel numero e nell'affinità dei recettori per le monoammine.

3. Bloccanti selettivi della captazione della serotonina (SSRI, Selective Serotonin Reuptake Inhibitors). - Questo gruppo di farmaci, che comprende fluoxetina, fluvoxamina, paroxetina, sertralina, citalopram, sta progressivamente sostituendo gli altri antidepressivi nel trattamento non solo della depressione maggiore, ma anche degli attacchi di panico, dei disordini dell'alimentazione (anoressia e bulimia) e di quelle forme di disturbi dell'umore che possono essere considerate ai margini della patologia. Il prototipo di questi farmaci è la fluoxetina, introdotta in terapia negli Stati Uniti nel 1987 sotto forma di un prodotto denominato Prozac, nome che, a causa del suo sorprendente successo commerciale, è largamente noto al grande pubblico ed è quasi divenuto sinonimo di antidepressivo. Se negli anni settanta le sindromi ansiose sembravano rappresentare la patologia psichiatrica più comune - e nomi come Librium e Valium erano sulla bocca di tutti, sui giornali di informazione e nei romanzi, quali sinonimi di ansiolitico -, negli anni novanta il tipo prevalente di patologia mentale è identificabile nei disturbi dell'umore e il Prozac è il farmaco più usato. Numerosi libri divulgativi

sono stati dedicati al Prozac, dal più noto, *Listening to Prozac* di Kramer (v., 1993), a *Living with Prozac* di Elfenbein (v., 1995), fino al romanzo di E. Wurtzel (v., 1995) *Prozac nation: young and depressed in America*, il cui assunto è che la diffusione di questo farmaco negli Stati Uniti è tale da poter considerare questa nazione 'il paese del Prozac'. Anche in Italia la fluoxetina è largamente prescritta, sia sotto il nome di Prozac che sotto altri nomi commerciali, ed è stata oggetto di molta attenzione da parte della stampa.

È difficile comprendere perché e in quale misura il 'costo della modernità' debba essere la depressione, come viene sostenuto da più parti, e un'analisi di questo fenomeno è al di fuori degli scopi di questo articolo; si deve comunque notare che l'estesa prescrizione di Prozac e di altri antidepressivi da parte dei medici avviene molto spesso al di fuori di una precisa diagnosi di depressione. È forse questo un tentativo di controllare farmacologicamente pretesi disturbi dell'umore, che spesso altro non sono che l'infelicità insita nella condizione umana, per cui la prescrizione del Prozac è stata considerata da alcuni una 'cosmesi dell'animo'. Una delle ragioni del successo degli SSRI dipende dal fatto di essere meglio tollerati degli altri antidepressivi e di causare, in genere, limitati effetti collaterali. Anche se gli SSRI, per definizione, hanno tutti lo stesso meccanismo d'azione e presentano una percentuale di successi terapeutici che si aggira attorno al 70%, vi sono importanti differenze nel profilo di azione dei diversi farmaci di questo gruppo, dal punto di vista sia farmacocinetico che degli effetti collaterali. Questi sono rappresentati soprattutto da disturbi gastrointestinali, seguiti da tremori e insonnia. Data la loro scarsa cardiotoxicità, è possibile usare questi farmaci anche in pazienti cardiopatici. Le differenze fra i diversi farmaci di questo gruppo permettono di scegliere quello più adatto al singolo paziente. Va inoltre ricordato che la fluoxetina esercita anche un'azione anoressizzante, che da un lato la fa preferire nel trattamento dei disturbi dell'umore accompagnati da alcune turbe del comportamento alimentare, dall'altro ne incoraggia l'uso al di fuori di una stretta indicazione psichiatrica. Anche nel caso degli SSRI, la necessità di prolungare il trattamento per diverse settimane perché compaiano gli effetti terapeutici induce alla ricerca di mezzi farmacologici per accelerarne la comparsa. Un significativo accorciamento del tempo necessario a ottenere una riduzione della gravità della sintomatologia è stato ottenuto somministrando il pindololo associato alla fluoxetina. Il pindololo è non solo un bloccante dei recettori β -adrenergici, ma anche un antagonista dei recettori serotoninergici 5-HT₁; questi sono autorecettori somatodendritici che in presenza di aumentate concentrazioni extracellulari di 5-HT, quali quelle indotte dagli SSRI, inibiscono, con un meccanismo a feedback negativo, l'attività dei neuroni serotoninergici, riducendo l'effetto degli antidepressivi. Il blocco di questi recettori potenzia l'effetto degli SSRI: nelle prove cliniche la latenza sembra passare da 29 a 19 giorni.

Così come gli antipsicotici hanno avuto una grande importanza euristica nella formulazione della teoria dopaminergica della schizofrenia, gli SSRI hanno messo in risalto il ruolo della 5-HT nella patogenesi dei disturbi dell'umore, dando origine alla teoria serotoninergica della depressione, e hanno posto in ombra il

ruolo della NA. I risultati di numerose ricerche neurochimiche sembrano dimostrare l'esistenza, nella depressione maggiore, di una ipofunzione dei meccanismi serotoninergici: per esempio, nel liquor delle vittime di suicidi attuati con mezzi traumatici è stata osservata una diminuzione dei livelli del principale metabolita della 5-HT, l'acido 5-idrossindolacetico, indice di una ridotta liberazione di 5-HT. Non è stato tuttavia chiarito in quale maniera le modificazioni del metabolismo della 5-HT agiscano sul tono dell'umore e se esse siano responsabili delle alterazioni dell'asse ipofisi-surrene, che sono sempre più insistentemente chiamate in causa nella patogenesi della depressione.

4. Altri farmaci antidepressivi (atipici). - Accanto ai grandi gruppi di antidepressivi che abbiamo descritto ve ne è uno la cui efficacia terapeutica non può essere attribuita al blocco della captazione delle monoammine, ma a un'interazione di tipo agonista o antagonista con alcuni dei sottotipi dei recettori per la 5-HT; tra gli appartenenti a questo gruppo ricorderemo il trazodone, il nefazodone e il bupropione.

In conclusione, pur essendo ancora ben lontani dal comprendere il meccanismo di azione degli antidepressivi e i meccanismi patogenetici dei disturbi dell'umore, va rilevato che tutti i farmaci attivi in queste patologie mentali interferiscono con la funzione dei sistemi monoamminergici, in particolare con quelli a mediazione serotoninergica. L'ipotesi più plausibile è che la causa prima dei disturbi dell'umore, quale che essa sia, porti a un'alterata funzione dei neuroni monoamminergici - serotoninergici in particolare - e che tutti i farmaci efficaci nel suo trattamento inizialmente facciano aumentare, con meccanismi diversi, i livelli extracellulari di monoammine.

Oltre a quelli inerenti agli effetti collaterali, vanno ricordati altri importanti problemi connessi con la terapia con antidepressivi. Il primo è la durata della terapia in rapporto con il rischio delle ricadute: infatti, in più del 50% dei pazienti la malattia evolve con episodi ripetuti. Dopo un trattamento iniziale di almeno sei mesi che abbia determinato il controllo della sintomatologia, sta all'esperienza del medico stabilire se interrompere gradualmente la terapia farmacologica, anche in considerazione del supporto psicologico offerto dalla famiglia e dall'ambiente, salvo riprenderla senza esitazione in caso di ricomparsa dei disturbi. L'interruzione della terapia con antidepressivi va condotta in maniera molto graduale perché, come emerge anche da una recente rassegna, la sindrome da astinenza da antidepressivi è un fenomeno frequente e spesso non diagnosticato che può manifestarsi con tutti i tipi di farmaci. Ansia, disturbi del sonno, cambiamento dell'umore, malessere generale e disturbi gastrointestinali sono i sintomi più frequenti, e possono facilmente essere scambiati con una ripresa della sintomatologia depressiva. Inoltre, l'interruzione della terapia con antidepressivi spesso incontra l'opposizione del paziente che, temendo di ricadere nella situazione di angosciosa sofferenza dalla quale è uscito grazie al trattamento farmacologico, si aggrappa al farmaco, verso il quale finisce con l'avere una dipendenza psicologica. Infine, va menzionato il problema, spesso discusso sulla stampa di informazione, riguardante la possibilità che, nella fase iniziale della terapia, i pazienti siano indotti al suicidio, in molti casi

scegliendo come mezzo l'antidepressivo loro prescritto. Si è scritto che l'inizio della guarigione fa sì che il paziente si renda pienamente conto della sofferenza dalla quale sta uscendo e che arrivi a togliersi la vita per non correre il rischio di doverla affrontare nuovamente; anche se le analisi dei lavori pubblicati dimostrano che, in realtà, tra i pazienti depressi trattati con antidepressivi il numero di suicidi non è maggiore che tra quelli non trattati, non di meno il rischio che i farmaci antidepressivi possano essere utilizzati a scopo suicida va sempre tenuto presente e deve indurre il medico a prescriberne ogni volta limitati quantitativi.

c) I farmaci usati nel trattamento dei disturbi bipolari dell'umore (stabilizzanti dell'umore)

Il manuale diagnostico e statistico (DSM-IV) dell'American Psychiatric Association (v., 1994) classifica i disturbi bipolari in disturbi di tipo I o II in base alla maggiore o minore presenza di episodi maniacali o ipomaniacali e di episodi depressivi maggiori. Il principale farmaco, impiegato sia per il trattamento delle forme acute che per la prevenzione della ricomparsa delle manifestazioni, rimane il litio. Il litio viene talvolta prescritto anche per la terapia della depressione unipolare, in associazione con antidepressivi per accorciarne la latenza e potenziarne l'effetto terapeutico.

Il meccanismo mediante il quale il litio esercita la sua azione stabilizzante dell'umore non è stato ancora chiarito, anche se l'elenco delle azioni neurochimiche che esso esercita, alle concentrazioni terapeutiche, è diventato sempre più lungo. Per la sua natura di catione monovalente il litio interferisce, a livello delle membrane, con i meccanismi di trasporto del sodio e del potassio, della colina, del triptofano e di altri metaboliti. Nel citoplasma interferisce con la sintesi di secondi messaggeri, poiché inibisce sia il ciclo dei fosfoinositoli che la formazione di AMP ciclico. Il litio si lega alla subunità α delle proteine G impedendone il legame con il GTP e la conseguente attivazione della fosfolipasi C e dell'adenilciclasi; inoltre inibisce la fosfatasi, che stacca l'inositolo dall'inositolfosfato e lo rende disponibile per la nuova sintesi del fosfatidilinositolo; infine inibisce direttamente l'adenilciclasi. Queste azioni influenzano la trasmissione a livello di diversi sistemi monoamminergici, presumibilmente soprattutto in quei circuiti nei quali l'attività neuronale è più intensa e che sono pertanto più vulnerabili. All'inibizione della adenilciclasi si devono sia la poliuria, causata da una ridotta azione dell'ormone antidiuretico sui tubuli distali, sia l'ipotiroidismo, dovuto all'effetto sulla tiroide che provoca una riduzione della sintesi e della liberazione di T4. Malgrado queste complesse azioni, il litio - somministrato sotto forma di carbonato, solfato, glutammato - è in generale ben tollerato, se i livelli plasmatici sono attentamente controllati e mantenuti nell'ambito delle concentrazioni terapeutiche, comprese entro limiti piuttosto stretti: i suoi numerosi e polimorfi effetti tossici iniziano a manifestarsi quando la litiemia supera il valore di 1,5 milliequivalenti per litro. Ai primi disturbi, consistenti in fini tremori delle mani, difficoltà di parola, alterazioni dell'attenzione e della memoria, seguono disturbi gastrointestinali, aritmie cardiache e infine stato confusionale e convulsioni. Per evitare la comparsa di tali

effetti tossici, occorre controllare periodicamente i livelli plasmatici del litio: un aumento della litiemia può infatti conseguire anche a un aumento del riassorbimento renale di litio in seguito a eccessiva perdita di sodio, causata, per esempio, dall'assunzione di farmaci diuretici o da particolari condizioni organiche, quali intensa sudorazione o diarrea. Decenni di uso su larga scala del litio se hanno permesso di ridimensionare il timore della possibile insorgenza di insufficienza renale in seguito a trattamento prolungato, non sono però valsi a chiarire del tutto se la sua assunzione in gravidanza faccia aumentare il rischio di malformazioni fetali. Nei pazienti nei quali il litio è controindicato perché affetti da patologie cardiache, da ipotiroidismo o da insufficienza renale, i disturbi bipolari dell'umore possono essere trattati con carbamazepina o acido valproico. La carbamazepina è stata introdotta in terapia negli anni cinquanta per il trattamento di forme nevralgiche, quali la nevralgia del trigemino. Negli anni settanta è stata dimostrata la sua azione anticonvulsivante, che ne ha fatto gradualmente il farmaco di prima scelta per il trattamento delle convulsioni parziali e tonico-cloniche. La prima segnalazione di una sua efficacia terapeutica nei disturbi bipolari risale anch'essa agli anni settanta, ma solo negli anni ottanta alcuni studi controllati ne hanno dimostrato inequivocabilmente l'efficacia nella terapia delle forme bipolari e di alcune forme di depressione unipolare. Una vicenda simile è quella dell'acido valproico che, introdotto in terapia negli anni sessanta, si è gradualmente guadagnato un ruolo primario nel trattamento di diverse forme di epilessia e solo successivamente ne è stata dimostrata l'efficacia nel trattamento delle forme bipolari. Con quale meccanismo questi farmaci esercitino la loro azione nei disturbi dell'umore non è stato ancora definito. La carbamazepina attenua la scarica ripetitiva dei neuroni evocata da una depolarizzazione sostenuta: questo effetto è presumibilmente dovuto a un'interferenza con i canali per il sodio voltaggio-dipendenti che si manifesta in un prolungamento della loro inattivazione. È stata anche dimostrata la capacità della carbamazepina di interagire con i sistemi GABA-ergici e di potenziare gli effetti dell'adenosina, ma non è stata chiarita l'importanza di tali azioni per spiegare l'efficacia terapeutica del farmaco.

L'acido valproico stimola l'enzima glutammico-decarbossilasi, che forma il GABA dall'acido glutammico, e inibisce la GABA-transaminasi e la succinico-semialdeide-deidrogenasi, che inattivano il GABA; pertanto la sua somministrazione è accompagnata da un aumento di GABA nel cervello di animali da esperimento e nel liquido cerebrospinale di pazienti trattati. Tuttavia, non è stato dimostrato con certezza che l'attività terapeutica del farmaco dipenda soltanto da tali aumentati livelli di GABA: è probabile che anche nel caso dell'acido valproico svolga un ruolo importante la sua capacità di interferire con i canali del sodio, simile a quella della carbamazepina. Un indubbio vantaggio di questi due farmaci è che i loro effetti collaterali sono più blandi e meno frequenti di quelli del litio.

d) I farmaci usati nel trattamento dell'ansia

Malgrado che la medicina ufficiale abbia assunto nel corso degli ultimi anni un atteggiamento critico nei riguardi della terapia con ansiolitici - per i limiti della loro efficacia ma soprattutto per i rischi di abuso e dipendenza e per gli effetti collaterali - le benzodiazepine, che rimangono i più importanti ansiolitici, sono fra i farmaci maggiormente prescritti in molti paesi occidentali. Secondo un recente studio italiano, nel 1993 ha fatto uso di benzodiazepine l'8,6% del campione di adulti esaminato, con una netta prevalenza del sesso femminile e degli anziani (v. Magrini e altri, 1996); il 70% dei consumatori cronici di benzodiazepine, quelli cioè che le hanno assunte quotidianamente per un periodo di almeno 6 mesi, ha infatti più di 65 anni. Questi dati sono abbastanza simili a quelli raccolti nel 1989 su 23.000 pazienti negli Stati Uniti, dei quali il 6,2% (4,2% uomini e 8% donne) faceva uso di benzodiazepine; di questi il 10% ne faceva uso da almeno un anno e il 13,7% aveva più di 64 anni. Tuttavia, il confronto con precedenti studi, condotti sempre negli Stati Uniti, rivela una progressiva riduzione dell'uso delle benzodiazepine, poiché nel 1970 la quota della popolazione americana che assumeva ansiolitici e sedativi arrivava al 15%. I soggetti che fanno maggior uso di benzodiazepine sono, nell'ordine, disoccupati, pensionati, casalinghe e lavoratori con posizioni direttive e di responsabilità; ciò dimostra che, a prescindere dalle ragioni mediche che possono determinarne la prescrizione, le benzodiazepine sono usate soprattutto allo scopo di attenuare uno stato di disagio nei riguardi delle proprie condizioni di vita, che si traduce o viene percepito o diagnosticato come ansia. Forse nessun farmaco meglio degli ansiolitici può "strappare dalla memoria un dolore che vi ha messo le radici, cancellare le angosce scritte nel cervello [...] liberare il petto da quell'ingombro pericoloso che [...] grava sul cuore" (W. Shakespeare, Macbeth, atto V, scena III).

L'ansia, che può essere considerata un'emozione universale dell'uomo, può manifestarsi in molte forme - che vanno dal disagio all'apprensione, fino ad arrivare agli attacchi di panico - ed è causa di numerosi sintomi organici a livello cardiaco, respiratorio, gastrointestinale. Da tutto ciò deriva che, se un limitato stato d'ansia fa parte della condizione umana e può essere considerato utile per affrontare con successo i problemi della vita quotidiana, un alto livello di ansia dà origine ai complessi quadri di patologia mentale che sono classificati dal DMS-IV come 'disturbi di ansia' e sono suddivisi in attacchi di panico, fobie, disturbi ossessivo-compulsivi, disturbi acuti da stress e disturbi generalizzati da ansia (v. American Psychiatric Association, 1994). Le benzodiazepine ansiolitiche attualmente più usate in Italia sono il lorazepam, il bromazepam, il diazepam e l'alprazolam. L'esperienza clinica degli ultimi anni ha dimostrato che gli attacchi di panico e i disturbi ossessivo-compulsivi sono controllati in maniera molto più efficace dagli antidepressivi SSRI che dalle benzodiazepine. Le condizioni patologiche che possono giustificare una prescrizione di benzodiazepine, limitata nella durata, sono, oltre ai disturbi d'ansia, i disturbi del sonno, la depressione e, in associazione con farmaci specifici, la schizofrenia, nonché stati spastici della muscolatura scheletrica su base reumatica e infiammatoria; per il trattamento di queste ultime condizioni viene sfruttata l'attività miorilassante propria di

molte benzodiazepine. Molto utile è l'impiego delle benzodiazepine nel trattamento dei pazienti alcolisti, sia per il controllo della sindrome da astinenza sia per la disintossicazione. Alcune benzodiazepine, quali il flunitrazepam e il triazolam, possiedono spiccate proprietà ipnotiche e sono indicate solo per i disturbi del sonno. Va inoltre ricordato che diverse benzodiazepine sono dotate di proprietà anticonvulsivanti: il diazepam o il lorazepam per via endovenosa sono molto utili per controllare attacchi convulsivi causati sia da epilessia che da intossicazioni, e il clonazepam per via orale trova impiego in alcune forme di epilessia. Infine, le benzodiazepine sono usate nell'induzione dell'anestesia chirurgica. Nell'uso come ipnotici le benzodiazepine sono oggi spesso sostituite con successo dallo zolpidem, un derivato imidazopiridinico privo di azioni miorilassanti e anticonvulsivanti. L'unica alternativa moderna alle benzodiazepine per il trattamento dell'ansia generalizzata è il buspirone, un antagonista parziale dei recettori 5-HT₁ privo di azioni dirette o allosteriche sui recettori GABA_A, la cui efficacia terapeutica induce a ritenere che anche la 5-HT intervenga nella patogenesi dell'ansia: la latenza di due settimane circa nella comparsa dell'effetto terapeutico ne ha tuttavia limitato l'affermazione.

L'impiego di benzodiazepine al di fuori delle indicazioni sopra elencate, attualmente oggetto di discussione, è ritenuto inutile e potenzialmente dannoso: la prescrizione di tali farmaci è spesso attuata in maniera superficiale e la loro assunzione può diventare un'incontrollata automedicazione cronica. I problemi connessi con l'uso cronico delle benzodiazepine sono rappresentati da una eccessiva sedazione e dalla dipendenza fisica. I sintomi riscontrabili nei pazienti che usano cronicamente benzodiazepine, particolarmente evidenti nelle persone anziane che hanno una maggior sensibilità verso questi farmaci, consistono in riduzione dell'attenzione, perdita della memoria, deficit psicomotori, lieve atassia con rischio di cadute; la ridotta attenzione e i deficit psicomotori possono essere causa di incidenti automobilistici o sul lavoro. È inoltre abbastanza frequente l'intossicazione acuta da benzodiazepine per tentato suicidio che, tuttavia, solo raramente è causa di morte, in quanto le benzodiazepine hanno una tossicità acuta molto bassa.

I dati sulla frequenza e sulla gravità della dipendenza dalle benzodiazepine e della conseguente sindrome da astinenza sono stati oggetto di discussioni e di contrastanti valutazioni del rischio. In linea di massima si può ritenere che dopo sei mesi di trattamento con dosi terapeutiche di benzodiazepine ansiolitiche o ipnotiche il 5-10% dei consumatori sviluppi una sindrome da astinenza; questa percentuale sale al 75% dopo 6-8 anni di trattamento. La sindrome da astinenza si manifesta come ripresa dei sintomi per i quali il farmaco è stato prescritto, come ad esempio insonnia e ansia, ai quali possono aggiungersi altri sintomi di diversa gravità, quali disforia, dolori muscolari, depersonalizzazione, fino, nelle forme più gravi, all'insorgenza di convulsioni. Va infine menzionata la diffusione fra i tossicomani delle benzodiazepine come farmaci di abuso, usate sia da sole, soprattutto il flunitrazepam e il temazepam, per ottenere euforia; sia in associazione, per potenziare l'effetto degli oppiacei e dell'alcool o per attenuare il crash dopo l'euforia conseguente ad assunzione di

cocaina o anfetammine. A causa di questo abuso e del rischio di dipendenza, in molti paesi la prescrizione di benzodiazepine è sottoposta a controlli.

Dalla fine degli anni settanta si è assistito da un lato allo sviluppo del dibattito sulla reale utilità dell'uso delle benzodiazepine, in quanto con la sospensione della loro assunzione alcuni pazienti migliorano, ma la qualità della vita di altri pazienti peggiora sensibilmente; dall'altro a quello delle ricerche precliniche che hanno chiarito il meccanismo di azione di queste sostanze e creato le premesse per la scoperta di nuovi ansiolitici. È noto dalla metà degli anni settanta che le benzodiazepine potenziano i meccanismi inibitori centrali mediati dal GABA, in quanto legandosi con alta affinità a un sito posto sulla subunità α del recettore GABAA agiscono come modulatori allosterici positivi del GABA: infatti fanno aumentare la frequenza di apertura dei canali per lo ione cloro indotta dal legame del GABA con il suo recettore. Le benzodiazepine che potenziano gli effetti del GABA sono definite 'agonisti'. Vi è una seconda classe di ligandi che fa diminuire la frequenza di apertura dei canali per il cloro e induce ansia, stato di veglia, convulsioni: questi sono i modulatori allosterici negativi o 'agonisti inversi'. I ligandi di una terza classe impediscono la modulazione da parte degli agonisti e degli agonisti inversi, e sono chiamati 'antagonisti'; il loro prototipo è il flumazenil, che è impiegato nel trattamento delle intossicazioni acute da benzodiazepine. Infine vi è una quarta classe di modulatori allosterici parzialmente positivi o parzialmente negativi, definibili come agonisti parziali o agonisti inversi parziali. Sono attualmente in uso, o in studio, alcuni agonisti parziali caratterizzati da alta affinità per il recettore e bassa attività intrinseca, tra i quali ricordiamo lo zolpidem, l'abecarnil e l'imidazenil; questi farmaci dovrebbero indurre un modesto aumento del tono inibitorio GABA-ergico, sufficiente a esercitare effetto ansiolitico o ipnotico ma non a indurre sedazione, deficit cognitivi e atassia.

Il recettore GABAA è un pentamero formato da 5 subunità. Poiché è noto che ben 16 geni codificano le subunità, è possibile che nel SNC vi sia l'espressione di un numero straordinario di differenti sottotipi di recettori GABAA. È anche possibile che in futuro siano sintetizzati ligandi capaci di modulare specifici sottotipi dei recettori GABAA. È questo uno dei molti campi nei quali prosegue la ricerca di nuovi farmaci ansiolitici, cui si associa quella sui meccanismi neurochimici dell'ansia. È interessante notare che fra il 1990 e il 1995 sono state brevettate nel mondo circa 1.500 nuove molecole dotate di azione ansiolitica: di queste, 184 agiscono sui meccanismi GABA-ergici, circa 500 sui meccanismi serotoninergici e un centinaio interferisce con le azioni centrali della colecistochinina. Ciò dimostra innanzitutto che per l'industria farmaceutica i disturbi d'ansia costituiscono un vasto mercato potenziale e che nella patogenesi dell'ansia si profilano, oltre a fattori che interferiscono con i meccanismi GABA-ergici, anche alterazioni di altri importanti meccanismi della neurotrasmissione.

e) I farmaci per le demenze senili

Fino ai primi anni ottanta le conseguenze economiche dell'invecchiamento della società non erano state ancora pienamente percepite e di nessun farmaco era stata dimostrata, con adeguate sperimentazioni cliniche, l'efficacia nel trattamento della demenza di Alzheimer. Gli ultrasessantacinquenni erano il 9,5% della popolazione italiana nel 1961 e saranno il 20% nel 2000: uno su venti di questi individui soffre di demenza e questo numero sale al 20% negli ultraottantenni. L'elevato costo sociale ed economico di questa malattia spinge a un'attiva ricerca sulla eziopatogenesi delle demenze e allo sviluppo di farmaci che possano prevenirle o ritardarne il decorso. I farmaci oggi disponibili sono riconducibili a due gruppi: gli inibitori delle colinesterasi, la cui efficacia è riconosciuta dagli organismi di controllo americani, e i nootropi, la cui efficacia terapeutica è oggetto di dubbi e riserve. La demenza senile è caratterizzata non solo da disturbi della memoria, ma anche da vari altri sintomi - complesse alterazioni della personalità, delirio, agitazione e disturbi del sonno - per il cui trattamento si ricorre a un uso cauto e limitato di farmaci antipsicotici, ansiolitici e ipnotici, in considerazione della grande suscettibilità dell'anziano ai loro effetti collaterali.

1. Inibitori delle colinesterasi. - Negli Stati Uniti sono stati sinora autorizzati due farmaci appartenenti a questo gruppo, la tacrina nel 1994 e il donepezil nel 1996, e altri sono prossimi alla registrazione. Si tratta di inibitori dotati di selettività diversa per l'acetilcolinesterasi e la butirrilcolinesterasi. L'inibizione di questi enzimi è seguita da un aumento, negli spazi intersinaptici, dei livelli di ACh che, liberata dagli impulsi nervosi, non è idrolizzata dalle esterasi; ne consegue un potenziamento, nel sistema nervoso centrale e negli organi periferici, della funzione dei sistemi a mediazione colinergica. Questi farmaci sono il risultato della 'ipotesi colinergica' dei disturbi cognitivi della demenza di Alzheimer, proposta agli inizi degli anni ottanta sulla base di numerose ricerche anatomo-cliniche e sperimentali che hanno dimostrato sia la degenerazione dei neuroni colinergici dei nuclei del cervello anteriore - in particolare del nucleo magnocellulare di Meynert - di pazienti affetti da demenza senile, sia il ruolo del sistema colinergico nei processi cognitivi. Purtroppo l'efficacia terapeutica di questi farmaci è limitata, perché solo un terzo dei pazienti trattati risponde con un miglioramento dei processi cognitivi, raramente tale da cambiarne la qualità della vita e ridurre le necessità di assistenza; i loro effetti collaterali, al contrario, sono numerosi e richiedono un attento controllo.

2. Attivatori dei meccanismi cognitivi. - Questa definizione comprende un numeroso ed eterogeneo gruppo di farmaci, fra i quali i più noti sono i nootropi. I nootropi costituiscono un'interessante categoria di farmaci che comprende il piracetam, che ne è stato il prototipo, l'aniracetam, il nefiracetam e altri - tutti caratterizzati dalla capacità di far migliorare l'apprendimento e la memoria in molti modelli animali e in alcune situazioni nell'uomo - privi di evidenti effetti stimolanti e dotati di scarsa tossicità sistemica. Mancano tuttavia sperimentazioni cliniche sufficientemente ampie da eliminare ogni dubbio sulla loro efficacia e utilità al fine di migliorare la vita quotidiana dei pazienti affetti da demenza. La recente dimostrazione che questi farmaci potenziano la trasmissione glutammatergica modulando uno dei sottotipi dei recettori per il glutammato e,

direttamente o indirettamente, stimolano anche il sistema colinergico centrale, ha fornito una razionale spiegazione del loro meccanismo di azione e ha fatto aumentare l'interesse nei loro riguardi. I nootropi sono proposti anche per far migliorare apprendimento e memoria in soggetti normali. Gli attivatori dei processi cognitivi comprendono numerose altre sostanze, quali l'acetilcarnitina, la fosfatidilserina, la pentossifillina, alcuni derivati della colina e la nimodipina, bloccante dei canali del calcio: l'efficacia terapeutica nelle demenze di tali farmaci, in commercio in alcuni paesi europei, non è sufficientemente documentata e per essi non è proposto un chiaro meccanismo d'azione.

6. Gli allucinogeni o psicotomimetici

Appartengono a questo gruppo le sostanze (definite anche psichedeliche) responsabili dei 'disturbi indotti da allucinogeni' secondo la classificazione del DSM-IV (v. American Psychiatric Association, 1994). Esse possono, come in passato, essere suddivise in due classi: a) sostanze (quali LSD, mescalina, derivati delle anfetammine) che producono psicosi funzionali rapportabili alla schizofrenia; b) sostanze, quali gli anticolinergici naturali (atropina, scopolamina) o di sintesi (benztropina, orfenadrina), che inducono una sindrome simile alle psicosi organiche con delirio. È molto raro l'abuso del secondo gruppo di sostanze, le quali, in genere in associazione con altri farmaci, possono invece essere causa di intossicazioni accidentali. Dopo la diffusione degli allucinogeni negli anni settanta, nel periodo della cultura dei 'figli dei fiori', il loro uso è diminuito fortemente negli anni ottanta, ma è poi ripreso negli anni novanta. In un'indagine del 1993, circa l'11% degli studenti americani ha dichiarato di aver usato qualche volta sostanze allucinogene. Nessuno crede più che la loro assunzione possa allargare le 'porte della percezione', facilitare l'attività creativa od offrire la chiave per la comprensione dei meccanismi patogenetici della schizofrenia. Sono finite le ricerche cliniche sull'LSD, ma proseguono quelle sul meccanismo d'azione e sulle azioni tossiche soprattutto dei derivati dell'anfetamina, imposte dalle conseguenze del loro abuso. Oggi gli allucinogeni sono usati per fuggire dalla realtà, per entrare in uno stato di euforia, per rimuovere le inibizioni rendendo così più facile l'inserimento nel gruppo dei coetanei, per annullare la fatica nella 'febbre del sabato sera'. Con l'eccezione di alcune comunità amerinde che usano ancora la mescalina e la psilocibina - contenute rispettivamente in un cactus, il peyotl (*Lophophora williamsii*), e nel fungo *Psilocibe mexicana* - in riti religiosi, gli allucinogeni serotoninergici e adrenergici sono usati a scopo ricreazionale. Gli allucinogeni sono tradizionalmente descritti in un capitolo a parte rispetto alle altre sostanze di abuso per la loro straordinaria capacità di alterare i processi cognitivi, per l'origine del loro impiego che risale alle culture primitive e per il loro meccanismo d'azione. Per quanto riuniti in un unico gruppo nel DSM-IV e in molti trattati, gli allucinogeni tradizionali - LSD,

mescalina, psilocibina, ibogaina - e quelli di sintesi, le cosiddette 'tecno-droghe' di cui l'ecstasy è la più nota, presentano numerose differenze.

L'LSD è straordinariamente attiva, causa allucinazioni già a dosi di 25-50 microgrammi e ha effetti di lunga durata; i derivati dell'anfetamina, invece, sono usati a dosi di molte decine di mg e hanno effetti di durata più breve. Per la sua struttura indolica, simile a quella della 5-HT, l'LSD interagisce con i recettori di questo neurotrasmettitore; tuttavia, è stata dimostrata una correlazione tra affinità per i recettori della 5-HT del sottotipo 5-HT₂ e potenza allucinogena anche per la mescalina, la psilocibina e i derivati dell'anfetamina, dimetossimetilanfetamina (DOM) e metilendiossimetamfetamina (MDMA, ecstasy). Tutte queste sostanze possiedono anche o un'azione diretta sui recettori della DA o la capacità di liberare DA dalle terminazioni nervose. Infine, DOM e ecstasy agiscono come neurotossine per i neuroni serotoninergici, dei quali causano la degenerazione nel ratto e presumibilmente anche nell'uomo, dato che è stata osservata una riduzione dei livelli dei metaboliti della 5-HT nel liquor di consumatori cronici. I molti aspetti del 'viaggio' (trip) buono o di quello cattivo, come vengono chiamati gli effetti dell'LSD, sono stati oggetto di numerose descrizioni (v. psicofarmacologia, vol. V): allucinazioni visive, uditive, spesso sinestesia, sensazioni conseguenti a percezioni sensoriali alterate, per cui suoni possono essere percepiti come immagini e immagini come suoni. Talvolta il 'viaggio' può finire con la morte, perché depersonalizzazione, distorsione della percezione del proprio corpo e perdita del senso critico danno l'illusione di poter volare e il soggetto si lancia nel vuoto e precipita.

Gli effetti allucinogeni dei derivati anfetaminici sono meno intensi; predominano l'eccitazione, l'euforia, la perdita del senso di fatica, che uniti alla musica ritmica, alla danza, alla presenza di molte persone producono uno stato di trance, ricercato soprattutto nei raves, grandi feste giovanili diffuse prima in Gran Bretagna, poi negli Stati Uniti e nel resto dell'Europa negli anni ottanta. L'ecstasy, che in molti paesi è stata dichiarata illegale solo negli ultimi anni, è stata utilizzata per rendere più facile e aperto il rapporto in psicoterapia ed è stata definita anche 'droga dell'amore' in quanto, secondo Saunders (v., 1995), "apre il cuore e permette all'amore di fluire". Disturbi gastrointestinali, emicrania, disturbi cardiocircolatori, ma soprattutto colpi di calore sono gli effetti collaterali più comuni causati da queste sostanze nei consumatori non abituali; inoltre, la perdita di senso critico indotta dai derivati dell'anfetamina è responsabile dei frequenti catastrofici incidenti automobilistici che coinvolgono giovani durante i fine settimana. In Gran Bretagna fra il 1988 e il 1995 sono state segnalate 53 morti riferibili all'ecstasy.

L'uso cronico di allucinogeni, particolarmente di LSD, è raro e induce tolleranza, anche crociata con altri allucinogeni. Gli allucinogeni non danno una vera e propria dipendenza, ma sono descritti casi di craving (desiderio spasmodico) e di uso persistente malgrado 'viaggi cattivi', caratterizzati da attacchi di panico, e la percezione degli effetti negativi sulla memoria. Gli allucinogeni possono determinare flashbacks, cioè una transitoria ricomparsa di disturbi della percezione analoghi a quelli provati sotto l'effetto del farmaco, mesi o

anni dopo l'ultima assunzione; il loro abuso può coesistere con uno stato psicotico cronico, condizione questa abbastanza comune della quale, tuttavia, non è ancora stata chiarita la genesi, se cioè l'uso degli allucinogeni induca una psicosi cronica in un individuo altrimenti normale o se riveli una patologia non manifesta.

7. Gli psicofarmaci di abuso e il loro uso a scopo ricreazionale

Negli ultimi anni, lo studio di queste sostanze ha acquistato nella psicofarmacologia uno spazio più ampio. Ciò è dovuto alla diffusione sempre maggiore delle sostanze stupefacenti, che rappresentano ormai uno dei più gravi problemi della società: "la malattia chiamata dipendenza" secondo "The Lancet". Non è compito della psicofarmacologia spiegare le ragioni di questo fenomeno, che riguarda soprattutto i giovani dai 18 ai 30 anni e che, assieme all'aumento dei casi di depressione, viene ritenuto un indice di quello che i mezzi di comunicazione definiscono come 'il disagio giovanile'. Possiamo a questo proposito ricordare l'interpretazione che di tale fenomeno ha dato Aldous Huxley (v., 1963) in *The doors of perception. Heaven and hell*, in un'epoca nella quale l'abuso di droghe era ancora limitato: "Che l'umanità in genere possa mai fare a meno dei 'paradisi artificiali', sembra molto improbabile. La maggior parte degli uomini e delle donne conduce una vita, nella peggiore delle ipotesi così penosa, nella migliore così monotona, che il desiderio di evadere, la smania di trascendere se stessi, sia pure per qualche momento, è, ed è stato sempre, uno dei principali bisogni dell'anima". Pertanto, se prendiamo in considerazione anche alcool, caffeina, nicotina e psicofarmaci, oltre alle sostanze illegali, praticamente la totalità della popolazione dai 15-18 anni in poi ne fa uso e, sulla base di dati americani ritenuti validi anche per l'Italia, il 66% dei giovani ha 'sperimentato' droghe illegali.

La società moderna deve affrontare il difficile problema di dove porre il limite fra uso legale e illegale degli psicofarmaci, nel tentativo di conciliare la libertà dell'individuo di cercare la sua via alla 'felicità', con conseguente danno alla sua salute che si traduce in una spesa per la comunità, e il costo sociale e finanziario della repressione. I fattori che giustificano un atteggiamento più o meno repressivo da parte della società sono la potenziale tossicità acuta e cronica della droga, la sua capacità di indurre abitudine (dipendenza) e di dare origine a comportamenti criminali o comunque aberranti. Tuttavia, la valutazione di questi fattori è spesso influenzata da criteri religiosi e politici.

Due elementi interagiscono nell'instaurarsi della tossicomania: le proprietà farmacologiche delle droghe, responsabili dei loro effetti acuti e cronici; e i fattori di rischio - demografici, sociali, ambientali, fisiologici e, secondo recenti ricerche, genetici - che spingono un certo numero di individui a usare saltuariamente o cronicamente le droghe. In questo capitolo tratteremo brevemente del primo dei due elementi. La proprietà farmacologica principale di una droga è la capacità di indurre dipendenza. La tab. III classifica le sostanze psicoattive in base a questa proprietà.

Tabella 3

Poiché tutti i farmaci che inducono dipendenza nell'uomo la inducono anche nell'animale da esperimento, è stato possibile fare grandi progressi nella comprensione dei meccanismi della dipendenza. È stato dimostrato negli animali che le sostanze con capacità alta e moderata/alta di indurre dipendenza stimolano il sistema di gratificazione presente nel cervello ed elevano i livelli extracellulari di DA. Il sistema di gratificazione, presumibilmente presente anche nell'uomo, coinvolge numerose strutture cerebrali e ha la caratteristica fisiologica di tradurre in un rinforzo positivo situazioni naturali, quali l'assunzione di cibo, l'attività sessuale, le interazioni sociali, essenziali per la sopravvivenza dell'individuo e la continuità della specie. Il principale mediatore di questo sistema è la DA. È stato osservato che se a un ratto viene data la possibilità di autostimolarsi attraverso una leva che attiva un elettrodo impiantato in uno dei nuclei del sistema di gratificazione, esso tende a stimolarsi in continuazione. Analogamente, il ratto che ha la possibilità di iniettarsi eroina o cocaina ripete continuamente la somministrazione, sviluppando un comportamento di costante ricerca del farmaco simile a quello del tossicomane. Ciò è dovuto inizialmente alla ricerca di un'immediata gratificazione, o rinforzo, data dal farmaco; in secondo luogo, il ripetersi delle somministrazioni porta rapidamente all'instaurarsi di una complessa catena di modificazioni neurochimiche dei sistemi di neurotrasmissione che porta alla tolleranza e alla necessità della presenza dello psicofarmaco per il normale funzionamento del sistema. Si instaura così la dipendenza, che si manifesta con la sindrome da astinenza se la somministrazione è interrotta. Tuttavia, non tutti i farmaci che causano dipendenza esercitano queste azioni: l'alcool aumenta i livelli di DA, ma il suo effetto sul sistema di gratificazione è difficile da dimostrare; la caffeina attiva il sistema dopamminergico, ma inibisce il sistema di gratificazione. Le benzodiazepine inducono un certo grado di autosomministrazione nel ratto, ma inibiscono sia il sistema di gratificazione sia l'attività dei neuroni dopamminergici. Presumibilmente altri sistemi neuronali, mediati dall'adenosina e dal GABA, potrebbero essere coinvolti nell'instaurarsi della dipendenza.

1. Sostanze di abuso legali. - Caffeina, alcool e nicotina sono le sostanze di abuso accettate dalla società occidentale, sia pure con alterne vicende. La caffeina, assunta sotto forma di caffè, tè, bevande dissetanti e preparazioni farmaceutiche per combattere il raffreddore e analgesiche, è la sostanza psicoattiva più diffusa nel mondo. Negli Stati Uniti l'80% della popolazione consuma quotidianamente caffeina; in Italia il consumo annuo pro capite di caffè supera i 4 kg. Il motivo dell'uso della caffeina sta nella sua capacità di provocare un modesto grado di stimolazione del sistema nervoso centrale che si traduce in aumento dell'attenzione e attenuazione del senso di fatica. Il suo meccanismo di azione consiste nell'antagonismo non selettivo per i recettori dell'adenosina che, prodotta dalla degradazione dell'ATP, è presente nel cervello, ove esercita il ruolo

di neuromodulatore ad azione preferenzialmente inibitoria. La caffeina possiede una bassa capacità di indurre tossicomania e una ridotta tossicità; tuttavia non è raro che nei consumatori di più di una decina di tazze di caffè al giorno compaiano tolleranza e dipendenza, disturbi cardiovascolari, insonnia e ansia.

La storia e le azioni dell'alcool etilico, il cui uso è iniziato circa 8.000 anni a. C., sono già state descritte (v. psicofarmacologia, vol. V). Il suo largo e tradizionale consumo sotto forma di vino, birra, liquori, il suo posto nella religione, nella cultura di molti paesi, la sua importanza economica fanno sì che la regolamentazione del suo uso sia affidata soprattutto all'autocontrollo da parte dei consumatori, anche se esso possiede una moderata capacità di indurre dipendenza e una rilevante tossicità acuta e cronica, e se la sua assunzione può indurre un comportamento antisociale e violento. Negli Stati Uniti l'alcolismo è diffuso tra il 5-10% degli uomini e il 3-5% delle donne; anche in Italia le malattie somatiche associate all'abuso di alcool sono diventate uno dei maggiori problemi della salute (basti pensare alla cirrosi e al cancro del fegato). Per questa ragione le ricerche precliniche e cliniche sull'alcool sono state e sono tuttora molto intense e hanno consentito sia di individuare un'importante componente genetica che induce all'abuso, sia di dimostrare che, pur non avendo propri siti recettoriali, l'etanolo interferisce con recettori di altri neurotrasmettitori; esso, infatti, inibisce i recettori NMDA (N-metil-D-aspartato) del glutammato e si lega al complesso molecolare del recettore GABAA, potenziando l'inibizione mediata dal GABA, effetto questo che può essere antagonizzato da alcune benzodiazepine. Occorre ancora ricordare che l'etanolo attenua la risposta dell'adenilatociclastasi all'attivazione da parte di specifici agonisti, che l'alcolismo cronico induce una degenerazione dei nuclei colinergici del cervello anteriore, causa di disturbi della memoria, e infine che la terapia della tossicomania da alcool è stata perfezionata con l'introduzione di nuove sostanze, fra le quali l'idrossibutirrato.

La nicotina possiede una capacità di indurre tossicomania piuttosto alta, tanto che la dipendenza da nicotina è descritta dal DSM-IV: solo il 5% dei fumatori che intende smettere vi riesce senza un aiuto farmacologico e psicologico. Inoltre, sia la nicotina che il fumo del tabacco sono la causa di malattie cardiovascolari e polmonari. L'elevato costo per la comunità della patologia da fumo ha causato negli anni ottanta un drastico cambiamento nell'atteggiamento della società dei paesi occidentali nei riguardi del fumo, che, soprattutto negli Stati Uniti, ha determinato l'introduzione di molte limitazioni all'uso del tabacco e una consistente diminuzione nel numero dei fumatori. La nicotina è un agonista dei recettori nicotinici per l'acetilcolina nel sistema nervoso; negli ultimi anni sono stati identificati numerosi sottotipi di recettori nicotinici nel cervello ed è stato dimostrato che la nicotina attiva il sistema dopaminergico sul quale agiscono anche cocaina, anfetamina e morfina.

2. Sostanze di abuso illegali: marijuana, morfina e analoghi, cocaina, anfetamine, fenciclidina. - Se da un lato i danni per la salute spingono la società a limitare l'uso del tabacco e a sorvegliare quello dell'alcool, dall'altro il consumo illegale della marijuana si è tanto esteso negli ultimi anni da suscitare un ampio

movimento in favore di una sua legalizzazione, soprattutto per le difficoltà, il costo e le conseguenze penali cui vanno incontro i giovani a causa dell'attuale politica repressiva. Non vi è dubbio che la marijuana e le altre preparazioni di Cannabis sativa (var. indica) possiedono una capacità moderata/bassa di indurre dipendenza e una bassa tossicità acuta, tanto che gli effetti di una singola dose non sono più gravi di quelli di qualche birra. Tuttavia, gli effetti sulla memoria, la sindrome amotivazionale, gli attacchi di panico, la depressione dei sistemi immunitari, gli effetti sui polmoni osservati nei consumatori abituali o cronici vanno considerati con preoccupazione e potrebbero diventare a loro volta motivo di grave danno per la salute e di elevato costo per la comunità, nel caso di una liberalizzazione. Il principio attivo contenuto nella Cannabis è il tetraidrocannabinolo, la cui farmacologia è stata estesamente studiata negli ultimi anni. È stato identificato e clonato il suo recettore specifico, accoppiato a proteine G e presente in molte regioni cerebrali e in tessuti periferici; è stato anche scoperto un ligando endogeno di questo recettore, l'etanolammide dell'acido arachidonico o anandammide. Infine, il tetraidrocannabinolo e alcuni suoi derivati di sintesi esercitano azioni antiemetica e antiemicranica e riducono la pressione endoculare nel glaucoma, per cui è in discussione il loro impiego a fini terapeutici.

I derivati dell'oppio (di cui l'eroina è il principale), la cocaina e le anfetammine sono i più pericolosi stupefacenti a larga diffusione; negli Stati Uniti, secondo dati del DSM-IV riferiti a un anno, ne fa uso rispettivamente il 2,5%, il 3% e l'1,7% della popolazione. I loro meccanismi di azione sono in buona parte noti: gli oppioidi inducono sia l'analgesia, sia gli effetti cercati dai tossicomani - come euforia, piacere, sedazione - agendo su recettori specifici i cui ligandi endogeni sono le endorfine. I complessi effetti stimolanti della cocaina sono dovuti al blocco della ricaptazione della DA e della 5-HT e al conseguente potenziamento dell'azione di questi due neurotrasmettitori. Le anfetammine liberano DA e NA dalle terminazioni nervose: alla liberazione della prima sono attribuite l'euforia e l'aumento della motilità, a quella della seconda l'effetto antifatica e di veglia. Tuttavia, come abbiamo già visto, la dipendenza è indotta da tutte queste sostanze con un meccanismo comune sul sistema di gratificazione. Non bisogna dimenticare che la morfina e molti altri oppioidi sono insostituibili analgesici per il controllo di molte forme di dolore, sia acuto che cronico. La fenciclidina, impiegata in via sperimentale come anestetico per via endovenosa e abbandonata per il suo potere allucinogeno, è usata, attualmente meno che in passato, per la complessa sintomatologia di depersonalizzazione, allucinazioni ed eccitazione (fino al comportamento violento) che essa induce, soprattutto se fumata. Molto interesse hanno suscitato le analogie fra sintomatologia da fenciclidina e alcuni sintomi della schizofrenia, come pure il meccanismo di azione di questa sostanza, che sembra dovuto a un blocco dei recettori del tipo NMDA per il glutammato: anche su tali elementi, fra gli altri, è basata la teoria che attribuisce la patogenesi della schizofrenia a una disfunzione di sistemi neuronali mediati dal glutammato.

8. Psicofarmacologia e società

Se teniamo conto degli psicofarmaci usati a scopo terapeutico e di quelli usati e abusati a scopo ricreazionale non è esagerato affermare che la psicofarmacologia pervade ampiamente la società moderna e ne determina molti comportamenti. Sul versante terapeutico, la chiusura dei manicomi in Italia e la radicale modificazione dell'assistenza psichiatrica sono una dimostrazione dell'impatto positivo, sia pure con qualche riserva, che gli psicofarmaci hanno sulla società. Sul versante delle sostanze di abuso, se nel secolo scorso il commercio dell'oppio fu causa di una guerra fra Gran Bretagna e Cina, oggi il commercio della cocaina condiziona la vita sociale e politica di alcune repubbliche sudamericane, e la repressione del contrabbando di eroina e cocaina richiede un impegno economico che diviene ogni giorno più gravoso da parte dell'Europa e degli Stati Uniti. Va inoltre rilevato il fatto che la grande criminalità organizzata e la microcriminalità cittadina, stimolate l'una dai profitti derivanti dal commercio illegale, l'altra semplicemente dalla necessità di procurarsi la dose quotidiana di droga, sono diventate il maggior problema per l'ordine pubblico in tutto il mondo.

Libri, articoli di giornali, siti su Internet forniscono informazioni sugli psicofarmaci, mentre il problema della liberalizzazione della marijuana e la scelta della linea di condotta più vantaggiosa per la comunità nei riguardi delle droghe più pericolose sono costantemente oggetto di discussioni a tutti i livelli politici, e si trascurano spesso i danni immediati o futuri per la salute a favore di posizioni liberistiche dettate da problemi contingenti. Sembra che la comunità umana sia sempre più alla ricerca di quella "droga perfetta [...] euforizzante, narcotica, piacevolmente allucinogena" immaginata negli anni trenta da Huxley (v., 1932) nel libro *Brave new world*.

Neurofarmacologia

Enciclopedia della Scienza e della Tecnica (2007)

di Leslie L. Iversen

La neurofarmacologia è una disciplina molto recente, nel pur giovane campo delle neuroscienze, e si interessa alla struttura chimica e agli effetti delle cosiddette 'sostanze psicoattive', ovvero di quelle molecole in grado di influenzare i meccanismi di funzionamento del cervello e, quindi, la mente e il comportamento. Esistono grosso modo due categorie di queste sostanze: da un lato, gli psicofarmaci, assunti per ottenere specifici effetti desiderabili nella cura di determinate patologie neuropsichiatriche; dall'altro, le cosiddette 'droghe' o 'sostanze

d'abuso', usate esclusivamente per gli effetti piacevoli che esse hanno sull'umore o per le sensazioni che inducono. Entrambe le categorie hanno una lunga storia: la morfina, principio attivo del papavero da oppio, è utilizzata come analgesico da migliaia di anni, mentre l'assunzione di alcol, la prima droga a uso 'voluttuario', è documentata già in età babilonese, circa 3000 anni fa.

Molte sostanze psicoattive possiedono una struttura chimica paragonabile a quella dei principali neurotrasmettitori e, infatti, nel corso del XX sec. sono stati ottenuti i progressi più importanti in questa disciplina, che ha grandemente beneficiato delle scoperte relative al funzionamento della sinapsi e alla natura e distribuzione, all'interno del sistema nervoso, delle diverse famiglie di neurotrasmettitori naturali. Se la morfina aveva a lungo rappresentato pressoché l'unica sostanza disponibile per il trattamento del dolore e di molte affezioni, nel corso del Novecento sono state introdotte diverse terapie nuove, a cominciare dall'aspirina, scoperta agli inizi del secolo, per finire con le nuove cure farmacologiche per le malattie del sistema nervoso. Nella seconda metà del XX sec. gli sforzi compiuti per alleviare i sintomi della schizofrenia, della depressione e dell'ansia hanno prodotto una vera e propria rivoluzione nel trattamento delle malattie mentali. L'utilizzo terapeutico di sostanze psicoattive è in continua ascesa, e queste costituiscono uno dei settori più importanti del mercato mondiale dei prodotti farmaceutici, benché agiscano per la maggior parte sui sintomi piuttosto che sulle cause delle malattie. Sfortunatamente, però, il Novecento ha visto anche un drammatico incremento dell'uso e dell'abuso di droghe quali Cannabis, anfetamina, eroina e cocaina, che vanno ad aggiungersi o a sostituirsi a quelle il cui utilizzo ha origini più antiche, quali alcol e nicotina.

La ricerca di base sui meccanismi molecolari responsabili del danneggiamento e della morte dei neuroni nelle malattie neurodegenerative sta avanzando a grandi passi, ed è probabile che presto saranno disponibili nuovi trattamenti sperimentali capaci di arrestare o persino di rendere reversibili i processi che originano tali malattie. Nel caso dell'Alzheimer, per esempio, gli studi più attuali puntano a sintetizzare sostanze che siano in grado di prevenire o di rendere reversibile quello che si pensa costituisca il passaggio chiave della patologia, ovvero il processo di deposito della proteina β -amiloide nel cervello. Inoltre, la sempre più approfondita conoscenza del genoma umano sta offrendo nuovi spunti per l'identificazione dei molti fattori genetici finora sconosciuti che influenzano l'esordio e il decorso delle patologie nervose e psichiatriche. Grazie a queste ricerche, potremo essere finalmente in grado di comprendere la natura di malattie come la schizofrenia e la depressione dal punto di vista biologico, e dunque di progettare farmaci che siano sempre più efficaci e possibilmente privi di effetti collaterali.

sommario

1. Il neurone come bersaglio delle sostanze psicoattive. 2. I meccanismi d'azione delle sostanze psicoattive. 3. Le sostanze psicoattive nel trattamento dei disturbi nervosi. 4. Droghe o 'sostanze d'abuso'. □ Bibliografia.

1. Il neurone come bersaglio delle sostanze psicoattive

Il cervello umano, l'organo più complesso dell'intero universo biologico, coordina e analizza tutti gli input sensoriali che riceve dal corpo e dagli organi di senso specifici; inoltre, in risposta a tali input, esso pianifica ed esegue le azioni appropriate. È composto da circa 10 miliardi di cellule nervose, i neuroni, che possiedono un corpo cellulare e un nucleo, come tutte le altre cellule, ma che hanno in aggiunta alcune parti che formano estesi prolungamenti. Queste fibre nervose, che si distinguono in dendriti (le terminazioni riceventi) e assoni (le terminazioni trasmettenti), possono essere lunghissime: gli assoni che connettono i neuroni del midollo spinale con i muscoli del piede, per esempio, sono lunghi più di un metro. I neuroni sono tutti in connessione fra loro, e comunicano tramite un doppio sistema di segnalazione, elettrico e chimico. Lungo l'intero corpo cellulare e i prolungamenti del neurone, una piccola differenza di potenziale elettrico tra l'interno e l'esterno della membrana cellulare si sposta fino ad arrivare alla porzione finale dell'assone, dove questo è in contatto (di solito) con il dendrite di un altro neurone: l'area di contatto funzionale tra un neurone e l'altro è chiamata sinapsi. Qui il segnale elettrico innesca una serie di meccanismi che portano al rilascio nella sinapsi stessa di una molecola chiamata neurotrasmettitore; questo, a sua volta, viene captato da specifici recettori posti sulla membrana del neurone postsinaptico o ricevente, innescando in esso una nuova serie di alterazioni elettriche del potenziale. Ogni neurone può stabilire migliaia di contatti sinaptici con le altre cellule nervose, e quasi tutte le sostanze psicoattive influenzano, in un modo o nell'altro, i meccanismi elettrici e chimici a livello della sinapsi.

L'azione delle sostanze psicoattive sul sistema nervoso può essere studiata a due diversi livelli di complessità. Innanzitutto, a livello molecolare, occorre scoprire come tali sostanze interagiscano con particolari molecole (di solito proteine) per alterare la fisiologia del neurone. È proprio a questo livello che negli ultimi anni sono stati registrati i progressi più importanti. In secondo luogo, a livello cellulare, gli effetti delle sostanze psicoattive sulla scarica elettrica del singolo neurone possono essere misurati utilizzando microelettrodi di registrazione; questo si ottiene in laboratorio con l'impiego di neuroni appartenenti a colture artificiali di tessuti o ad animali da esperimento anestetizzati. Tale approccio consente ai ricercatori di studiare l'azione di una sostanza a livello dei sistemi neuronali, per riuscire a capire, per esempio, in che modo i farmaci antiepilettici agiscano a livello cerebrale prevenendo l'attività elettrica disorganizzata che caratterizza la crisi.

2. I meccanismi d'azione delle sostanze psicoattive

I neuroni sono elettricamente carichi, e ciò consente loro di generare e trasmettere microimpulsi; questa peculiarità è dovuta alle differenze di concentrazione dei sali inorganici di sodio e potassio tra l'interno e l'esterno della cellula. Un meccanismo di pompa sodio-potassio (fig. 2), che si trova all'interno della membrana neuronale, trasporta ioni sodio all'esterno della cellula e mantiene all'interno elevati livelli di ioni potassio.

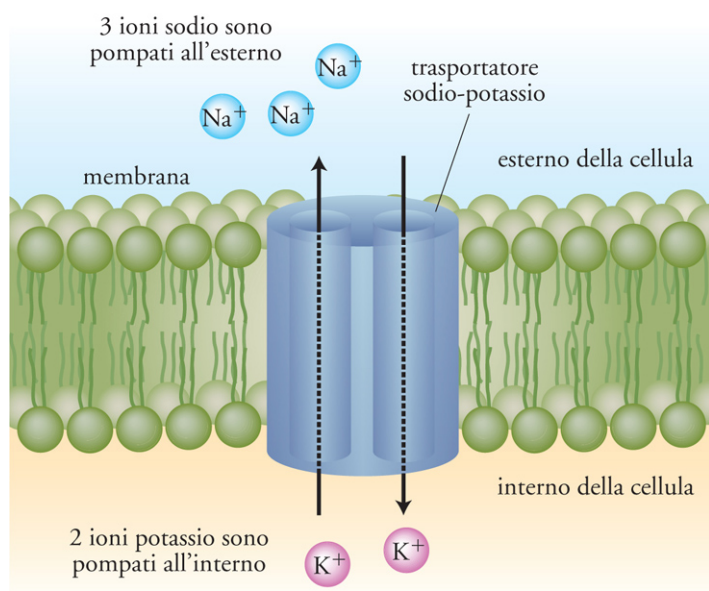


Fig. 2. Schema del meccanismo di pompa sodio-potassio.

Quando il neurone è eccitato, nella membrana si aprono speciali canali che consentono l'afflusso improvviso di ioni sodio carichi positivamente; ciò provoca nella cellula una momentanea scarica elettrica che, a sua volta, porta a una rapida fuoriuscita di ioni potassio carichi positivamente, ripristinando in tal modo la carica elettrica iniziale. I canali che consentono a sodio e potassio di attraversare la membrana sono composti da proteine particolari; esistono inoltre diverse altre proteine che formano i canali di membrana per gli ioni Ca^{2+} e Cl^- , i quali contribuiscono a modulare l'eccitabilità elettrica dei neuroni. Su questi meccanismi agiscono molte sostanze, come la tetrodotossina e la saxitossina, che bloccano il canale del Na^+ e quindi l'eccitazione del neurone, portando di conseguenza al blocco nervoso, alla paralisi muscolare e alla morte. Gli stessi canali del Na^+ , tuttavia, costituiscono il bersaglio degli anestetici locali affini alla cocaina, che vengono largamente utilizzati in chirurgia dentale e in altre operazioni minori allo scopo di bloccare temporaneamente la conduzione nervosa nel punto di applicazione. Proprio perché il blocco si produce esclusivamente a livello locale, queste sostanze non sono da considerare tossiche.

Per quanto concerne la trasmissione chimica delle informazioni, ovvero il rilascio e la successiva inattivazione dei neurotrasmettitori all'interno della sinapsi, sono state scoperte diverse famiglie di queste sostanze, e probabilmente il loro numero è destinato ad aumentare. Bisogna anche sottolineare che ogni neurotrasmettitore può agire su diversi tipi di recettori presenti sulle sue cellule bersaglio, eccitandone alcuni e inibendone altri. Per esempio, la serotonina (5-HT o 5-idrossitriptamina) agisce su non meno di quattordici diversi recettori, alcuni dei quali hanno costituito i bersagli chiave di importanti gruppi di farmaci finalizzati al trattamento dei disturbi mentali. Oltre ai neurotrasmettitori classici, esiste un'altra vasta famiglia di messaggeri chimici che è costituita dai neuropeptidi, un gruppo di molecole composte da brevi sequenze amminoacidiche, gli stessi che costituiscono le proteine. I neuropeptidi contengono da due a quaranta residui amminoacidici e ciascun peptide ha il suo specifico pattern di distribuzione nel cervello, nel midollo spinale e nel sistema nervoso periferico. Come i neurotrasmettitori, i neuropeptidi vengono rilasciati dalle terminazioni nervose e agiscono su specifici recettori dei neuroni bersaglio. Quelli morfinosimili, ossia encefaline ed endorfine, sono implicati nella modulazione della sensibilità dolorifica, e si ritiene che il peptide chiamato 'sostanza P', presente in alcuni nervi sensitivi, svolga un ruolo nella trasmissione del dolore.

I diversi meccanismi coinvolti nella segnalazione chimica costituiscono il bersaglio dell'azione di molte sostanze psicoattive. Alcuni composti (detti agonisti) hanno un tale grado di somiglianza chimica con i neurotrasmettitori naturali da riuscire a mimare l'azione esercitata da questi ultimi sui recettori. Altri (detti antagonisti) si legano invece al recettore del neurotrasmettitore bloccandone l'azione (fig. 4).

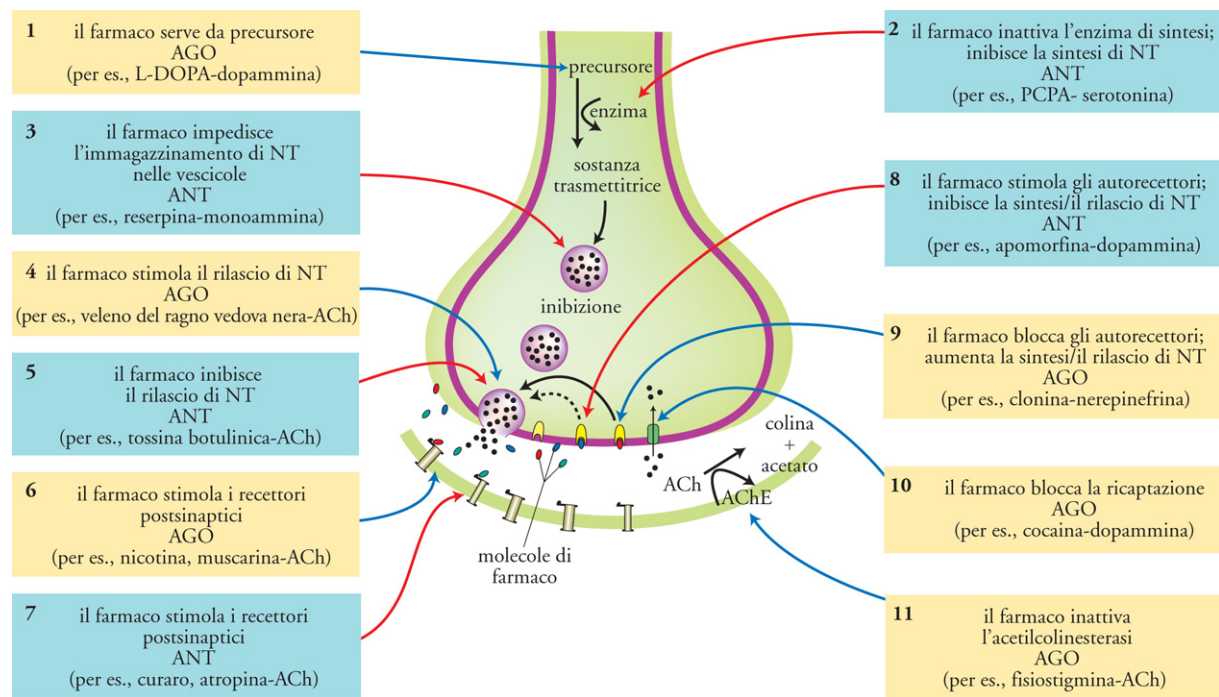


Fig. 4. Modalità in cui i farmaci interagiscono sulla trasmissione sinaptica. I farmaci che agiscono come agonisti sono segnati in blu. I farmaci che agiscono come antagonisti sono segnati in rosso. AGO = agonista; ANT = antagonista; NT = neurotrasmettitore.

Inoltre, le sostanze psicoattive possono agire interferendo con i meccanismi di rilascio dei neurotrasmettitori da parte delle terminazioni nervose. Un esempio tipico è costituito dalla tossina botulinica, che inibisce marcatamente il rilascio di acetilcolina nelle giunzioni neuromuscolari, causando la paralisi dei muscoli implicati nella respirazione e costituendo pertanto un veleno potente e mortale. A dispetto di ciò, negli ultimi anni essa ha trovato largo impiego in medicina. È stato scoperto, infatti, che iniettandone dosi estremamente basse nei muscoli è possibile calmare alcuni dei movimenti anomali e indesiderati che sono provocati da diverse condizioni neurologiche; i pazienti afflitti da continuo ciondolamento della testa, per esempio, riescono a trovare sollievo da questo sintomo per alcune settimane dopo un'iniezione della durata di un minuto di tossina botulinica nei muscoli del collo.

Un modo in cui le sostanze psicoattive possono invece potenziare la normale funzione sinaptica consiste nel bloccare i processi che di solito inattivano il neurotrasmettitore dopo la sua liberazione dalle terminazioni nervose. Talvolta questi processi sono costituiti dalla rapida degradazione metabolica del neurotrasmettitore da parte di un enzima: l'esempio classico è quello della rapida inattivazione da parte dell'enzima acetilcolinesterasi (AChE) dell'acetilcolina rilasciata nella giunzione neuromuscolare. Sono stati scoperti diversi inibitori di questo enzima, e alcuni di essi, per esempio il Sarin, sono stati impiegati come agenti per la guerra chimica. Il blocco praticamente completo e irreversibile dell'AChE da parte del Sarin e degli altri cosiddetti 'gas nervini' porta alla perdita completa della funzione neuromuscolare, in quanto il muscolo viene continuamente bombardato da acetilcolina che non può essere inattivata: seguono perciò rapidamente la paralisi muscolare e la morte. Di recente, tuttavia, sono stati sviluppati inibitori dell'AChE più blandi, che sono in grado di provocare un blocco soltanto parziale, e quindi reversibile, dell'enzima. Queste sostanze possono servire a potenziare gli effetti dell'acetilcolina nel cervello dei pazienti affetti da morbo di Alzheimer, in cui si riscontra tipicamente una parziale distruzione dei neuroni che contengono tale neurotrasmettitore. Un'altra modalità di inattivazione dei neurotrasmettitori liberati è basata sull'attività di uno speciale meccanismo 'a pompa' localizzato nella membrana delle terminazioni nervose; tale meccanismo, simile alla pompa sodio-potassio, serve a rimuovere e riciclare il neurotrasmettitore tramite un processo detto di ricaptazione. Esistono diverse 'pompe' (proteine trasportatrici) che costituiscono il bersaglio di vari farmaci. In particolare, agiscono in questo modo tutti i moderni antidepressivi, che bloccano la ricaptazione della noradrenalina o della serotonina (e talvolta di entrambe).

3. Le sostanze psicoattive nel trattamento dei disturbi nervosi

Epilessia

Le epilessie sono gravi malattie che nei Paesi occidentali colpiscono approssimativamente l'1% della popolazione. Ne esistono diversi tipi: le forme più gravi comportano convulsioni, perdita di coscienza e crisi cicliche, quelle più lievi e transitorie consistono nella sola sospensione della coscienza. Sebbene oggi si riesca a controllarla ampiamente, questa patologia resta piuttosto grave in quanto impedisce spesso agli individui di completare la propria istruzione o di lavorare. Le crisi epilettiche derivano da scariche ritmiche incontrollate dell'attività elettrica cerebrale, ed esse sono il riflesso di un cattivo funzionamento dei sistemi regolatori cerebrali che normalmente prevengono simili squilibri nei meccanismi di controllo eccitatorio e inibitorio. Tuttavia, i meccanismi patogenetici responsabili dello sviluppo dell'epilessia umana sono ancora oggi scarsamente compresi e in gran parte incurabili. I farmaci attualmente disponibili, che aiutano a limitare o prevenire le crisi, servono per il trattamento sintomatico ma non guariscono la malattia.

I primi farmaci efficaci utilizzati nella cura dell'epilessia sono stati i barbiturici (tab. 1), che agiscono potenziando gli effetti del neurotrasmettitore inibitorio GABA (acido γ -amminobutirrico); essi sono tuttavia pericolosi, in quanto potenzialmente letali, e perciò sono stati largamente sostituiti da un gruppo di farmaci antiepilettici più moderni e sicuri. Questi ultimi agiscono fondamentalmente in due modi: potenziando anch'essi gli effetti del GABA, oppure interferendo con i canali del Na^+ e dunque con la conduzione dell'impulso nervoso.

Tab. I Neurotrasmettitori e loro recettori

NEUROTRASMETTITORE	RECETTORI*	DROGHE TIPICHE	NEUROFARMACOLOGIA
acetilcolina	muscarinico (5) nicotinico (4)	atropina [antagonista] donezepil [potenziatore] nicotina [agonista] gallamina [antagonista]	- morbo di Alzheimer fa smettere di fumare rilassante muscolare
adenosina	purinergico P1(4)	caffaina [antagonista]	blando stimolante
ATP (adenosintrifosfato)	purinergico P2X(7) P2Y(7)	suramina [antagonista]	non ancora nota
dopamina	dopamina (5)	L-DOPA [precursore] clorpromazina [antagonista]	morbo di Parkinson schizofrenia
GABA (acido γ -aminobutirrico)	GABA-A (<20) GABA-B	diazepam [potenziatore del GABA] barbiturici [potenziatore del GABA] baclofen [agonista]	panico/ansia spasticità epilessia
acido L-glutammico	NMDA (molti) AMPA (molti)	chetamina [antagonista]	anestetico
glicina	glicina (alcuni)	stricnina [antagonista]	convulsivante [veleno]
istamina	istamina (3)	mepiramina [antagonista] ranitidina [antagonista]	sedativo
monossido di azoto (NO)	diverse azioni	gliceriltrinitrato [potenziatore]	-
noradrenalina (norepinefrina)	α -adrenergico (6) β -adrenergico (4)	atenololo [antagonista] salbutamolo [agonista]	ansia
serotonina (5-idrissitriptamina)	5-HT (149)	sumatriptano 5-HT-1D [agonista] odansetron 5-HT-3 [antagonista]	emicrania antiemetico

* I diversi sottotipi noti per ciascun recettore sono indicati dai numeri tra parentesi

Malattie degenerative cerebrali

Queste malattie sono caratterizzate da una perdita di neuroni, in specifiche regioni cerebrali, che è progressiva e definitiva in quanto il cervello adulto è in larga parte incapace di generare neuroni che sostituiscano quelli morti. Nelle diverse malattie specifiche sono coinvolte differenti popolazioni neuronali, ma il meccanismo patologico responsabile di tali danni selettivi resta in gran parte sconosciuto. Nel morbo di Parkinson si verifica la perdita progressiva di una popolazione relativamente piccola di neuroni che utilizzano dopamina come neurotrasmettitore e che sono fondamentali per iniziare ed eseguire i movimenti volontari; il morbo di Alzheimer è invece caratterizzato da una perdita progressiva di cellule nervose in ampie regioni della corteccia, ovvero della parte più evoluta e complessa del cervello.

La scoperta che i sintomi del morbo di Parkinson sono dovuti a una perdita selettiva dei neuroni contenenti dopamina ha portato a utilizzare la L-DOPA (levodopa) che, in quanto precursore naturale da cui viene sintetizzata la dopamina cerebrale, è in grado di trattare efficacemente i sintomi della malattia. A differenza

della dopamina, la L-DOPA penetra agevolmente la barriera ematoencefalica, che è uno strato di cellule protettivo semipermeabile posto tra il cervello e il circolo sanguigno, e arriva quindi ai neuroni, dove viene convertita in dopamina ripristinando in tal modo il giusto livello di neurotrasmettitore. Questo trattamento si è dimostrato molto efficace su milioni di pazienti, consentendo loro di riguadagnare la capacità di eseguire movimenti almeno per una parte della giornata, anche se, a mano a mano che la perdita dei neuroni dopaminergici progredisce, la L-DOPA tende a perdere efficacia. Per il trattamento del morbo di Parkinson vengono utilizzati anche agonisti diretti dei recettori dopaminergici cerebrali, come per esempio la bromocriptina e il pergolide.

Il morbo di Alzheimer rappresenta la forma più comune di demenza e la sua incidenza sta aumentando vertiginosamente. Esso porta a una massiccia perdita di neuroni corticali e danneggia anche strutture cerebrali più profonde. Come per le altre malattie degenerative, il meccanismo responsabile è poco conosciuto. Nel morbo di Alzheimer, quantità anomale di una sostanza insolubile, nota come 'proteina β -amiloide', si depositano in milioni di piccoli punti focali, detti 'placche senili', che finiscono con il distruggere i neuroni. I trattamenti attualmente in uso hanno lo scopo di ridurre la formazione di proteina β -amiloide nel cervello o di coadiuvare la rimozione dei depositi già formati. Le medicine di cui attualmente disponiamo sono assai poche e trattano soltanto i sintomi di perdita della memoria e riduzione delle capacità cognitive. Da questa malattia è particolarmente colpito un sistema di neuroni che utilizza acetilcolina, ed è inibendo il catabolismo di tale neurotrasmettitore da parte dell'enzima acetilcolinesterasi che agiscono i farmaci di cui ci si avvale attualmente, quali il donepezil o la rivastigmina: essi servono a rendere disponibile una maggiore quantità di neurotrasmettitore per la funzione sinaptica cerebrale.

Dolore

Il dolore è un meccanismo biologico di difesa che avverte l'organismo in caso di ferite o di danni tessutali di maggiore durata. I processi nervosi coinvolti nella percezione del dolore sono complessi e, prima che la sensazione dolorifica venga percepita a livello della corteccia cerebrale, le informazioni – trasportate da fibre nervose altamente specializzate – sono processate da numerosi centri nervosi sottocorticali. La sensibilità al dolore non è costante ma modificabile, al livello di queste stazioni di elaborazione, da parte di altri meccanismi. Degno di nota, tra gli altri, è il ruolo giocato dalle endorfine, sostanze chimiche simili alla morfina che esercitano un effetto inibitorio sulle sinapsi cerebrali e spinali che processano l'informazione dolorifica. Anche l'eccitabilità dei neuroni sensitivi periferici deputati alla percezione del dolore non è costante: in risposta a ferite o infiammazioni essi possono diventare centinaia di migliaia di volte più sensibili del normale. È per questo che, per esempio, su una gamba ferita anche il tocco più lieve può provocare un dolore intenso. Tale fenomeno, ancora scarsamente compreso, è stimolato da mediatori chimici che vengono

rilasciati dai globuli bianchi e da altri componenti coinvolti nel processo infiammatorio-riparativo che segue il prodursi di una ferita o di un'infezione. Molte forme di dolore importanti dal punto di vista medico derivano da una sensibilizzazione a lungo termine di questo tipo.

Gli anestetici generali vengono utilizzati nelle sale operatorie degli ospedali. In molti casi si tratta di gas che vengono somministrati per inalazione, come per esempio l'alotano o il monossido di azoto (il cosiddetto 'gas esilarante'), e il vantaggio di questa procedura è nel fatto che i gas sono assorbiti molto velocemente dall'ampia superficie polmonare, cosicché il loro effetto si manifesta in pochi minuti. Come alternativa all'inalazione, molti anestetici generali vengono somministrati per iniezione endovenosa. Essi sono stati progettati per avere una durata d'azione molto breve, e vengono infatti rapidamente rimossi dal circolo sanguigno tramite il metabolismo o perché si separano nelle riserve di grasso; ciò significa che l'anestesista può esercitare un controllo capillare sulla profondità dell'anestesia variando la velocità dell'iniezione. Questi agenti includono barbiturici ad azione breve (quali il tiopental e il methohexital) e chetamina.

Per quanto riguarda il meccanismo d'azione degli anestetici, le ricerche più recenti suggeriscono che essi agiscono a diversi livelli del sistema nervoso. Molti aumentano la sensibilità dei neuroni al neurotrasmettitore inibitorio GABA, assai diffuso nel cervello. Altri (per es., la chetamina) agiscono soprattutto bloccando l'azione del principale neurotrasmettitore eccitatorio, il glutammato. Non è chiaro quale regione cerebrale sia cruciale per l'anestesia, ma molti ritengono che un bersaglio chiave sia costituito dal talamo, una struttura sottocorticale che funge da importante stazione di elaborazione preliminare degli input sensoriali diretti alla corteccia. A differenza di quelli generali, tutti gli anestetici locali agiscono bloccando la conduzione nervosa: essi interferiscono infatti con i canali per il Na⁺, che sono essenziali per la propagazione dell'impulso elettrico. I farmaci più largamente utilizzati a questo scopo sono costituiti da molecole analoghe alla cocaina, un composto naturale impiegato come anestetico locale già nel XIX secolo. Esse includono la lidocaina e la tetracaina, che generalmente vengono somministrate per iniezione locale.

A differenza dagli anestetici, che vengono utilizzati per provocare uno stato temporaneo di incoscienza e insensibilità al dolore, gli analgesici servono a trattare il dolore di tipo cronico in svariate condizioni patologiche. La morfina e le molecole affini (dette 'oppiacei') sono i farmaci più potenti attualmente disponibili per il trattamento delle forme gravi di dolore, per esempio in ambito oncologico. La morfina è una sostanza naturale ricavata dal papavero da oppio, e viene utilizzata in medicina da migliaia di anni. Agisce sui recettori degli oppiacei, che sono presenti nel cervello e nel midollo spinale e che costituiscono il normale bersaglio delle endorfine. Negli ultimi anni, i nuovi metodi di somministrazione della morfina tramite compresse a rilascio controllato hanno indicato che un buon controllo del dolore può essere ottenuto anche assumendo il farmaco soltanto una volta o due al giorno, anziché ogni quattro ore come prescritto in precedenza. Il timore di indurre nel paziente una tossicodipendenza, tuttavia, limita l'utilizzo terapeutico di

questa sostanza, sebbene sia scarsamente provato che essa o altri oppiacei portino ad abuso e dipendenza nei pazienti che li ricevono come trattamento in un contesto medico altamente controllato.

Tra i farmaci che vengono impiegati in condizioni dolorose non troppo gravi, il gruppo più importante è quello dei composti affini all'aspirina noti come 'farmaci antinfiammatori non steroidei' (FANS). L'aspirina è stata scoperta nel 1898 come derivato chimico dell'acido salicilico, un componente naturale della corteccia del salice utilizzato dalla medicina erboristica, ed è divenuta il farmaco di maggior successo del XX secolo. Il suo meccanismo d'azione comporta l'inibizione di un passaggio chiave del processo che si verifica in seguito a ferite o infezioni, poiché previene la sintesi delle prostaglandine, che sono importanti mediatori delle reazioni infiammatorie, e riduce la sensibilità dolorifica dei nervi sensitivi. Agisce inoltre a livello del sistema nervoso centrale, diminuendo la febbre associata alle malattie infettive. Dopo la scoperta dell'aspirina sono stati sintetizzati numerosi altri FANS più potenti. Essi sono largamente impiegati per trattare le condizioni di dolore infiammatorio cronico, come quello alle articolazioni di coloro che soffrono di artrite e reumatismi, e i più utilizzati sono l'indometacina, l'ibuprofene e il ketorolac. Il paracetamolo è uno degli antidolorifici di uso domestico più largamente utilizzati come blando analgesico acquistabile senza prescrizione medica.

Sfortunatamente, però, tutti i FANS comportano alcuni effetti collaterali da tenere in seria considerazione: per esempio, essi possono irritare il rivestimento interno dello stomaco e dell'intestino fino a provocarne il sanguinamento incontrollato, e il paracetamolo può causare danni irreversibili al fegato.

Farmaci psichiatrici

Nella seconda metà del XX sec., la scoperta di farmaci che alleviavano i sintomi principali dei disturbi emotivi e del comportamento ha portato a un cambiamento radicale del modo di trattare la schizofrenia, la depressione e l'ansia. La svolta decisiva è arrivata negli anni Cinquanta con la scoperta della clorpromazina, primo trattamento dimostratosi efficace contro i sintomi caratteristici della schizofrenia (deliri di persecuzione o di grandezza, allucinazioni, ecc.). La clorpromazina è stata largamente utilizzata, e le ha fatto seguito una serie di farmaci di efficacia simile la cui somministrazione non richiede il ricovero del paziente. Dal punto di vista scientifico, un importante passo avanti per la comprensione del modo in cui le sostanze impiegate per la cura della schizofrenia agiscono a livello cerebrale è stato fatto con la scoperta che esse hanno tutte come bersaglio un recettore della dopamina. Questo messaggero chimico è utilizzato nelle aree del cervello che sono deputate alle funzioni cognitive più elevate, e nei centri che elaborano le emozioni e le sensazioni di gratificazione che seguono l'arrivo di una ricompensa. Esso è inoltre attivo nel corpo striato, dove è coinvolto nel controllo dei movimenti volontari, come mostrato dal caso del morbo di Parkinson. Poiché gli agenti antischizofrenici bloccano la funzione della dopamina in tutte le aree del cervello, essi tendono inevitabilmente a causare effetti collaterali simili ai sintomi del morbo di Parkinson, ovvero rigidità, tremore e

scarso controllo dei movimenti. È stata, tuttavia, recentemente introdotta una nuova generazione di farmaci, quella dei cosiddetti 'antipsicotici atipici', che pur mantenendo inalterata la loro efficacia mostrano una tendenza ridotta a provocare tali effetti indesiderati. Essi combinano la capacità di bloccare i recettori cerebrali della dopamina con un'azione secondaria sui recettori della serotonina che sembra essere decisamente efficace.

Un altro passo decisivo è stato fatto con la scoperta dei primi antidepressivi efficaci. Anche questi farmaci sono stati rapidamente somministrati a milioni di persone con effetti benefici. Sfortunatamente, però, i composti di prima generazione – ovvero l'imipramina, l'amitriptilina e altri, denominati nel loro insieme 'antidepressivi triciclici' – hanno potenzialmente effetti collaterali pericolosi sul cuore se somministrati in dosi eccessive. Poiché i pazienti affetti da depressione hanno spesso tendenze suicide, i triciclici hanno causato numerosi decessi per sovradosaggio. Una nuova generazione di farmaci più sicuri, introdotti nel 1990 e rappresentati dalla fluoxetina, ha pertanto costituito un ulteriore progresso. Tutti gli antidepressivi agiscono bloccando la ricaptazione del neurotrasmettitore a livello della sinapsi, ovvero inibiscono i meccanismi delle proteine di trasporto (o trasportatori) che hanno il compito di porre termine all'azione di segnalazione. Alcuni di questi farmaci hanno come bersaglio sia i trasportatori della noradrenalina sia quelli della serotonina, mentre altri (i cosiddetti 'inibitori selettivi della ricaptazione della serotonina', o SSRI) agiscono soltanto sui secondi. Tali sostanze, inoltre, si sono rivelate utili anche per il trattamento di altre condizioni psichiatriche, come la bulimia nervosa, il disturbo da stress post-traumatico, la fobia sociale, i disturbi ossessivo-compulsivi e la sindrome premestruale.

L'avvento delle benzodiazepine – la famiglia di tranquillanti cui appartiene il diazepam – ha notevolmente facilitato il trattamento dei pazienti ansiosi e di quelli che soffrono di attacchi di panico. A livello cerebrale, questi farmaci potenziano la risposta dei neuroni al neurotrasmettitore inibitorio GABA: l'aumento del tono inibitorio che segue l'assunzione di dosi moderate ha un effetto calmante e rilassante. In dosi più elevate le benzodiazepine inducono il sonno, e vengono infatti utilizzate per trattare l'insonnia. Col diffondersi del loro uso, tuttavia, si è scoperto che, se assunte per periodi di tempo prolungati, esse possono portare a una forma di dipendenza. È probabile che i pazienti trovino difficile smettere di assumere i tranquillanti in quanto l'interruzione induce spiacevoli sintomi da astinenza, tra cui un aumento dei livelli di ansia, inquietudine, agitazione e disturbi del sonno.

4. Droghe o 'sostanze d'abuso'

Una droga o 'sostanza d'abuso' è una molecola i cui effetti sono talmente gratificanti da facilitarne l'uso eccessivo in termini sia di quantità sia di frequenza di assunzione, a dispetto di effetti collaterali spesso gravi.

L'alcol è la più antica e diffusa di tutte le droghe. Nella maggior parte dei Paesi occidentali, più dell'80% della popolazione adulta ammette di averlo provato e circa il 50% ne fa un uso regolare. Non si sa esattamente in che modo l'alcol agisca a livello cerebrale, producendo inizialmente uno stato di eccitazione e successivamente uno di sedazione. È noto tuttavia che esso stimola l'azione del GABA, il principale neurotrasmettitore inibitorio, e blocca parzialmente quella del glutammato, il principale neurotrasmettitore eccitatorio. Inoltre, la piacevolezza degli effetti dell'alcol sembra essere dovuta in parte alla sua capacità di stimolare i meccanismi cerebrali degli oppiacei – gli stessi che sono stimolati più direttamente e violentemente dall'eroina.

La nicotina è la droga presente nel tabacco e la sostanza responsabile della sua gradevolezza, la quale, secondo i fumatori, consiste nella facilitazione della concentrazione e nella sedazione dell'ansia. Nel cervello la nicotina agisce sui recettori dell'acetilcolina, le cui vie nervose hanno, tra le altre, la funzione di agire come un sistema di allerta o di attivazione fisiologica (detta arousal) degli emisferi cerebrali. Il tabagismo è pericoloso a causa delle molte sostanze chimiche che sono presenti nel fumo e che vengono rapidamente assorbite dal sangue attraverso i polmoni: nei Paesi sviluppati sono ascrivibili a esso quasi il 25% dei decessi nella popolazione maschile e il 17% in quella femminile. Il motivo per cui molte persone continuano a fumare nonostante i rischi ben noti è che diventano rapidamente dipendenti dalla nicotina, la quale, benché le industrie del tabacco lo abbiano finora strenuamente negato, costituisce una potente droga in grado di dare assuefazione. Il trattamento più efficace per chi cerca di smettere consiste nella somministrazione di nicotina per vie alternative, quali le gomme da masticare, i cerotti da applicare sulla pelle o gli spray nasali. Anche con questi ausili, tuttavia, circa l'80% dei fumatori che cercano di smettere ricade nell'abitudine entro sei mesi; senza di essi, la percentuale è del 90%.

La caffeina è la sostanza debolmente stimolante che si trova in bevande come caffè, tè e alcune bibite analcoliche, ed è una delle droghe più largamente e frequentemente consumate al mondo. A livello mondiale si stima che se ne assumano circa 70 mg per persona al giorno; una tazza di tè contiene in media circa la metà di questa dose, e una Coca-Cola ne fornisce circa 50 mg. Numerosi studi effettuati su soggetti umani confermano che la caffeina aumenta significativamente la prontezza mentale e diminuisce l'affaticamento; in particolare, essa migliora le prestazioni in compiti che, sebbene di facile esecuzione, richiedono il mantenimento di un'attenzione costante nel tempo, e il suo effetto è più pronunciato nei casi in cui l'attenzione è ridotta in seguito a stanchezza. A livello sinaptico, questa droga agisce come antagonista del recettore dell'adenosina, la quale è a sua volta implicata nella regolazione del rilascio di svariati altri messaggeri chimici. L'effetto stimolante della caffeina può essere ricondotto al fatto che essa, bloccando la normale azione frenante dell'adenosina, promuove un incremento del rilascio di acetilcolina e dopamina, entrambe dotate di un effetto stimolante delle funzioni cerebrali.

La Cannabis (chiamata anche 'marijuana') è la sostanza d'abuso più largamente utilizzata. Nella maggior parte dei Paesi occidentali, non meno del 40% delle persone tra i 15 e i 50 anni ammette di averla provata almeno una volta e una percentuale tra il 10 e il 15% ne fa uso regolarmente. La definizione di 'uso regolare', tuttavia, copre un ambito molto ampio, che va da coloro che la assumono ogni giorno a coloro che se la concedono una volta al mese o anche meno. Il termine marijuana designa le foglie e i fiori essiccati di diverse varietà della specie *Cannabis sativa*, il cui principio attivo più importante è il δ -9-tetraidrocannabinolo (THC). Quando la marijuana viene fumata il THC arriva rapidamente al cervello. Esso viene assunto anche per bocca, ma si tratta di una via meno affidabile: l'assorbimento è lento (sono necessarie almeno 3-4 ore per raggiungere il picco di concentrazione nel sangue) e il consumatore non può esercitare alcun controllo sulla quantità assunta, rischiando dunque una overdose o, al contrario, di fermarsi a livelli inferiori alla dose efficace. Gli effetti acuti della Cannabis non sono diversi da quelli dell'alcol: coloro che ne fanno uso provano sollievo dall'ansia e spesso ridono senza controllo. Un effetto caratteristico consiste nella distorsione del senso del tempo, per cui un minuto sembra facilmente molto più lungo di quello che è. A dosi elevate la cannabis può indurre deliri, allucinazioni o altri disturbi del pensiero. La scoperta più importante per quanto concerne il suo meccanismo d'azione è stata quella di uno specifico recettore in grado di riconoscere il THC. Benché questa sostanza chimica sia presente soltanto nella pianta, i neuroni possiedono il recettore specifico in quanto il cervello contiene e rilascia propri neurotrasmettitori che sono simili al principio attivo della Cannabis e che attivano quel recettore in condizioni normali. Uno di essi è per esempio l'anandamide, la cui etimologia in sanscrito significa 'estasi'. Non è chiaro quale sia la normale funzione fisiologica di questo cannabinoide, ma i risultati degli studi indicano che potrebbe avere un ruolo importante nella modulazione della sensibilità al dolore.

L'anfetamina è stata una delle prime droghe di uso voluttuario a essere prodotta artificialmente. Fu immessa sul mercato inizialmente nel 1920 come decongestionante nasale (benzedrina), ma venne utilizzata anche in medicina per il trattamento dell'asma e come sostanza anoressizzante per combattere l'obesità. Si tratta tuttavia di un potente stimolante, e i pesanti effetti collaterali che provoca hanno finito per limitarne l'utilità clinica. L'abuso di anfetamina produce sintomi che ricordano un episodio acuto di schizofrenia, anche se, fortunatamente, essi risultano reversibili quando l'uso viene interrotto. Non a caso, questa sostanza agisce nel cervello aumentando in modo anormale la velocità di rilascio della dopamina. I pazienti con il morbo di Parkinson che ricevono un iperdosaggio di L-DOPA possono sperimentare effetti collaterali di tipo psicotico, anch'essi dovuti a un eccesso di tale neurotrasmettitore. Il verificarsi delle 'psicosi da anfetamina' nei tossicodipendenti ha contribuito a puntare l'attenzione sulla dopamina come fattore chiave per comprendere la schizofrenia e per scoprire che l'efficacia dei farmaci antischizofrenici è basata proprio sul blocco della sua azione. Paradossalmente, l'anfetamina e altre sostanze simili a essa, come il metilfenidato, sono risultate utili per il trattamento del Disturbo da deficit di attenzione e iperattività (DDAI). I bambini che ne sono affetti si

muovono in continuazione e non riescono a dedicarsi a nulla se non per brevi periodi di tempo; di conseguenza, essi incontrano difficoltà a scuola e le loro prestazioni risultano mediocri anche in seguito, all'università. Benché non vi siano dubbi sul fatto che l'anfetamina e il metilfenidato migliorino le capacità di concentrazione e di apprendimento di alcuni bambini, è attualmente in corso un acceso dibattito sul fatto che queste molecole possano essere prescritte con troppa facilità.

L'LSD (diethylamide dell'acido lisergico) è una sostanza d'abuso molto potente e popolare. Nel cervello, essa influisce pesantemente sull'attività di particolari recettori serotoninergici, provocando gravi distorsioni percettive e allucinazioni. Le prove che il suo uso continuativo produca dipendenza sono limitate, ma possono verificarsi degli effetti negativi. Non tutte le esperienze con l'LSD sono piacevoli e un'assunzione in condizioni non favorevoli può diventare assai sgradevole e terrorizzante.

L'eroina, pur essendo un derivato chimico sintetico della morfina, è più potente del suo precursore, perché passa più rapidamente dal circolo sanguigno nel cervello, dove attiva i recettori degli oppiacei. Gli eroinomani descrivono come fortemente piacevole lo stato di intensa euforia che segue l'iniezione endovenosa e ciò rende altamente probabile che il consumatore sviluppi una dipendenza fisica. L'astinenza da eroina corrisponde a sensazioni notevolmente sgradevoli ed è potenzialmente pericolosa per la vita stessa. Alla sintomatologia fisica – costituita da diarrea, crampi dolorosi allo stomaco, cefalea, nausea, vomito e convulsioni – si accompagna il desiderio spasmodico di assumere una nuova dose. Il trattamento della dipendenza si avvale di solito della somministrazione di un oppiaceo sostitutivo, il metadone, che si assume per bocca, viene assorbito lentamente e ha effetti duraturi nel tempo. Esso aiuta a far cessare l'intenso desiderio di eroina senza tuttavia offrire la corrispondente sensazione euforizzante. Sebbene l'uso clinico del metadone abbia dato alcuni buoni risultati, rimane un arduo compito quello di convincere gli eroinomani a smettere di drogarsi. Per scoraggiare le ricadute si è dimostrato di una certa utilità il naltrexone, che impedisce agli effetti piacevoli della droga di verificarsi.

Analogamente alla morfina, la cocaina è un composto che si ottiene da una pianta, la coca, un arbusto che cresce sulle Ande. Masticare foglie di coca è da secoli una radicata abitudine delle culture sudamericane: le foglie contengono una modesta quantità di principio attivo, inducono una sensazione di benessere, riducono la fame e aumentano la resistenza in ambienti spesso difficili. I cocainomani occidentali, invece, assumono questa droga in una forma pura e assai più potente: la aspirano di solito con il naso sotto forma di polvere bianca, e questa modalità di assunzione ne facilita il rapido assorbimento da parte del circolo sanguigno. Coloro che hanno sperimentato l'euforia da cocaina la descrivono come il più intenso di tutti i piaceri indotti da una droga. Essa è spesso seguita, tuttavia, da una profonda depressione del tono dell'umore e da un persistente desiderio di assumere un'altra dose per superare questo stato d'animo. Il tossicodipendente può perdere ogni altra motivazione che non sia quella di procurarsi la droga e per ottenerla può arrivare a

commettere gravi reati. Nel cervello, la cocaina agisce provocando un aumento sia di serotonina che di dopamina, in quanto inibisce i trasportatori che sono responsabili della ricaptazione di questi messaggeri chimici. Tale azione farmacologica combinata produce l'effetto stimolante e di attivazione cerebrale tipico dell'anfetamina insieme all'elevazione del tono dell'umore tipico degli antidepressivi.

EFFETTO PLACEBO E NOCEBO

XXI Secolo (2010)

di Fabrizio Benedetti

Effetto placebo e nocebo

Un placebo è una sostanza inerte o un trattamento medico senza alcuna proprietà terapeutica, mentre l'effetto placebo, o risposta placebo, è la conseguenza della sua somministrazione. Tale effetto consiste in un cambiamento organico o mentale collegato al significato simbolico attribuito a un evento o a un oggetto in ambito sanitario. È importante sottolineare che l'effetto placebo è dovuto al contesto psicosociale nel quale si trova il paziente sottoposto a terapia ed è costituito da qualsiasi oggetto o persona in relazione con il trattamento, capace di 'comunicare' al paziente che si sta effettuando una terapia e che quindi si prevede una riduzione dei sintomi nel prossimo futuro. Per misurare l'effetto placebo occorre escludere una serie di fattori che nulla hanno a che fare con l'effetto placebo reale (Benedetti 2008).

Infatti il miglioramento clinico osservato dopo la somministrazione di un placebo (come anche in seguito a qualsiasi terapia) può essere dovuto a fattori del tutto estranei all'effetto placebo reale. La remissione spontanea di un sintomo, per es., è un evento molto comune, ed è necessario escluderla mediante lo studio di un gruppo che non riceve alcun trattamento, il cosiddetto gruppo storia naturale. La differenza fra il gruppo che non è sottoposto ad alcun trattamento e quello che riceve il placebo rappresenta l'effetto placebo reale. Un altro fattore da escludere è la regressione verso la media, un fenomeno statistico dovuto al fatto che i pazienti tendono a ricevere la loro prima valutazione clinica quando un sintomo, come il dolore, o un parametro fisiologico, per es., la glicemia, sono vicini al loro massimo valore, e che tale valore tende a essere minore quando il paziente torna per una seconda valutazione. Anche in questo caso, la riduzione del sintomo non è dovuta al tipo di intervento a cui il paziente può essere stato sottoposto (per es., un placebo). Altri fattori che possono determinare un miglioramento sono l'ambiguità del sintomo stesso (spesso si ha solo un'impressione

soggettiva di una sua lieve riduzione), la tendenza del paziente a compiacere il medico, il possibile effetto di concause non identificate, per es. una dieta particolare che il paziente sta seguendo all'insaputa del medico.

Tutto ciò è vero non solo in ambito farmacologico, ma anche per le procedure chirurgiche e le terapie psicologiche. Se questi fattori non vengono esclusi e alcune regole metodologiche fondamentali non sono seguite, si rischia di incorrere nell'errore di confondere altri fenomeni con il vero effetto placebo, o risposta placebo, che è invece un fenomeno psicobiologico in grado di coinvolgere meccanismi molto complessi a livello cerebrale. Anche nell'ambito dello stesso effetto placebo, inoltre, come verrà descritto in seguito, vi sono numerosi altri meccanismi cerebrali che ne costituiscono la base: per es., l'aspettativa del miglioramento clinico, la riduzione dell'ansia, l'apprendimento e la memoria, nonché determinati fattori genetici. Ne consegue che non esiste un solo effetto placebo, ma molti che avvengono con differenti meccanismi e in altrettanto diversi sistemi e apparati dell'organismo.

Modulazione cognitiva ed emotiva del dolore

Tra l'ultima decade del 20° sec. e la prima del 21°, la risposta placebo, e in particolare l'analgesia da placebo, è stata utilizzata come modello per comprendere meglio vari meccanismi cerebrali. In particolare, lo studio dell'effetto placebo si è rivelato molto utile per comprendere la modulazione cognitiva ed emotiva dei sintomi, con particolare riguardo al dolore, e per descrivere i meccanismi neurobiologici, biochimici e cellulari-molecolari di processi cerebrali complessi. È da tempo noto, per es., che l'esperienza globale del dolore varia in base alla situazione in cui si trova il soggetto. Infatti, uno stimolo dolorifico somministrato a un soggetto che si trova in stato di riposo provoca una reazione diversa da quella ottenuta tramite una stimolazione dolorifica applicata in condizioni di stress. Esiste un fenomeno, che va sotto il nome di analgesia da stress, il cui esempio più tipico è rappresentato da un soldato a cui scoppia una granata sotto i piedi, tranciandogli una gamba. Il soldato cercherà come prima cosa di raggiungere la trincea e solo quando sarà al sicuro comincerà a sentire dolore al moncone rimasto. Analogamente, un animale ferito da un predatore cercherà subito di scappare e di raggiungere un rifugio. Solo quando lo avrà raggiunto sentirà dolore e si leccerà la ferita. Il significato evolutivistico è chiaro: al fine di sopravvivere, in certe situazioni è dannoso sentire dolore; di conseguenza, una situazione di stress è in grado di attivare sistemi inibitori endogeni che bloccano la trasmissione dolorifica. Nell'uomo tale tipo di inibizione avviene mediante l'attivazione di sistemi oppioidi.

Dal momento che diversi fattori psicologici possono influenzare il dolore in modo anche drammatico, questo fatto riveste un significato particolare in ambito clinico. Dolori di uguale intensità possono essere percepiti in

maniera diversa a seconda del connotato emotivo che viene loro attribuito: un dolore da cancro che fa prevedere la morte o il peggioramento clinico della malattia è percepito in modo diverso da quello postoperatorio, di pari intensità, poiché in quest'ultimo caso l'individuo ha una prospettiva di guarigione. Oggi è noto che tutti questi meccanismi di modulazione giocano un ruolo fondamentale nell'effetto placebo, il quale ha così assunto un'importanza particolare all'inizio del 21° sec. rispetto agli anni precedenti. Infatti, fino alla fine del 20° sec., il placebo è stato considerato come un metodo di controllo nella sperimentazione clinica, in cui la terapia in fase di valutazione deve essere paragonata a un placebo. Se la terapia sotto test funziona meglio del placebo, vi è una certa sicurezza che sia efficace. Ragionando in questi termini, sia gli sperimentatori medici sia le case farmaceutiche hanno sempre focalizzato la loro attenzione sulla superiorità della terapia rispetto al placebo, senza chiedersi il motivo per il quale i pazienti che ricevono una sostanza priva di azione terapeutica (il placebo), per es. acqua o una zolletta di zucchero, spesso mostrano un miglioramento clinico.

Attualmente, invece, ci si chiede che cosa succede nei pazienti che ricevono un placebo. Naturalmente il miglioramento clinico osservato dopo la sua assunzione non è dovuto né al bicchiere d'acqua né alla zolletta di zucchero, bensì alle suggestioni verbali di miglioramento che vengono fornite al paziente. Tale processo coinvolge una serie di complessi meccanismi psicologici e neurobiologici che solo ora cominciano a essere compresi. In altre parole, lo studio dell'effetto placebo è lo studio del contesto psicosociale intorno alla terapia e dei suoi riflessi sul cervello del paziente. L'effetto placebo è dunque un fenomeno che, al pari di altri, come l'analgesia da stress, aiuta a comprendere come il dolore e ulteriori sintomi vengano modulati da fattori cognitivi ed emotivi.

Trials clinici

Il placebo viene comunemente utilizzato nei trials clinici, i quali servono per testare e validare l'efficacia di una terapia. In tal senso, il placebo viene utilizzato esclusivamente come controllo, senza studiare i suoi meccanismi o cercare di comprenderne il significato. In altre parole, in un trial clinico il placebo è solo un metodo di comparazione. Tale paragone viene fatto fra un gruppo di pazienti che riceve la terapia vera e un altro gruppo che ne riceve una finta, per es. una compressa di zucchero o un'iniezione di acqua distillata. Secondo la procedura in doppio cieco, né lo sperimentatore né i pazienti sanno cosa viene somministrato: potrebbe essere la terapia vera o un placebo. Se la terapia reale produce risultati migliori di quella placebo, può essere considerata efficace.

Da questa breve descrizione si può capire che coloro che effettuano un trial clinico non sono interessati al motivo per il quale i pazienti che ricevono un placebo a volte mostrano un miglioramento clinico. L'unica cosa che conta è che la terapia vera funzioni meglio di una terapia placebo. Come descritto in precedenza, il miglioramento clinico può essere dovuto a numerosi fattori. La trattazione che seguirà non riguarda tutti questi fattori, ma solo quelli dovuti all'influenza del contesto psicosociale sul cervello del paziente, ossia l'effetto placebo reale.

Meccanismi psicologici

La distinzione fra meccanismi psicologici e neurobiologici è certamente da considerarsi artificiale, in quanto i due meccanismi vanno intesi come un continuum di eventi mentali e biologici. In questo contesto gli aspetti psicologici vengono differenziati da quelli biologici sia a scopo descrittivo/didattico sia perché l'approccio psicologico è più mirato alla descrizione degli eventi mentali e del comportamento, mentre l'approccio neurobiologico è volto a comprendere gli eventi biochimici e cellulari che avvengono nel cervello del paziente. Attualmente si conoscono almeno due meccanismi dell'effetto placebo (Benedetti, Mayberg, Wager et al. 2005). Innanzi tutto, l'aspettativa e l'anticipazione della riduzione di un sintomo ne inducono una reale diminuzione attraverso meccanismi cognitivi in cui i lobi frontali giocano un ruolo di primo piano. Aspettarsi un beneficio terapeutico, e quindi un miglioramento clinico, scatena, per es., meccanismi cerebrali di 'ricompensa', che permettono cioè di anticipare un evento piacevole, come un premio in denaro o in cibo. In questo caso l'evento piacevole è rappresentato dalla riduzione o scomparsa di un sintomo, per es., il dolore. In secondo luogo, un meccanismo di condizionamento classico, detto anche condizionamento pavloviano, può spiegare in alcuni casi la risposta placebo. La ripetuta associazione fra il contesto intorno al paziente (per es., una siringa o il personale medico) e il principio farmacologico attivo (il farmaco contenuto nella siringa) induce infatti una risposta condizionata, per cui dopo ripetute associazioni la sola vista della siringa o del medico sarà sufficiente a indurre la riduzione del sintomo. Questo è lo stesso meccanismo descritto dal fisiologo Ivan Petrovič Pavlov (1849-1936), in cui la ripetuta associazione fra un campanello e del cibo induceva, a un certo punto, salivazione nel cane al solo suono del campanello. Questi due eventi, l'aspettativa da un lato e il condizionamento dall'altro, non si escludono a vicenda poiché possono entrare in gioco in diverse situazioni. È stato così dimostrato che l'aspettativa riveste un ruolo importante nella risposta placebo dei processi coscienti (dolore e performance motoria), mentre il condizionamento è responsabile della risposta placebo dei processi non coscienti (secrezione di ormoni e risposte immunitarie; cfr. Benedetti, Pollo, Lopiano et al. 2003).

L'aspettativa di beneficio terapeutico può agire anche attraverso altri meccanismi, per es., la riduzione dell'ansia. Se a un paziente viene somministrato un placebo dicendogli che la sua sofferenza diminuirà, l'ansia si riduce e questo può influire sul modo in cui viene percepito un sintomo, come il dolore. Un soggetto meno ansioso percepisce infatti il dolore con minore intensità. Quindi, come ricordato sopra, non esiste un singolo effetto placebo ma molti, con differenti meccanismi. A volte il condizionamento è più importante dell'aspettativa di beneficio terapeutico, altre volte avviene l'opposto, ossia la riduzione dell'ansia gioca un ruolo determinante.

Meccanismi neurobiologici

Per quanto riguarda i meccanismi biologici, la tabella mostra che in diverse condizioni mediche e in differenti sistemi e apparati vi sono molti meccanismi responsabili dell'effetto placebo. Sicuramente, l'analgesia da placebo, ossia la riduzione del dolore, si è rivelata negli ultimi anni il miglior modello per comprendere la neurofarmacologia e la neuroanatomia dell'effetto placebo. Varie linee di ricerca indicano che il contesto intorno a un trattamento analgesico (per es., le suggestioni verbali) attiva i sistemi oppioidi endogeni. Un passo importante nella comprensione di questi meccanismi neurobiologici è stato fatto quando si è osservato che, bloccando le sostanze oppioidi endogene prodotte dal nostro cervello con un antagonista oppioide, il naloxone, l'analgesia da placebo scompare (Benedetti, Mayberg, Wager et al. 2005). È stato poi scoperto che l'analgesia da placebo è dovuta a meccanismi sia oppioidi sia non oppioidi, in relazione alla procedura utilizzata per indurre la risposta placebo. Infatti il naloxone blocca l'analgesia da placebo quando si esegue un preconditionamento con morfina, mentre non si verifica il blocco se il preconditionamento è effettuato con un farmaco non oppioide, per es. il ketorolac.

Allo stato attuale si conosce poco dei meccanismi non oppioidi, mentre si cominciano a capire quelli alla base della risposta placebo oppioide-dipendente. Per es., le risposte placebo possono essere ottenute in parti localizzate del corpo, e sono bloccate dal naloxone, indicando in tal modo un'organizzazione topografica e ordinata dei sistemi oppioidi endogeni. Un'altra linea di ricerca a favore del coinvolgimento degli oppioidi endogeni nell'analgesia da placebo riguarda i farmaci antagonisti della colecistochinina (CCK, CholeCystoKinin). Infatti, sulla base dell'azione antioppioidi esercitata dalla CCK, è stato dimostrato che un CCK-antagonista, la proglumide, potenzia la risposta analgesica al placebo. Un'ulteriore conferma del ruolo degli oppioidi endogeni nella risposta placebo è data da pazienti con dolore cronico, i quali mostrano un'aumentata concentrazione di endorfine nel liquor quando rispondono al placebo, mentre nessun cambiamento è presente se non rispondono.

L'identificazione neuroanatomica di questi meccanismi oppioidi è stata ottenuta recentemente mediante tecniche di neuroimaging. In particolare, è stata descritta l'attivazione di una via discendente inibitoria in seguito alla somministrazione di un placebo (Petrovic, Kalso, Petersson, Ingvar 2002). Tale via comprende regioni cerebrali identificate mediante la tomografia a emissione di positroni (PET, Positron Emission Tomography), che ha mostrato come un farmaco oppioide, il remifentanil, e un placebo attivino le stesse regioni, e in particolare la parte rostrale della corteccia cingolata anteriore (rACC, rostral Anterior Cingulate Cortex) e la corteccia orbitofrontale (OrbC, Orbitofrontal Cortex). Inoltre, in questo studio è stata trovata una covariazione dell'attività di rACC con quella del bulbo rostro-ventro-mediale (RVM) e della sostanza grigia periacqueduttale (PAG, PeriAquaductal Gray matter), suggerendo che tutto il circuito nervoso discendente rACC-PAG-RVM è attivato sia dal remifentanil sia dal placebo. È bene ricordare a tale proposito che sia l'ACC sia la PAG sono ricche di recettori oppioidi. Il coinvolgimento degli oppioidi endogeni nell'analgesia da placebo è anche dimostrato dall'esistenza di una depressione respiratoria dovuta al placebo e bloccata dal naloxone: questo significa che gli oppioidi attivati dal placebo agiscono non solo sui meccanismi del dolore, ma anche sui centri respiratori. Infine, in un recente studio è stato evidenziato che durante l'analgesia da placebo avviene una ridotta attivazione del sistema simpatico beta-adrenergico e del sistema cardiovascolare, effetto ancora una volta bloccato dal naloxone. Tutti questi dati dimostrano dunque che una procedura placebo induce l'attivazione dei sistemi oppioidi endogeni, i quali agiscono non solo sul dolore, ma anche su altri sistemi.

Utilizzando un'altra tecnica di neuroimaging, la risonanza magnetica nucleare funzionale, sono state descritte in dettaglio le regioni cerebrali coinvolte nell'analgesia da placebo (Wager, Rilling, Smith et al. 2004). Infatti, si è potuto dimostrare come l'anticipazione dell'analgesia, indotta dal placebo, attivi la corteccia prefrontale dorsolaterale, la quale inibirebbe la trasmissione del dolore a livello del talamo e dell'insula. La dimostrazione definitiva che in queste aree avviene una liberazione di oppioidi endogeni in seguito a una procedura placebo è stata ottenuta utilizzando tecniche di legame recettoriale in vivo, in cui è possibile osservare e quantificare l'attivazione dei recettori oppioidi in vivo nell'uomo (Zubieta, Bueller, Jackson et al. 2005). Questo approccio ha evidenziato che la somministrazione di un placebo nel dolore sperimentale in soggetti volontari sani induce l'attivazione dei recettori mu degli oppioidi in diverse aree cerebrali, come l'ACC, la PAG e il nucleus accumbens. Oltre ai recettori oppioidi, nel nucleus accumbens vengono attivati anche i recettori per la dopamina, e ciò indica quindi l'alto grado di complessità della risposta placebo (Scott, Stohler, Egnatuk et al. 2008). È bene ricordare che il nucleus accumbens fa parte di quei circuiti nervosi implicati nei meccanismi di

ricompensa. Nel caso della risposta placebo, la ricompensa è l'imminente beneficio terapeutico, e ciò attiva gli stessi circuiti cerebrali coinvolti nella ricerca del denaro, delle droghe, del cibo e del sesso.

Oltre i meccanismi del dolore

Come si può vedere, lo studio dell'analgesia da placebo è quello che ha dato i maggiori risultati per comprendere i meccanismi cerebrali di questo complesso fenomeno. Tuttavia, negli ultimi anni sono stati studiati altri sistemi e altre condizioni mediche, rivelando ancora una volta che non si può parlare di un singolo effetto placebo, ma di molti effetti placebo con diversi meccanismi (v. tabella). A questo riguardo il morbo di Parkinson ha fornito dati importanti. Uno studio ha dimostrato che un placebo somministrato a pazienti parkinsoniani attiva la dopamina endogena nella via nigrostriatale, ossia in quella stessa via che è danneggiata nella malattia in questione (de la Fuente-Fernández, Ruth, Sossi et al. 2001). Questo studio ha utilizzato la PET al fine di valutare la competizione fra dopamina endogena e raclopride per i recettori D2/D3, una metodologia che permette di identificare il rilascio di dopamina endogena. Parallelamente a questo studio sono stati analizzati pazienti parkinsoniani ai quali erano stati impiantati due elettrodi nei nuclei subtalamici per la stimolazione cronica terapeutica. In tali pazienti sono state indotte diverse aspettative di miglioramento della performance motoria, utilizzando varie procedure placebo. I risultati hanno dimostrato che un placebo è in grado di modulare gli effetti terapeutici della stimolazione del nucleo subtalamico, suggerendo pertanto la sua capacità di modulare l'eccitabilità neuronale di alcune regioni cerebrali. Inoltre, registrando da singoli neuroni nel paziente parkinsoniano, è stato dimostrato per la prima volta un effetto placebo al loro livello. In altre parole, singoli neuroni del nucleo subtalamico cambiano la loro attività in seguito a somministrazione di un placebo, e tali cambiamenti sono in stretta relazione con la sintomatologia clinica (Benedetti, Colloca, Torre et al. 2004).

Come già accennato sopra a proposito del condizionamento, lo studio del sistema immunitario e del sistema endocrino ha fornito dati importanti per comprendere le risposte placebo derivanti dal condizionamento classico. Per es., dopo ripetute associazioni fra una bevanda dal gusto particolarmente forte e un farmaco immunosoppressore che inibisce le risposte immunitarie, la bevanda è da sola in grado di produrre gli stessi effetti immunosoppressori del farmaco. Analogamente, la ripetuta somministrazione in un determinato contesto di un farmaco che aumenta l'ormone della crescita induce risposte placebo condizionate, nelle quali il solo atto della somministrazione (senza presenza di farmaco) produce un aumento dell'ormone (Benedetti, Pollo, Lopiano et al. 2003).

Altre condizioni patologiche sono state oggetto di studi recenti, tuttavia i meccanismi sono molto meno conosciuti. Un trattamento placebo nella depressione e nell'ansia, per es., influenza l'attività di diverse regioni cerebrali, come la corteccia cingolata e la corteccia orbitofrontale, tuttavia non è del tutto chiaro quali meccanismi siano implicati (Benedetti, Mayberg, Wager et al. 2005). Analogamente, la tossicodipendenza è stata studiata con tecniche di bioimaging, ma esistono comunque pochi studi in questo ambito. Vale però la pena ricordare che l'aspettativa gioca un ruolo importante nell'assunzione delle droghe: se viene somministrata un'amfetamina a un tossicodipendente dicendogli che è un'amfetamina, gli effetti sul suo comportamento e le risposte cerebrali sono di gran lunga maggiori rispetto a quando gli si dice che si tratta di un placebo. In altre parole, mentre nel primo caso il tossicodipendente si aspetta un effetto, nel secondo caso non si aspetta alcunché. Quindi l'effetto farmacologico di una droga è rafforzato dall'aspettativa.

Alcune varianti genetiche sono correlate con la risposta placebo, sebbene le ricerche in questa direzione siano ancora scarse, a causa della complessità dell'approccio metodologico e del disegno sperimentale da definire. Nell'ansia sociale, i portatori dell'allele l (long) del gene per il trasportatore della serotonina (5-HTTLPR, 5-HydroxyTryptamine-Transporter-Linked Promoter Region) e i portatori dell'allele G della triptofano idrossilasi 2 (TPH2, TryptoPhan Hydroxylase 2) rispondono bene a un placebo, il quale induce anche una riduzione dell'attività in una regione cerebrale responsabile dell'ansia sociale, l'amigdala. Al contrario, i portatori dell'allele s (short) per il 5-HTTLPR e dell'allele T per la TPH2 non mostrano questa risposta (Furmark, Appel, Henningson et al. 2008). Appare quindi evidente come alcune varianti genetiche di determinati neurotrasmettitori cerebrali, come la serotonina, influenzino le risposte placebo attraverso la differente modulazione di regioni cerebrali specifiche.

Effetto nocebo

L'effetto placebo può andare anche in direzione opposta. Se per es., il soggetto si aspetta l'incremento di un sintomo, questo può verificarsi realmente. In tal caso, si parla di effetto nocebo. Quest'ultimo è stato dimostrato in numerose condizioni, come il dolore e la performance motoria. I processi alla base dell'effetto nocebo sono praticamente gli stessi dell'effetto placebo, solo che vanno in direzione opposta: possono essere coinvolti meccanismi di aspettativa o condizionamento. Poco si sa sulle sue basi neurobiologiche, considerati gli inerenti problemi etici. Infatti, al fine di studiare l'effetto nocebo è necessario indurre aspettative negative, come effettuare, per es., una procedura che secondo il soggetto produrrà un aumento del dolore. In altre parole, una procedura nocebo induce stress nei soggetti che si sottopongono a essa, quindi è eticamente

possibile indurre una risposta nocebo solo in condizioni particolari, per es., in soggetti volontari sani ma non in pazienti.

L'effetto nocebo riveste un'importanza particolare nella nostra società poiché è presente nella routine quotidiana, senza tuttavia che ce ne rendiamo conto. Un esempio è rappresentato dai messaggi lanciati dai mezzi di comunicazione di massa, come la televisione, la radio e i giornali, riguardo ai pericoli e ai danni per la salute. Spesso questi messaggi sono falsi o esagerati, eppure inducono aspettative negative in coloro che li ricevono. Alcuni studi recenti hanno dimostrato che certi disturbi, come la cefalea, spesso imputati alle radiofrequenze dei telefoni cellulari, non sono altro che effetti psicologici, cioè effetti nocebo. Il solo credere che un telefono cellulare possa produrre danni alla salute spesso può provocare l'insorgenza di sintomi di diversa natura. Analogamente, gli effetti collaterali dei farmaci, descritti nel foglio della confezione (il cosiddetto bugiardino), spesso sono solo effetti nocebo: leggere che un farmaco può indurre nausea, in alcuni soggetti può provocarla realmente. Una diagnosi negativa può sortire lo stesso effetto: infatti il paziente presenterà una sintomatologia più severa per il solo motivo che si aspetta un peggioramento della sua situazione. L'effetto nocebo è stato studiato dal punto di vista antropologico in quelle società in cui vengono effettuate pratiche magiche e religiose. Un esempio eclatante è la magia vodù, in cui un estremo stress psicologico può portare a una situazione di una certa gravità, come l'arresto cardiaco. Alcune procedure, come il puntare un oggetto contro una persona facendole credere in un suo effetto negativo, possono provocare situazioni di stress estremo.

Quello che conosciamo oggi sui meccanismi dell'effetto nocebo si basa essenzialmente su studi farmacologici e di bioimaging. Un meccanismo importante è sicuramente l'ansia anticipatoria, cioè quella forma di ansia che precede l'arrivo di una situazione di stress. Il caso tipico è quando ci si aspetta la comparsa di un dolore intenso. In alcune situazioni, è possibile prevenire una risposta nocebo mediante l'uso di ansiolitici, come le benzodiazepine, il che dimostra il coinvolgimento dell'ansia anticipatoria. Recentemente si è visto come questo tipo di ansia induca l'attivazione nel cervello di colecistochinina, la quale produce a sua volta un effetto amplificante sul dolore. Questo effetto va sotto il nome di iperalgesia da nocebo: quando il soggetto si aspetta la comparsa di un dolore intenso, la sua ansia attiva la CCK che aumenta la percezione del dolore. Il risultato è la comparsa di dolore, anche se non è presente alcuno stimolo dolorifico (Benedetti, Amanzio, Vighetti, Asteggiano 2006).

Durante la fase di ansia anticipatoria, vengono attivate diverse regioni cerebrali, e questo ha permesso di comprendere meglio i meccanismi dell'ansia. Inoltre, durante l'iperalgesia da nocebo, ossia uno stato di dolore

in assenza di stimoli dolorifici o con stimoli dolorifici di bassa intensità, le aree cerebrali di percezione del dolore si attivano con maggiore intensità. Perciò l'effetto nocebo rappresenta un ottimo modello per comprendere sia i meccanismi dell'ansia sia in che modo l'ansia influenzi la percezione di diversi sintomi, come il dolore. Nel nucleus accumbens è stato individuato un altro neurotrasmettitore coinvolto nell'iperalgia da nocebo, ossia la dopamina. È stato infatti dimostrato che nel suddetto nucleo, mentre si ha un'attivazione della dopamina durante l'analgia da placebo, questo neurotrasmettitore subisce una deattivazione durante l'iperalgia da nocebo (Scott, Stohler, Egnatuk et al. 2008). La partecipazione di più neurotrasmettitori, la CCK e la dopamina, nell'effetto nocebo dimostra l'alta complessità del fenomeno.

Contesto psicosociale e terapia

Fino a questo momento la componente placebo di un trattamento medico è stata studiata somministrando nient'altro che una terapia finta, un placebo appunto, al fine di escludere l'effetto specifico della terapia stessa. È possibile cambiare questo approccio sperimentale in senso diametralmente opposto, ovvero eliminando la componente placebo e mantenendo l'effetto specifico di una terapia (Colloca, Lopiano, Lanotte, Benedetti 2004). In questo modo una terapia, per es. farmacologica, è somministrata all'insaputa del paziente, cioè in maniera inaspettata. Se si paragona l'effetto del farmaco assunto inconsapevolmente con quello ottenuto mediante la somministrazione in piena consapevolezza del paziente, l'efficacia del farmaco nascosto è minore. Tale meccanismo è stato dettagliatamente descritto per diversi antidolorifici di uso comune, come la morfina, la buprenorfina, il tramadolo, il ketorolac, il metamizolo. In altre parole, una terapia somministrata di nascosto è meno efficace di una terapia resa esplicita.

La differenza fra la somministrazione nascosta, in cui il paziente non ha alcuna aspettativa di beneficio terapeutico, e quella palese, in cui il paziente si aspetta un effetto terapeutico, rappresenta la componente placebo (ossia psicologica) della terapia, anche se non è stato somministrato alcun placebo. Ovviamente, maggiore è la differenza, maggiore è la componente placebo e minore è l'effetto del farmaco. Un farmaco, per es., può essere efficace se assunto consapevolmente, ma del tutto inefficace se somministrato di nascosto. In questo caso la differenza è enorme e rivela che il farmaco di per sé è del tutto inefficace e che la sua somministrazione nella consapevolezza del paziente produce solo un effetto placebo. Al contrario, se non vi è alcuna differenza fra somministrazione esplicita e nascosta, il farmaco risulta efficace. In altre parole, se un farmaco (o qualsiasi altro trattamento medico) è veramente efficace, non dovrebbe fare alcuna differenza somministrarlo al paziente che sa di riceverlo oppure a sua insaputa.

Queste osservazioni sono importanti per diversi motivi: a) la somministrazione nascosta di una terapia evidenzia come la componente placebo sia presente anche in assenza di somministrazione di un placebo; b) appare chiaro come la componente placebo non sia altro che l'elemento psicosociale intorno al paziente: quando il paziente non sa di ricevere qualcosa, e quindi non si aspetta nulla, l'effetto del farmaco risulta minore; c) l'effetto di un farmaco somministrato di nascosto rappresenta il reale effetto farmacodinamico della sostanza iniettata, senza la 'contaminazione' della componente psicologica; d) dal punto di vista strettamente etico, è possibile testare l'efficacia di una terapia senza la somministrazione di alcun placebo, in accordo con la Dichiarazione di Helsinki del 1964, sviluppata dalla World medical association (WMA). Sebbene questo si possa fare solo in alcune circostanze e per alcune terapie, vale la pena di sviluppare nuovi trials clinici dove la somministrazione nascosta viene sostituita al placebo. Al fine di superare il problema etico della somministrazione all'insaputa del paziente, a questo viene detto che riceverà una terapia, ma senza specificare quando. In tal modo, il paziente può dare il suo totale consenso informato (Colloca, Lopiano, Lanotte, Benedetti 2004).

Implicazioni cliniche

Un'importante implicazione clinica dei meccanismi dell'effetto placebo riguarda la possibilità di sfruttare l'aspettativa e il condizionamento a vantaggio del paziente. Una delle applicazioni più promettenti è rappresentata dall'uso alternato di un placebo e di un farmaco al fine di ridurre l'assunzione di quest'ultimo. Questo approccio è particolarmente utile nel caso di farmaci, come i narcotici, il cui sovradosaggio può essere dannoso. Uno studio recente ha dimostrato che il consumo di buprenorfina, un narcotico analgesico, può essere ridotto di circa il 30% nel dolore postoperatorio se si somministra simultaneamente un placebo. Una seconda implicazione clinica riguarda i pazienti con deficit cognitivo, come avviene, per es., nella demenza di Alzheimer. È stato recentemente dimostrato che in questi pazienti i meccanismi di aspettativa presenti nei lobi frontali sono ridotti o del tutto assenti. Infatti, la misurazione della componente placebo ha mostrato che l'effetto placebo, e quindi la componente psicologica, può essere del tutto assente, con la conseguente riduzione dell'efficacia di un trattamento analgesico. Nei pazienti dementi, dunque, bisogna considerare la possibilità di rivedere le terapie analgesiche al fine di compensare la perdita dell'effetto psicologico di una terapia.

Lo studio dell'effetto placebo è anche fondamentale per meglio comprendere quei meccanismi alla base della relazione medico-paziente. L'approccio medico moderno si basa su una medicina centrata sul paziente secondo la quale, accanto ai fattori biochimici/molecolari della malattia, esistono importanti influenze

psicologiche sia sulla fisiopatologia delle malattie sia sul loro trattamento. Il modello biopsicosociale prende in considerazione appunto questi fattori (biologici, psicologici e sociali), come elementi determinanti nell'insorgenza di molte patologie e nell'interazione del paziente con il terapeuta. La comprensione dei meccanismi sia psicologici sia biologici dell'effetto placebo ha dato un'ulteriore spinta all'approccio biopsicosociale. In altre parole, non è sufficiente curare una malattia, ma è necessario parallelamente prendersi cura del paziente dal punto di vista psicologico. Questo modo di pensare ha dato origine a una vera e propria neurobiologia dell'interazione medico-paziente, in cui il cervello di quest'ultimo subisce cambiamenti plastici durante questa complessa interazione sociale (Benedetti 2010).

Il placebo nello sport

La somministrazione di un placebo può indurre anche un aumento della performance fisica, con un'immediata ricaduta nello sport. È possibile, per es., effettuare un condizionamento farmacologico con morfina nella fase di allenamento di una competizione, e poi sostituire alla morfina un placebo il giorno della gara, ma senza comunicare questa variazione all'atleta. Con tale procedura, un placebo mima gli effetti della morfina somministrata nei giorni precedenti, con il conseguente incremento della tolleranza al dolore. È evidente che in tal caso il problema etico è cruciale poiché un placebo non è rilevabile a un test antidoping. Tale problema etico non è stato risolto, poiché queste procedure di condizionamento farmacologico nello sport sono molto recenti. Comunque, a parte questo, l'effetto placebo nello sport sembra avere un'importanza fondamentale. Infatti, la componente psicologica gioca un ruolo essenziale nella performance fisica. Molte sostanze ritenute ergogeniche inducono in realtà solo un effetto placebo, in cui il semplice fatto di aspettarsi un incremento della performance mentale e fisica ha effetti reali sul cervello e sul sistema motorio.

Conclusioni

In passato, il termine placebo ha sempre avuto una connotazione negativa, proprio perché considerato un artefatto difficile da controllare nella ricerca clinica. Attualmente l'effetto placebo è oggetto di intensa ricerca scientifica al fine di comprenderne i diversi aspetti: a) l'effetto placebo non è altro che l'effetto del contesto psicosociale sul cervello del paziente; questo contesto ha talvolta un grande impatto su diverse funzioni fisiologiche e sulla risposta a diverse terapie; b) si cominciano a comprendere i complessi meccanismi cerebrali alla base dell'effetto placebo, e questo permetterà di chiarire meglio la relazione mente-cervello-corpo e l'interazione terapeuta-paziente; c) si può iniziare a pensare di sviluppare protocolli terapeutici in cui il farmaco e il placebo vengano somministrati in maniera alternata, al fine di evitare il sovradosaggio di

farmaci dannosi; d) la perdita delle funzioni cognitive, e quindi della componente placebo di una terapia, può determinare la riduzione dell'efficacia della stessa; è bene dunque considerare una revisione di diverse terapie al fine di compensare la perdita dei meccanismi connessi con l'effetto placebo; e) i concetti alla base dell'effetto placebo possono essere applicati alla vita sociale di tutti i giorni, e questo aiuterà a meglio comprendere la psicologia e la biologia dell'essere umano.

CIBERNETICA

Enciclopedia Italiana - III Appendice (1961)

di Alfonso CARACCIOLO di FORINO

Il termine *c.* è stato introdotto nel 1947 dal matematico americano Norbert Wiener nell'opera omonima per indicare una nuova disciplina concemente lo studio unitario dei processi riguardanti "la comunicazione e il controllo nell'animale e nella macchina". Questa definizione, che costituisce il sottotitolo dell'opera citata, è illustrata nella lunga introduzione, in cui il Wiener riporta il corso di idee e le ricerche che lo hanno condotto a gettare le basi di questa nuova scienza, e mostra i collegamenti con ricerche similari fornendo così un primo ampio panorama delle questioni più o meno direttamente connesse con la *c.* stessa.

La tesi fondamentale posta alla base della definizione di *c.* è duplice: I) i meccanismi di controllo e di regolazione nelle macchine sono della stessa natura di quelli che si riscontrano negli esseri viventi; II) entrambi i meccanismi anzidetti sono strettamente connessi con i processi di comunicazione o trasmissione delle informazioni. Questa tesi si fonda su una serie di osservazioni e di scoperte connesse in gran parte con gli studi di fisiologia e con i recenti sviluppi tecnologici, particolarmente nel campo dell'elettronica: tali sviluppi hanno mostrato l'esistenza di fondamentali somiglianze fra il comportamento degli esseri viventi e il funzionamento dei sistemi meccanici ad alto grado di automatizzazione.

A sempre più ampî sviluppi la *c.* è sollecitata dalla crescente esigenza di costruire dispositivi artificiali, sempre più perfezionati, atti a sostituire l'uomo nella sua funzione di controllore e di pilota di macchine e impianti imitandone il comportamento estremamente flessibile, ma spesso troppo lento e insicuro. Il termine stesso "cibernetica" è tratto dalla parola greca κυβερνήτης che vuol dire "timoniere", "pilota". Il termine equivalente, di derivazione latina, "governo", era già stato usato da J. P. Watt nel 1790 per indicare il regolatore centrifugo per macchine a vapore, e ripreso dal fisico inglese J. C. Maxwell nel 1868 nel primo studio teorico dei meccanismi di questo genere. Nella versione francese (cybernétique) il termine era stato

impiegato nel 1834 da A.-M. Ampère nell'Essai sur la philosophie des sciences per indicare "i mezzi del governo". Se non fosse per una impostazione e una concezione del tutto diversa, questa definizione apparirebbe solo più restrittiva in quanto anche l'arte del governo può farsi rientrare in quella più generale di controllo e regolazione di un sistema complesso composto da una moltitudine di individui: oltre che lo studio unitario dei meccanismi fisici e biologici di regolazione e di controllo, la c. prende infatti in esame lo studio generale dei sistemi complessi altamente organizzati, indipendentemente dalla loro particolare natura.

Generalizzata in questo senso, la definizione di c. è stata ripresa dal biologo inglese W. Ross Ashby (che può essere considerato, indipendentemente da N. Wiener, uno dei fondatori di questa scienza) come la teoria generale astratta dei meccanismi. In questo modo essa diventa una teoria essenzialmente matematica delle varie forme di funzionamento e di comportamento di un sistema, per quel tanto che esse sono determinate, regolari, riproducibili. Da questo punto di vista la c. non si occupa più di sistemi reali, ma di sistemi ipotetici, nello stesso senso in cui la geometria si occupa di forme e spazi astratti senza alcun riferimento con lo spazio fisico.

Sono state proposte anche altre definizioni della c.: alcune indebitamente troppo restrittive, altre che accentuano di volta in volta l'uno o l'altro degli aspetti della c. o dei suoi campi di applicazione. Fra di esse va esplicitamente menzionata l'identificazione fra la c. e la teoria dell'informazione, frequente prevalentemente nei paesi di lingua latina, e fra la c. e lo studio del linguaggio nella sua più vasta accezione di strumento di comunicazione. Lo stesso Wiener fa uso anche di questa definizione, che accentua il ruolo centrale che i concetti di messaggio e di comunicazione giocano in tutti i processi che interessano la cibernetica.

Molto stretto appare infine il legame con la ricerca operativa. Quest'ultima si è sviluppata inizialmente durante la seconda guerra mondiale per fornire ai comandi uno strumento razionale per l'analisi scientifica dei risultati delle operazioni militari e per porre su basi matematiche la previsione dei risultati delle operazioni da compiersi. La ricerca operativa trova naturalmente applicazione in un campo assai più vasto di quello militare poiché tende a fornire agli organi direttivi di una qualsiasi organizzazione un metodo scientifico per razionalizzare le decisioni inerenti alle operazioni che l'organizzazione deve svolgere. Le connessioni fra ricerca operativa e c. sono particolarmente profonde in quanto entrambe si occupano dello studio generale dei sistemi considerati come unità organiche e funzionali, proponendo modelli, confronti, analogie, e studiandone l'adeguatezza. C. e ricerca operativa sono inoltre metodologicamente affini e fanno entrambe uso essenziale di procedimenti matematici suggeriti in particolare dalla statistica e dall'analisi funzionale.

Occorre però rilevare che non vi è accordo unanime degli studiosi sulla natura esatta della c. e sui suoi limiti.

Bisogna anche aggiungere che presso alcuni di essi certe implicazioni filosofiche e certe generalizzazioni eccessive, o comunque ritenute tali, hanno gettato un certo discredito sul termine che molti tendono perciò ad evitare. Sta di fatto però che sotto l'egida della c. si è iniziato un incontro fra studiosi di specialità diverse e un movimento di idee inteso a promuovere una più intensa collaborazione fra i vari specialisti, che può già essere considerata estremamente proficua per il progresso generale della scienza. Caratteristica della c. è la vastità dei campi che essa ha portato in contatto: dall'ingegneria e dalle scienze naturali, con tutte le loro numerose specializzazioni, a scienze quali la psicologia, l'antropologia, la sociologia, l'economia. La diversità del linguaggio e dei metodi di indagine impiegati nelle varie scienze rendono, peraltro, in generale, difficile il riconoscimento dei numerosi problemi che esse hanno in comune.

Scopo della c. è, in definitiva, di confrontare l'uomo e l'animale con la macchina, confronto già adombrato nella prima definizione di Wiener. Non è questa la prima volta che, nella storia della scienza, viene istituito tale confronto: la descrizione dei fenomeni vitali mediante modelli meccanici e la loro spiegazione su basi chimico-fisiche costituisce da tempo il fondamento della fisiologia e lo stesso termine "meccanismo" è largamente usato in questa scienza, ove con esso s'intende la descrizione dello svolgimento di determinate funzioni. Ciò che vi è di essenzialmente nuovo nella c. è l'estensione del concetto di meccanismo che viene basato sulla natura funzionale piuttosto che su quella strutturale di un sistema. Il meccanismo fondamentale, sempre presente in un sistema fisico autoregolato, è la cosiddetta reazione o retro-azione. Si dice che un sistema possiede un meccanismo di reazione quando le varie parti di esso formano un circuito chiuso tale che si stabilisca una correlazione fra i cambiamenti di stato e lo stato del sistema stesso, tendente a controbilanciarne o ad accentuarne le variazioni. Nel primo caso, che è quello più importante, si parla di reazione negativa o controreazione, nel secondo di reazione positiva.

La presenza di un meccanismo di controreazione è determinante perché un sistema possa avere caratteristiche di stabilità dinamica e di autoregolazione, in quanto l'equilibrio dinamico può ottenersi soltanto mediante una continua azione correttiva delle inevitabili deviazioni dalle condizioni di equilibrio prestabilite. La reazione positiva produce effetti esattamente contrari in quanto tende ad esaltare tali deviazioni. Ciononostante anch'essa si presenta utile in alcune circostanze e trova, per esempio, applicazione nella regolazione dei cambiamenti di regime. Spesso inoltre essa è presente in condizioni patologiche di rottura di equilibrio. In molti casi un comportamento patologico può essere prodotto anche da un difetto nel sistema di controreazione: un sistema controreazionato mal regolato può presentare fenomeni caratteristici di instabilità, spesso pericolosi per l'integrità del sistema, consistenti in oscillazioni di ampiezza crescente intorno alla posizione di equilibrio. Tutti questi fenomeni sono ben noti e costituiscono la base teorica dello studio e della progettazione dei

servomeccanismi (v. servosistema, in questa App.).

L'ipotesi specifica della c. è che anche negli organismi viventi l'attività volontaria e quella riflessa da un canto, e i fenomeni di regolazione, stabilità e adattamento dall'altro, sono fondamentalmente basati su meccanismi di controeazione. Questa ipotesi, che su un piano puramente qualitativo di analogie formali non presenta nulla di sorprendente, ha cercato conferme in due opposte direzioni dando adito a numerose importanti ricerche. Da un lato si sono cercate conferme quantitative mediante l'applicazione dei concetti cibernetici alla descrizione e all'analisi di alcuni fenomeni fisiologici. Dall'altro si è iniziato lo studio e la realizzazione di dispositivi meccanici, o automi, che presentano caratteristiche di stabilità, adattamento e apprendimento simili a quelle degli esseri viventi.

Come esempio di ricerche del primo tipo si può citare lo studio sulla regolazione del movimento mediante il cosiddetto riflesso miotatico, che consiste nella contrazione di un muscolo in risposta alla distensione passiva del muscolo stesso. Questo riflesso scompare quando venga recisa l'una o l'altra delle due innervazioni, quella motrice e quella sensoria, che collegano il muscolo al midollo. Il sistema muscolo → nervo sensorio → midollo → nervo motore → muscolo costituisce un circuito chiuso e la stabilità del sistema che è alla base dell'equilibrio di posizione e dei movimenti indica, almeno qualitativamente, la presenza di un meccanismo di controeazione. Per confermare quantitativamente questa ipotesi N. Wiener e A. Rosenblueth hanno rivolto la loro attenzione ad un fenomeno patologico intimamente connesso con il riflesso miotatico, che dovrebbe rappresentare l'equivalente di un sistema controeazionato mal regolato. Si tratta del clono o clonus che è un fenomeno convulsivo che si manifesta attraverso contrazioni e rilassamenti alternati del muscolo, presentando quindi il tipico comportamento oscillatorio di un sistema controeazionato in condizioni di instabilità. Premettendo alcune ipotesi il Wiener ha potuto stabilire una certa concordanza fra i dati sperimentali e quelli ricavati col calcolo, senza tuttavia poter giungere a conclusioni definitive.

Vi sono molti altri meccanismi fisiologici che possono essere confrontati con il meccanismo della controeazione, in quanto tutte le funzioni organiche che tendono alla stabilità e alla regolazione dell'organismo presentano almeno formalmente le caratteristiche tipiche dei sistemi a controeazione.

Il principio della controeazione domina non solo la nozione di stabilità di un sistema, ma anche quella di tendenza a una meta o comportamento teleologico, e più in generale ancora quella di adattamento all'ambiente, di cui la stabilità non costituisce che un caso particolare. Per evitare controversie di ordine filosofico converrà definire che cosa si intenda dal punto di vista cibernetico per "tendenza a una meta" e per "adattamento". Si dice che un sistema A tende alla meta M se l'attività di A in determinate circostanze tende

a ridurre la differenza tra lo stato attuale di A e lo stato perseguito, indicato come la meta M. Perché un sistema possa agire in questo modo è necessario: 1) che esso sia dotato di organi effettori interni cioè di organi interni, capaci di modificarne lo stato; 2) che il sistema sia in grado di rilevare quantitativamente la differenza fra lo stato attuale e quello perseguito; 3) che l'informazione relativa a questa differenza sia tradotta in comandi per gli organi effettori che ne determinino l'attività in maniera da ridurre la differenza rilevata. Ciò implica appunto la presenza di un circuito chiuso del tipo classico a controreazione.

Si parla invece di "adattamento" quando il sistema è in grado di modificare la propria struttura o la propria meta in relazione con le variazioni dell'ambiente in modo da rendere possibile l'esistenza di condizioni di stabilità. Questa tendenza all'equilibrio, tanto più spiccata quanto più si sale nella scala degli esseri viventi, è stata messa in luce da W. B. Cannon, che le ha dato il nome di omeostasi, indicandola come il principale fattore di sopravvivenza nei confronti di condizioni ambientali variabili. L'adattamento omeostatico è connesso, nel linguaggio della c., con meccanismi di controreazione di livello superiore. Esso implica infatti la presenza di circuiti di controreazione secondari atti a regolare e a modificare i circuiti di controreazione primari in base a una determinazione delle condizioni di instabilità.

La tendenza a una meta e le proprietà di adattamento sono caratteristiche così fondamentali per gli organismi viventi che la seconda linea di ricerca per la conferma dell'ipotesi cibernetica si è volta alla costruzione di meccanismi artificiali che dimostrassero un comportamento del genere e permettessero di studiare in modo concreto la natura di tali meccanismi. Fra le numerose realizzazioni di questo tipo meritano particolare menzione le "tartarughe meccaniche" di G. Walter e l'"omeostato" di W. Ross Ashby.

Dispositivi di questo genere manifestano in qualche modo un comportamento "intelligente" e gettano qualche luce non solo su alcuni meccanismi fisiologici fondamentali, ma anche sul funzionamento del cervello e del pensiero. In realtà si tratta nei casi fin qui esaminati piuttosto di un comportamento "utile", generalmente al fine della sopravvivenza e dell'integrità del sistema, mentre il termine intelligenza si applica più appropriatamente quando si può parlare di consapevolezza del proprio comportamento e dei propri fini. Messa in questi termini la questione apre tutta una serie di problemi di ordine psicologico e metafisico non facilmente definibili, e soprattutto non traducibili per la loro stessa natura in termini operativi. Dal punto di vista scientifico l'unico approccio possibile è quello comportamentistico. Una soluzione interessante per ciò che riguarda la definizione di una macchina pensante è stata data dal matematico inglese A.M. Turing. Egli ha definito "pensante" una macchina in grado di ricevere delle domande e di elaborare delle risposte simili a quelle che potrebbe fornire un uomo nelle stesse circostanze e in maniera tale che la persona interrogante non possa, in alcun modo, distinguere se la risposta proviene da un'altra persona o da una macchina. Non vi sono

per il momento macchine in grado di soddisfare una richiesta tanto stringente, ma le considerazioni di Turing a questo riguardo indicano la possibilità di programmare una qualunque calcolatrice elettronica di tipo universale in modo ch'essa possa superare una simile prova.

Accantonate le questioni metafisiche intorno alla natura della intelligenza si è concentrata l'attenzione sul come si svolgono nella mente umana quei processi che si sogliono definire intelligenti e se e come essi possano essere simulati con una macchina. Recenti progressi in varî campi hanno aperto larghe prospettive verso la soluzione dei due problemi fondamentali che si possono porre a questo riguardo: come funziona il cervello? Si può costruire, o perlomeno progettare, una macchina che ne simuli il funzionamento? La neurofisiologia e neuroanatomia hanno già illuminato molti aspetti del modo di operare del cervello. D'altro canto lo sviluppo delle calcolatrici elettroniche, sia numeriche sia analogiche, ha permesso di approfondire la natura dei processi di calcolo e più in generale dei processi di elaborazione delle informazioni, non solo secondo schemi prefissati, ma anche secondo schemi capaci di evolversi e di modificarsi, permettendo a tali macchine di manifestare tipici fenomeni di apprendimento.

Un problema molto interessante e molto discusso riguarda la possibilità di costruire una macchina (o programmare una calcolatrice elettronica) dotandola di una logica capace di manifestare fenomeni di apprendimento che la mettano in grado, con l'esperienza, di superare il proprio progettista. Tale questione è stata studiata con particolare riferimento a una macchina capace di giocare a scacchi. Essa è stata ripresa più in generale dal Ross Ashby nello studio di un "amplificatore dell'intelligenza" dove l'intelligenza viene definita operativamente come "potere selettivo", cioè come capacità di discernimento fra una moltitudine di alternative. Del resto lo stesso omeostato e le altre macchine che manifestano un comportamento adattativo possono essere considerate come macchine che "imparano" in quanto si può far rientrare il concetto di apprendimento in quello più generale di adattamento. L'adattamento infatti può essere inteso come la modifica di un comportamento in base a un apprendimento, cioè a una valutazione dei successi e degli insuccessi ottenuti con quel dato comportamento.

Strettamente collegati con questi sono i recenti studi che passano sotto il nome di teoria generale degli automi. Essi seguono la via tracciata da J. Von Neuman e prendono tutti le mosse dagli studi di J. McCulloch e R. Pitts sulla descrizione logica del funzionamento del sistema nervoso.

Questi autori hanno schematizzato in termini puramente logici le proprietà fondamentali delle cellule nervose o neuroni. Secondo tale schema i neuroni sono costituiti da un corpo (soma) e dai suoi prolungamenti (fibre nervose), di cui una sola, detta assone o cilindrase, costituisce l'uscita o via efferente, mentre gli altri, detti

dendriti, costituiscono le entrate o vie afferenti. L'assone di un neurone è connesso con i dendriti di altri neuroni mediante le cosiddette congiunzioni sinaptiche o sinapsi. Un insieme di neuroni variamente connessi tra loro costituisce una rete di nervi. In tale rete circolano impulsi che gli assoni dei vari neuroni trasmettono al soma dei neuroni a cui sono connessi mediante le sinapsi. Alcune esperienze fondamentali di neurofisiologia hanno mostrato il carattere fondamentalmente discontinuo della circolazione degli impulsi nervosi. Un neurone può soltanto emettere o non emettere un impulso a seconda che gli impulsi ricevuti in entrata (che sono di due tipi, inibitorio o eccitatorio, a seconda della natura della connessione) superino o meno una certa soglia caratteristica di ogni neurone. Questo carattere "tutto o nulla" del comportamento del neurone, anche se rappresenta una schematizzazione valida solo in prima approssimazione, è perfettamente descrivibile in termini logico-matematici, ciò che appunto è alla base della teoria di McCulloch e Pitts. È interessante notare che è possibile costruire dispositivi elettronici che funzionino in modo analogo e che sono del resto della stessa natura di quelli che trovano effettivamente impiego in molte apparecchiature elettroniche, particolarmente nelle calcolatrici di tipo numerico.

La teoria generale degli automi non è che lo studio logico-matematico dei sistemi neuronici e delle risposte che tali sistemi possono dare a determinati stimoli esterni. I neuroni, intesi come i costituenti elementari degli automi, sono essi stessi semplicemente degli oggetti caratterizzati dalle risposte che danno in uscita agli stimoli che pervengono all'entrata. A questo riguardo si pone una duplice serie di problemi che si possono distinguere in problemi di analisi e in problemi di sintesi degli automi. I problemi di analisi concernono la determinazione della struttura del sistema e delle caratteristiche dei neuroni componenti a partire dalla conoscenza delle risposte del sistema globale. I problemi di sintesi concernono invece la determinazione della struttura di un sistema che dia determinate risposte, o meglio determinati tipi di risposte, a partire da costituenti elementari di caratteristiche prefissate.

Modelli di questo tipo sono stati applicati allo studio di varie funzioni del sistema nervoso e del cervello. In particolare è stata studiata la funzione della memoria, ottenendo un'immagine soddisfacente soprattutto per ciò che riguarda le memorie temporanee che possono essere ricondotte alla presenza di circuiti a riverbero, cioè di circuiti chiusi entro cui un impulso può circolare per un tempo più o meno lungo.

In connessione con il problema della memoria sono stati affrontati anche i processi di riconoscimento e integrazione delle forme, o, come è stato detto, di "riconoscimento degli universali". Tale questione, che rientra nel problema più generale dell'apprendimento, interessa in modo particolare gli studi di fisiologia e psicologia della percezione, ai quali la teoria dell'informazione e gli studi sulle apparecchiature per le trasmissioni delle informazioni hanno dato un notevole contributo. Questo problema inoltre è del massimo

interesse pratico per la sua connessione con gli attuali studi sulla costruzione di macchine capaci di leggere su fogli a stampa o manoscritti o di riconoscere le parole pronunciate in un discorso dall'analisi dei suoni emessi.

La teoria generale degli automi, che si può ritenere solo agli inizi, fornisce uno strumento generale per l'impostazione dei problemi di c., in quanto costituisce la teoria delle macchine che possono essere costruite a somiglianza del funzionamento del sistema nervoso.

Ma la teoria matematica, ormai classica, connessa con la c. è la teoria dell'informazione (v. informazione, teoria dell', in questa App.) che, come è già stato accennato, viene talora identificata con essa. Il motivo basilare di questo fatto è che tutti i processi che interessano la c., sia che concernano gli organismi viventi, sia che concernano le macchine e gli automi, sono processi di correlazione tra le varie parti di un organismo complesso, esaminati da un punto di vista funzionale. Il coordinamento delle varie parti è sempre affidato a una trasmissione di segnali; la loro natura fisica dipende ovviamente dalle particolarità fisiche del sistema. Ma le proprietà funzionali, che sono appunto quelle che interessano più direttamente la c., prescindono interamente dalla natura fisica dei segnali, siano essi meccanici, elettrici, chimici, o nervosi. Ciò che vi è di comune in tutti questi processi è la trasmissione di un'informazione, opportunamente codificata a seconda della natura del sistema. La definizione statistica della quantità di informazione è stata data presso a poco nello stesso tempo da vari studiosi provenienti da campi assai diversi in apparenza. Per quanto strettamente collegata con la c., la teoria dell'informazione ha ricevuto uno sviluppo autonomo a opera soprattutto degli scienziati interessati ai problemi di sviluppo delle apparecchiature elettroniche per la trasmissione e l'elaborazione delle informazioni.

Fra le applicazioni più importanti del concetto statistico di informazione e di particolare interesse cibernetico si può citare lo studio matematico della previsione. Il problema da risolvere è quello dell'estrapolazione verso il futuro di una successione di eventi (serie temporale), nota fino a un dato istante, cercando di rendere minimo l'errore secondo criteri matematicamente ben definiti. Questioni del genere, sorte particolarmente in connessione con la progettazione dei dispositivi per il puntamento automatico dei cannoni contro bersagli mobili, sono in stretta correlazione con la teoria generale dei giochi, e più in generale con i problemi della moderna ricerca operativa, di cui si è già rilevata la profonda affinità con la cibernetica.

La relazione fra teoria dell'informazione e c. risulta anche dal fatto che il concetto statistico di quantità di informazione è direttamente connesso con il concetto, anch'esso di natura essenzialmente statistica, di organizzazione e di grado di organizzazione. In questo modo la c. estende il suo interesse allo studio dei sistemi complessi formati da una moltitudine di elementi che interagiscono fra di loro. Questo è un concetto

generale che può essere applicato allo studio di una popolazione qualsiasi di individui, dagli insiemi statistici della termodinamica, alle società umane o animali.

Per ciò che concerne l'applicazione dei concetti cibernetici allo studio delle società di esseri viventi, è evidente la funzione della comunicazione come meccanismo per l'organizzazione sociale. Un gruppo associato di individui, sia esso umano o animale, è anch'esso un sistema dinamico organizzato, dotato di un sistema di intercomunicazioni, e il cui equilibrio si fonda su processi circolari assimilabili ai processi di controreazione. Considerazioni di questo genere hanno destato un notevole interesse presso sociologi ed economisti e sono state prese in considerazione nella analisi dei cosiddetti effetti sociali della automazione.

Cibernetica

Enciclopedia del Novecento (1975)

di Ernest H. Hutten

Sommario: 1. Introduzione storica. 2. L'epistemologia delle macchine. 3. La struttura informativa delle macchine. 4. Sistema, processo, informazione e metodo scientifico.

1. Introduzione storica

Lo sviluppo umano, sia intellettuale che sociale, si riflette negli oggetti artificiali che l'uomo crea allo scopo di controllare la natura. La direzione del progresso umano va dall'utensile verso lo strumento e la macchina. Il semplice utensile, per esempio la zappa, è l'estensione della mano dell'uomo, un mezzo comodo e perfezionato per eseguire il compito necessario di dissodare la terra. L'utensile, o attrezzo che dir si voglia, è un oggetto passivo che aumenta la capacità umana e che fu inventato dall'uomo non appena questi scoprì che certi materiali naturali molto comuni - ad esempio bastoni e pietre - se adattati e usati opportunamente, possono alleviare lo sforzo che egli deve compiere. Può accadere talvolta che un utensile particolarmente indovinato, com'è il caso del martello, centuplichi l'effetto che la mano dell'uomo riesce a produrre da sola, ed allora al suo impiego restano collegate in larga misura credenze magiche, come s'è immancabilmente verificato durante le fasi primordiali dello sviluppo, nelle epoche preistoriche. È chiaro che, con il perfezionarsi delle capacità umane e quindi con il destarsi di desideri e di paure, viene messo in causa il concetto che l'uomo ha di se

stesso. Questo è lo stadio della tecnologia prescientifica, dell'invenzione e dell'uso di semplici utensili atti a eseguire compiti quotidiani. L'attività umana oggi, anche nei paesi occidentali industrializzati, è rimasta ancora in gran parte a questo stadio primitivo o non molto lontana da esso: basti pensare all'agricoltura.

Il primo balzo in avanti fu determinato dall'invenzione degli strumenti: si costruirono cioè oggetti artificiali progettati specificamente per realizzare compiti particolari e precedentemente determinati. Si può considerare Archimede con la sua leva come rappresentante di questo stadio e ricordare la sua celebre frase: "Δὲς μοι ποῦ στῶ καὶ τὴν γῆν κινήσω". Se si accetta l'interpretazione comunemente data a queste parole, egli intendeva spostare la Terra dal suo asse e alterarne così il moto per mezzo della leva. In maniera più evidente, questo secondo stadio fu raggiunto con l'avvento degli strumenti scientifici. Galileo, col piano inclinato o col telescopio, fu il rappresentante principale e l'artefice di questo sviluppo. Per la prima volta venne costruito un oggetto particolare al solo scopo di dimostrare e verificare un'affermazione scientifica riguardante un fenomeno naturale. L'orologio, in cui molti hanno creduto di vedere uno strumento di questo tipo, in realtà è molto più simile a un semplice attrezzo o utensile. Esso riproduce lo scorrere del tempo - o meglio, simula la rotazione della Terra intorno al Sole - ma non può da solo migliorare l'azione dell'uomo. Quindi, per essere esatti, l'orologio non è né un utensile né uno strumento, a meno che non sia usato in laboratorio unitamente ad apparecchiature scientifiche. Esso esegue semplicemente una registrazione meccanica, è un aiuto mnemonico, come lo era in origine la clessidra.

La macchina concepita in senso scientifico comparve con Newton. Le innumerevoli 'macchine' di Leonardo - dall'aliante alle macchine da guerra - erano sempre e soltanto utensili, progettati per migliorare una prestazione umana naturale. La pompa e più ancora la macchina a vapore, sebbene non siano state le prime invenzioni del genere, sono diventate il prototipo della macchina quale mezzo per trasformare l'energia in lavoro. Fu la macchina a vapore a innescare la prima rivoluzione industriale. In essa il carburante, energia a basso livello, è trasformato direttamente in lavoro meccanico ad alto livello. L'enorme ampliamento delle attività umane, reso possibile dalle macchine, ha caratterizzato indelebilmente la civiltà occidentale. Le sue ripercussioni sociali sono tuttora avvertibili e noi continuiamo a pagare il prezzo di una conquista vecchia ormai di un secolo e mezzo. La caratteristica di questa prima rivoluzione è l'energia. La teoria newtoniana ha reso possibile una descrizione globale unificata dei processi fisici in termini meccanici e ha conquistato l'immaginazione dei pensatori occidentali suggerendo un'immagine meccanicistica del mondo. L'energia, la causalità e la legge universale che governa il movimento dei corpi materiali sono le principali caratteristiche di questa immagine. È una visione del mondo che è ampiamente accettata ancor oggi.

Lo stadio seguente dello sviluppo fu raggiunto soltanto nella prima metà di questo secolo allorché, con lo sviluppo della teoria quantistica, la fisica classica superò la fase meccanicistica. Originariamente il movimento di una particella lungo un percorso o un'orbita era spiegato con il principio di causalità; adesso si sa che esso è

guidato anche dalla propagazione nello spazio di un'onda. La radio trasmittente e quella ricevente sono gli strumenti che hanno aperto questo nuovo regno delle onde, superando e trascendendo i familiari fenomeni della luce. Il dispositivo essenziale in questi strumenti è costituito dal feedback (o controreazione), cioè dal controllo dell'energia. È questa innovazione che promosse la seconda rivoluzione industriale, il cui avvento spesso si suole imputare alla cibernetica, alla nuova possibilità del controllo automatico. Il termine 'cibernetica' dal greco κυβερνητική, o 'arte del pilota' - fu introdotto da N. Wiener in quanto sottintende chiaramente anche la presenza dell'uomo nel processo di controllo.

Oggi i calcolatori rappresentano le più perfezionate macchine impiegate nei processi di controllo. Un calcolatore non è semplicemente uno strumento di calcolo. La memoria e la possibilità di scegliere tra più alternative - cioè la programmazione, che gli fornisce un certo potere di valutare le proprie attività - lo rendono in qualche modo simile a un sistema che produce decisioni. Spesso i calcolatori e gli altri strumenti d'informazione sono raccolti sotto la stessa etichetta di cibernetica, alla stessa stregua del semplice feedback. A mio giudizio, sarebbe più giusto considerare il concetto d'informazione e il processo di comunicazione sotto l'aspetto di un nuovo stadio a sé stante e d'importanza decisiva. Infatti, in questo caso, oltre al controllo, abbiamo la possibilità di imporre ordine a un processo spontaneo. Mi sembra giustificato dire che adesso stiamo entrando in una nuova fase o stiamo iniziando una terza rivoluzione industriale che è caratterizzata dall'ordine. L'energia, il controllo e l'ordine riflettono i tre stadi decisivi di questo sviluppo. Così come il primo stadio doveva meccanizzare i processi fisici e il secondo doveva controllarli, il terzo stadio deve meccanizzare i processi intellettuali. Il risparmio di lavoro è necessario e possibile non solo per comuni compiti di tipo fisico, ma anche per compiti intellettuali. È in questo modo che l'uomo può rendersi libero per un lavoro veramente creativo e conseguire così un progresso autentico.

La cibernetica diventa quindi un termine generale per denotare la teoria dei sistemi costruiti dall'uomo. Sotto forma di teoria dell'informazione noi possiamo considerare la cibernetica come uno studio interdisciplinare che abbraccia la totalità del mondo naturale, compreso l'uomo. Pertanto l'informazione è oggi il concetto più importante per la spiegazione scientifica. La cibernetica e la teoria dell'informazione o della comunicazione possono essere quindi impiegate come una metateoria della scienza.

2. L'epistemologia delle macchine

Una teoria costruita per spiegare la scienza e la tecnologia doveva necessariamente svilupparsi essa stessa nell'ambito della ricerca scientifica. Le idee, i concetti e i metodi - sia teorici che pratici - usati dagli scienziati nascono dal loro effettivo lavoro. Tuttavia, soltanto le idee a carattere più generale e i metodi sperimentali che sono più ampiamente usati in molteplici settori possono essere adoperati per descrivere e 'spiegare' l'attività

scientifico. I concetti interdisciplinari sono quindi di primaria importanza; anzi, in realtà, sono essenziali. Nessuno accetterebbe come spiegazione una qualsiasi proposizione, o una serie di proposizioni, applicabili solamente a un settore particolare o a un campo limitato di attività. L'universalità è sempre stata la pretesa dei filosofi tradizionali che hanno creato una teoria della conoscenza o epistemologia; ma tale pretesa è di dubbio valore in quanto le loro concezioni si sono formate in un periodo prescientifico. La loro visione del mondo e dell'uomo, o la chiave in cui interpretavano le esperienze umane, sono derivate da un atteggiamento piuttosto semplice, ingenuo e comune di fronte a quelle stesse esperienze. Ciò è naturale, o meglio inevitabile: ogni forma di teorizzazione deve partire da umili inizi di questo genere. Oggi, tuttavia, siamo avvantaggiati dal fatto di avere alle spalle quasi cinque secoli di ciò che noi chiamiamo scienza moderna. Certamente, dai tempi di Galileo e Newton, grazie ai contributi di scienziati come Darwin, Freud e Einstein, la nostra conoscenza del mondo fisico e degli esseri umani è cambiata enormemente ed è progredita. Benché siano ancora evidenti le tracce - e, talvolta, anche dei residui assai consistenti - del vecchio pensiero prescientifico e magico, sia nella scienza sia nella vita quotidiana, possiamo fondare la spiegazione della scienza, o metascienza, sulla base della scienza moderna stessa.

La scienza moderna comincia con la sperimentazione progettata. Il piano inclinato di Galileo è stato il primo esperimento progettato per verificare un'ipotesi, cioè una affermazione teorica formulata in termini matematici sulla base di certi presupposti riguardanti la gravitazione. Galileo ideò una situazione artificiale che poteva in qualche modo riprodurre o rappresentare un processo naturale. Così le leggi della caduta libera dei gravi poterono essere comprovate tramite il mezzo artificiale di un piano inclinato che servì da modello. Tutti gli esperimenti scientifici si debbono basare sulla costruzione di un sistema artificiale progettato per riprodurre, almeno nelle sue caratteristiche essenziali, un processo naturale che il fisico, ad esempio, si propone di studiare. La sua fantasia, unita alla comprensione e alla conoscenza effettiva del mondo fisico, gli permette di isolare un dato particolare di questo mondo e di ricostruirlo in modo tale che esso diventi accessibile alla manipolazione voluta. La scienza moderna è quindi in primo luogo, e soprattutto, un'attività imperniata su una situazione artificiale prodotta in laboratorio. L'esperimento di laboratorio è costruito secondo un modello teorico che rappresenta una data parte o un dato fenomeno o un dato processo del mondo fisico. La pura e semplice osservazione passiva dei fenomeni che si manifestano spontaneamente non è più sufficiente, come invece era, o doveva essere, per forza di cose, durante lo stadio prescientifico. Il metodo fondamentale della scienza moderna è la sperimentazione attiva basata sul modello teorico di un processo naturale. L'uomo, l'elemento umano, entra così come componente essenziale nella teoria e nella pratica scientifiche. Ciò non è sempre riconosciuto, anche se si guarda alla sperimentazione attiva come al marchio di garanzia della scienza moderna. Con la scienza moderna la stessa natura dell'uomo e le sue capacità dovevano venire considerate come parte integrante del processo scientifico. Nel passato, l'osservazione passiva delle stelle lontane e la

teorizzazione semiteologica del loro comportamento, ad esempio, alimentarono l'illusione che il ruolo dell'uomo nel processo conoscitivo fosse insignificante. Analogamente, la richiesta di 'obiettività', cioè la necessità di tenere lontano dalla rappresentazione del mondo le fantasie, i desideri, i timori personali dello scienziato, condusse all'idea che l'uomo, lo sperimentatore, dovesse rimanere assolutamente escluso dal processo di spiegazione scientifica. Oggi si è compreso che questo punto di vista è completamente sbagliato, anche in fisica.

In laboratorio un processo naturale viene riprodotto in condizioni speciali costruendo un apparato progettato per evidenziarne o rappresentarne le caratteristiche principali secondo un modello teorico. Lo sperimentatore provoca fenomeni che simulano o rappresentano, in parte o nella sua totalità, un processo naturale. Il piano inclinato consente di riprodurre il processo del moto gravitazionale adeguatamente rallentato, in modo da renderlo accessibile alla manipolazione e alla misurazione. Il moto di una particella lungo una traiettoria per effetto della forza di gravitazione è stato, storicamente, il primo modello di un processo naturale. La prima realizzazione sperimentale di tale modello fu ottenuta facendo rotolare una palla lungo un piano inclinato, costruito con il minimo possibile di attrito. In base alle leggi ricavate e confermate per mezzo di questo primo modello, fu possibile calcolare il moto dei pianeti, i fenomeni balistici e tutti gli altri processi di meccanica celeste e terrestre. Gradualmente, e in special modo come risultato della teoria di Newton, non solo i processi meccanici, ma tutti i processi naturali furono visti nei termini di questo modello. La realizzazione sperimentale del modello, e cioè lo speciale apparato costruito per riprodurre e studiare un dato processo, si differenziò in molti tipi diversi. Il modello più generale per schematizzare un processo naturale rimase quello della particella meccanica che si muove lungo un cammino sotto l'azione di una forza centrale e universale. La gravitazione divenne il modello della causalità in atto, e di qui nacque la visione meccanicistica del mondo. Storicamente la meccanica è stata la prima teoria scientifica; è quindi comprensibile che essa abbia mantenuto la sua presa filosofica su di noi così a lungo, addirittura sino a oggi. Ma sia l'elettromagnetismo sia, in seguito, la termodinamica mutarono la concezione meccanicistica della natura e introdussero effettivamente nuovi modelli del mondo, benché ciò non sia stato riconosciuto per molto tempo.

Con la teoria termodinamica fu possibile interpretare qualsiasi processo naturale come una serie di trasformazioni di energia di un sistema chiuso. La macchina - in primo luogo quella a vapore - divenne così il modello generale di ogni processo naturale.

Comunque, la termodinamica rimase a lungo all'ombra della meccanica. I sistemi, e i processi termodinamici che essi svolgevano, erano visti in termini meccanici, e si deve ritenere che molti dei primi equivoci sul secondo principio e sul concetto di entropia abbiano avuto origine proprio da questa interpretazione angusta e piuttosto mal indirizzata. Non è possibile, per esempio, apprezzare la portata e l'importanza del secondo

principio fintanto che si interpreti l'entropia in termini puramente meccanici, come dovuta agli urti tra le molecole di un gas ideale o al moto disordinato di tali particelle.

Soltanto ai nostri giorni si è raggiunta una visione più ampia, dopo che la teoria della relatività ha fornito un quadro dell'universo dal punto di vista elettromagnetico. Un'onda elettromagnetica che si propaga nello spazio è un altro modello, teorico e pratico, di un processo naturale. L'energia è trasmessa da un punto all'altro dello spazio, pensato uniformemente continuo, in modo da soddisfare il principio di causalità. Questa energia radiante, tuttavia, può anche essere usata come segnale per trasportare un messaggio. Il fatto che la più alta velocità possibile per la trasmissione di un segnale sia quella della luce e che questa velocità massima sia una costante universale è postulato nella teoria di Einstein della relatività ristretta. In questo caso, il segnale è concepito semplicemente come una concentrazione di energia, un pacchetto d'onde, invece di un'unica onda a una sola frequenza. Il fatto che un pacchetto d'onde possa essere modulato, sia atto cioè a trasportare un messaggio, non viene preso in considerazione nel contesto relativistico. Tuttavia, l' 'universo della luce' di Einstein è un progresso significativo rispetto al 'meccanismo dei cieli' di Newton.

Il terzo stadio di sviluppo si attua con la termodinamica ed è, come ho appena detto, di data recente. Si può anche dire che, in seguito alla scoperta del controllo mediante il feedback e della trasmissione delle informazioni, abbiamo dovuto modificare la nostra immagine dell'universo. Il sistema termodinamico è la concezione più generale di un processo naturale. Qualsiasi fenomeno può essere considerato come un sistema siffatto, qualsiasi situazione si può ricostruire in questi termini, purché si ammetta una semplificazione ragionevole. Astrarre significa escludere tutti quegli elementi del mondo reale che per il momento non vogliamo studiare, o perché non sono di alcun interesse per noi, oppure perché sono troppo complessi per poterli rappresentare nel nostro modello. Qualsiasi modello è una idealizzazione, nel senso che lasciamo fuori di esso certi aspetti che in natura sono di fatto presenti. Il grosso problema di fondo è sempre quello di creare un modello che sia il più semplice possibile, ma che resti ancora sufficientemente complesso da rappresentare adeguatamente il processo reale.

Un modello è descritto in termini teorici e spesso matematici, poiché intendiamo servircene per calcolare i valori dei parametri che caratterizzano il processo naturale. Un modello è quindi un insieme di relazioni tra variabili, e ogni relazione è specificata sotto forma di equazioni. Questo almeno è ciò che di solito si cerca di fare in fisica. Quando ai parametri di un'equazione vengono dati valori numerici, si ottiene una struttura particolare. Un modello è perciò anche una classe di strutture. E, a seconda delle varie ipotesi fondamentali che vengono fatte, abbiamo di volta in volta modelli lineari, statici, dinamici, stocastici, micro e macro-modelli; i termini qui usati si spiegano chiaramente da soli.

Il processo termodinamico è un modello astratto e universale, di tipo lineare e dinamico, che combina caratteristiche macroscopiche e microscopiche. Ormai non concepiamo più un processo alla stregua di una

palla che rotola per gravità lungo un piano inclinato. Abbiamo, invece, un sistema totalmente isolato da influenze esterne incontrollabili; e nel sistema si svolge un processo, per il quale si passa 'in modo infinitamente lento' da uno stato di equilibrio a un altro stato di equilibrio. Il grado di astrazione e di idealizzazione richiesto in questo caso è certo grandissimo. Malgrado ciò, sia il modello che la teoria costruita su di esso hanno avuto immenso successo, come è dimostrato dal motore termico o, più in generale, dal funzionamento di qualsiasi macchina.

Consideriamo per prima cosa il sistema termodinamico. Le molecole di gas sono contenute in un cilindro che è chiuso da un pistone in grado di muoversi in su e in giù; il processo consiste nel fatto che il sistema cambia la sua energia passando da uno stato di equilibrio a un altro stato di equilibrio in maniera 'reversibile'; e i diversi stati sono indicati dalla posizione del pistone. Le tre restrizioni fondamentali - il carattere chiuso del sistema, il carattere di equilibrio dei suoi stati e la reversibilità del processo - sono inevitabili. Persino la termodinamica moderna, così detta 'irreversibile' (v. termodinamica irreversibile e sinergetica), che tratta di sistemi 'aperti', non sfugge a queste restrizioni. Tutto ciò che si può ottenere trattando i sistemi 'aperti' è di specificare un meccanismo, in casi particolari, che ci permetta di calcolare la perdita di energia disponibile, cioè la quantità di irreversibilità. Il carattere 'aperto' del sistema consiste soltanto nella 'stazionarietà' dello stato - tanta energia entra quanta ne esce dal sistema -, che lo rende nuovamente uno stato di equilibrio dinamico simile all'equilibrio statico del sistema chiuso. Comunque, l'ambiente, selezionato e limitato secondo criteri particolari, è ora incluso nel processo. Certo, questo è un miglioramento rispetto alla versione più antica del sistema termodinamico; ma non è, o per lo meno non è ancora, un superamento radicale.

Così, sarà sufficiente trattare il sistema termodinamico come di solito è stato concepito e rappresentato dalla macchina di Carnot. Il sistema che passa da uno stato di equilibrio ad un altro 'in maniera infinitamente lenta' rende possibile usare 'variabili di stato' per descrivere il processo. L'equilibrio è uno stato che il sistema chiuso raggiungerà alla fine se lasciato indisturbato. Questo implica che qualsiasi perturbazione deve provenire dall'esterno; così per iniziare il processo il sistema deve essere aperto. Comunque questa apertura iniziale che serve per introdurre nel sistema energia, o calore o lavoro, non può essere inclusa nella descrizione teorica e quindi rimane al di fuori del modello. Tutto ciò che possiamo descrivere è lo stato di equilibrio iniziale e il fatto che, intervenendo in qualche modo sul sistema, lo portiamo in un altro stato di equilibrio. Non si può specificare esattamente la quantità di energia 'esterna', calore o lavoro, necessaria per lo svolgimento del processo, benché i due stati interessati siano ritenuti di equilibrio e differiscano per una quantità esatta di energia 'interna'. Ciò significa che un tale stato è caratterizzato da un insieme unico di variabili di stato, i cui valori sono indipendenti dal modo in cui è stato prodotto l'equilibrio. La pressione, il volume e la temperatura sono quindi variabili di stato, mentre il lavoro e il calore non lo sono, poiché la loro entità dipende necessariamente dal modo in cui vengono ceduti al sistema. Tuttavia, è possibile definire una variabile di stato

che ci consenta di tener conto, anche se indirettamente, del calore o energia 'disorganizzata'. Questa variabile è l'entropia.

L'entropia, quale misura dell'ordine o del disordine dell'energia, è la più importante variabile del sistema. Lo stato di equilibrio quindi è caratterizzato dal massimo valore di entropia che risulta compatibile con i valori della pressione, del volume, della temperatura, ecc., del sistema considerato nel suo insieme. Il secondo principio stabilisce che in qualsiasi processo naturale l'entropia aumenta o, tutt'al più, rimane costante. Questa perdita di energia 'utilizzabile' è perciò senz'altro compatibile con il primo principio e cioè con la conservazione dell'energia. L'energia, infatti, non viene perduta in assoluto, mediante l'attrito o qualche altra azione di dispersione, ma semplicemente diventa non più disponibile per un lavoro utile nell'ambito del particolare sistema che si sta considerando.

L'entropia diventa la misura dell'ordine, in particolare allo zero assoluto in cui lo stato di energia del sistema è al livello più basso possibile. Qui abbiamo l'energia di 'punto zero', che il terzo principio descrive in termini di impossibilità di raggiungere lo zero assoluto di temperatura. E qui si precisa anche il limite di questa idealizzazione: nessun sistema può essere assolutamente privo di energia; non si può attuare alcun processo senza che vi sia per esso un minimo di energia disponibile. Analogamente, benché l'entropia di un sistema - come misura del suo disordine - possa sempre essere posta arbitrariamente uguale a zero, qualsiasi processo produrrà sempre un aumento di entropia eccetto che allo zero assoluto. Tale aumento pone un altro limite all'idealizzazione teorica: ciò che si spende in qualsiasi processo va considerato non solo in termini di energia, ma anche in termini di ordine.

A prima vista, viene fatto di considerare ordinato un sistema di atomi, ad esempio, se esso mostra un'effettiva disposizione spaziale ordinata, del tipo di quella di un cristallo; infatti, questa è la condizione generale di un qualsiasi sistema a bassa temperatura. Poi quest'ordine - o disordine - viene rappresentato in termini di energia, come distribuzione delle particelle tra le celle di uno spazio immaginario delle energie, o delle quantità di moto, o, in generale, delle fasi. Il punto principale è che l'ordine - concetto chiave - è un qualcosa di artificiosamente e arbitrariamente definito. Una distribuzione omogenea, e cioè una ripartizione di tutte le energie di cui il sistema è capace (dall'energia di punto zero al massimo) uguale per tutte le particelle, è considerata come il più alto grado di disordine. L'ordine, da questo punto di vista, non è 'uniformità'. Non è l'ordine del cristallo nello spazio reale. L'ordine è definito qui come lo stato in cui tutte le particelle hanno la stessa energia, oppure occupano la stessa cella nello spazio delle fasi. Queste considerazioni mostrano subito che qualsiasi sistema deve essere riguardato da un punto di vista statistico, poiché può rivelare ordine solo se è composto da un grande numero di costituenti. Questo punto di vista microfisico ebbe origine storicamente dall'atomismo, che è parte della concezione meccanicistica del mondo.

Esempio di questo processo naturale è il motore termico, che è a sua volta il prototipo di qualsiasi altra macchina. Il movimento effettivo di ogni sua componente è puramente accidentale rispetto alla trasformazione di energia che si verifica. Il moto delle particelle nello spazio e nel tempo, secondo le leggi della meccanica, non rappresenta più, ormai, la descrizione di un processo naturale. Adesso tale descrizione è data dalla variazione nella distribuzione statistica dell'energia tra le particelle. La prestazione di una macchina - il ciclo di Carnot -, che ripete periodicamente le stesse variazioni, va quindi descritta in termini statistici. Al posto della legge di gravitazione che governa, ad esempio, il comportamento di una singola massa puntiforme, abbiamo una legge di distribuzione statistica, che si realizza nell'incontro casuale delle molecole. Al posto della legge universale di causalità che unisce un punto al suo successivo, lungo una singola catena di eventi, abbiamo una rete estesa di eventi che terminano comunque in uno stato di equilibrio. Invece di svilupparsi attraverso una semplice linea di azione causale, il processo tende verso un fine ultimo, o effetto, che consente il verificarsi di fluttuazioni e deviazioni.

Prima di continuare a illustrare il modo di operare dei processi statistici, vorrei descrivere il controllo sull'azione di una macchina quale è stato introdotto dal feedback. Fin qui, la macchina è semplicemente un motore termico - per esempio la macchina di Carnot - che trasforma energia in lavoro. La rappresentazione materiale è, diciamo, la macchina a vapore. Il regolatore di Watt controlla il funzionamento della macchina a vapore interrompendo l'erogazione di energia - in questo caso il vapore - quando la ruota gira troppo velocemente, e viceversa. La regolazione avviene automaticamente mediante un comando di velocità. In altre parole, il meccanismo causale della macchina viene ad essere complicato dall'effetto stesso, che reagisce sulla causa: vale a dire dalla velocità della ruota che controlla l'erogazione del vapore. Questo 'ciclo causale' è un'altra limitazione imposta a quell'idea semplice di azione causale, individuale e universale, che ci viene fornita dalla meccanica di Newton. Inoltre, da un punto di vista metateorico, il controllo si attua mediante una deviazione dalla norma, oppure mediante l'errore provocato dal funzionamento scorretto della macchina.

L'errore, come ad esempio la fluttuazione intorno a uno stato di equilibrio, è un fattore inevitabile in qualsiasi macchina reale. Invece di un legame semplice e diretto tra causa ed effetto, abbiamo adesso una 'funzione transfer' (o 'funzione di trasferimento') tra input e output - cioè tra causa ed effetto, o tra stimolo e risposta - che non è più né completamente determinata dall'input né con esso coincidente.

Vediamo allora la macchina come un sistema termodinamico che funziona secondo un ciclo simile a quello della macchina di Carnot, ma sotto controllo automatico.

Un sistema termodinamico, lasciato a se stesso, finirà sempre per raggiungere uno stato di equilibrio che è determinato dai valori globali delle variabili di stato. Questo è lo stato più probabile o lo stato di massima entropia per le condizioni date. C'è quindi una tendenza già evidente in un sistema chiuso: la tendenza all'equilibrio. Comunque, si deve distinguere nettamente questo comportamento dal modo in cui un motore

termico, quando si trova sotto controllo del feedback, raggiunge una produzione stabile di lavoro per una data entrata di calore. Qualsiasi motore, per quanto ideale, ha un gas come propellente il cui comportamento è statistico e quindi comporta necessariamente delle fluttuazioni. Ciò rappresenta la caratteristica microscopica nel modello di funzionamento della macchina, che per il resto è macroscopico. Fintanto che per un dato input queste fluttuazioni sono relativamente piccole - per esempio, quando vogliamo far funzionare il motore al massimo della sua efficienza - possiamo impiegare un feedback negativo per stabilizzare l'output. L'esistenza di un equilibrio è, comunque, la condizione di partenza per un controllo a feedback. L'errore o lo scarto tra input e output genera la sua correzione, ma soltanto entro certi limiti. Pertanto, si raggiunge l'organizzazione attraverso l'azione dinamica, retroattiva. Lo stato finale di equilibrio di un sistema chiuso, lasciato a se stesso e senza controllo, è un livello statico, morto. L'equilibrio di un sistema sotto controllo a feedback è dinamico e potrebbe, in linea di principio, condurre ad altri stati, se il controllo venisse sospeso o modificato.

Il feedback è quindi l'agente che può produrre organizzazione e ordine per certe caratteristiche, per l'output ad esempio, di un sistema dinamico. Tale comportamento può anche essere chiamato 'stabilizzazione' del sistema dinamico. Uno stato del sistema altamente organizzato è stabilizzato dall'azione del feedback, mentre l'equilibrio del sistema non controllato è lo stato naturale di organizzazione minima. Ambedue le tendenze - per il sistema chiuso la tendenza a giungere a un equilibrio e per la macchina controllata la tendenza a mantenere un output stabile - dipendono dal comportamento statistico del mezzo che produce lavoro. Non c'è dubbio che il carattere statistico o casuale del processo termodinamico conduca all'equilibrio finale del sistema chiuso. Un po' meno sicuro è che l'azione di feedback stessa sia statistica, in quanto l'accoppiamento tra fluttuazioni e output stabilizzato avviene mediante un collegamento meccanico o elettromagnetico. Il regolatore di Watt rallenta, o consente di accelerare; la rotazione di un asse per inerzia meccanica. Il feedback elettromagnetico in un amplificatore mantiene costanti le oscillazioni tramite una reazione di tensione-corrente. Al contrario del feedback meccanico, quello elettromagnetico permette di amplificare il segnale di errore a livello utile e aumentare così la sensibilità del dispositivo; è per questa ragione che la cibernetica basata sul feedback ebbe inizio solamente con l'invenzione della radio. Sebbene l'azione del feedback richieda del tempo, in linea di principio, per passare dall'effetto alla causa e per modificare l'azione, in pratica tuttavia spesso essa è istantanea. Comunque, ciò che dà luogo al feedback è la fluttuazione, cioè lo scarto tra l'output istantaneo e una norma prefissata: ad esempio la velocità stabilita dell'asse o il livello predeterminato di ampiezza delle oscillazioni. Tali fluttuazioni sono proprie anche del sistema fisico più perfetto o 'ideale', sempre che si intenda costituito da qualche componente microfisica. Se non ci fossero gli errori, quel dispositivo di correzione degli errori che è il feedback non potrebbe funzionare. Tutto ciò è importante per capire il carattere causale del processo di feedback. Benché si possa considerare strettamente deterministica la retroazione dall'effetto alla causa - dall'output istantaneo all'input istantaneo -,

l'effetto, preso come causa di tale retroazione, è dovuto a una fluttuazione statistica. Difficilmente si può pensare che la barra metallica del regolatore di Watt, che apre e chiude la valvola per azione dell'inerzia dei contrappesi rotanti, produca qualcosa di diverso da un effetto deterministico. La corrente elettrica o la tensione, che regolano il feedback elettromagnetico, potrebbero essere considerate come un collegamento statistico a patto di ritenerle dovute agli elettroni, cioè se si adotta il punto di vista microfisico. Arriviamo così all'intuizione profonda che il determinismo rigoroso - e cioè la connessione necessaria e univoca fra causa ed effetto - già non regge più non appena si tratti di interpretare il funzionamento di una macchina controllata dal feedback, mentre proprio la macchina è ciò che viene generalmente citato come l'esempio per eccellenza di sistema deterministico.

Prima di proseguire questa trattazione teorica, consideriamo nei particolari il feedback da un punto di vista più tecnico. La regolazione o la stabilizzazione dell'effetto mediante la controreazione dipende dalle caratteristiche generali del sistema nel suo complesso. Il diagramma rappresenta il sistema più semplice possibile; θ_i , θ_0 sono rispettivamente l'input e l'output ed A è il fattore di amplificazione. Indicando con

$$\varepsilon = \theta_i - \theta_0 \quad (1)$$

e, presupponendo la linearità, si ha

$$\theta_0 = A \cdot \varepsilon, \quad (2)$$

in cui A è il fattore guadagno. Se la maglia del feedback è disconnessa, il sistema si comporta come se fosse $\theta_0 = 0$; per tale condizione di maglia aperta si ha:

$$\theta_0 = 0, \quad \varepsilon = \theta_i. \quad (2a)$$

In generale:

$$\theta_0 / \theta_i = \theta_0 / \varepsilon = A, \quad (2b)$$

e

$$\theta_0 / A = \theta_i - \theta_0 \quad (3)$$

quindi

$$\theta_0/\theta_i = A/(1+A). \quad (3a)$$

Questa funzione di trasferimento tra input e output può quindi rappresentare la relazione di feedback in una linea aperta.

La funzione di trasferimento dimostra che l'azione del feedback somiglia a un processo causale benché esso comporti una ramificazione di percorsi causali. C'è uno stato finale, un effetto che è stato programmato; la sua stabilità è garantita dal feedback, il cui funzionamento dipende dalle variazioni statistiche dell'effetto. Le fluttuazioni derivano da perturbazioni del sistema sia interne che esterne. Il feedback fa funzionare il sistema indipendentemente dalle perturbazioni, a patto che queste non siano troppo grandi. Le fluttuazioni statistiche vengono così rese inefficaci dal sistema. La funzione di trasferimento rappresenta quindi un tipo di legame causale tra input e output; ma il legame possiede limiti di estensione, contiene elementi di indeterminazione ed è limitato dal sistema.

Nella fisica classica si considera la catena causale, in linea di principio, come una linea continua, cioè unica e quindi necessaria, illimitata e anche infinita in lunghezza. La teoria della relatività spezza la catena causale in elementi la cui lunghezza finita è quella determinata dalla velocità della luce. Il feedback abbrevia i percorsi causali possibili adattandoli alla dimensione del sistema. Nel sistema la perdita di potere causale è compensata dal corrispondente guadagno di organizzazione. Si verifica minore interferenza nei confronti dell'effetto programmato, maggiore libertà da disturbi incontrollabili, e quindi ne risulta un grado maggiore di organizzazione.

Non esiste alcun circolo vizioso nel feedback negativo, come si potrebbe credere secondo un rigido determinismo. L'effetto non è la causa della causa originaria. Supponiamo che la causa originaria sia, ad esempio, il combustibile che fa funzionare la macchina a vapore; il feedback assorbe una piccola parte dell'energia contenuta nell'effetto per far sì che il regolatore di Watt apra la valvola. Questa seconda causa è la deviazione dallo stato di output stabile ed è decisamente statistica. Se mancasse il feedback, la macchina funzionerebbe irregolarmente, ma secondo il principio di causalità. Se il feedback fosse completo, la macchina funzionerebbe regolarmente, ma statisticamente. Il funzionamento reale della macchina sta fra questi due estremi. Il determinismo assoluto e il caso assoluto sono solo astrazioni matematiche.

Le fluttuazioni nell'output sono trasmesse a un congegno di controllo e influiscono così sull'input e cioè sulla causa; di solito, per migliorare il rendimento dell'azione di feedback, viene introdotta una fonte autonoma di energia, e cioè un servomeccanismo. Ciò dimostra che è necessario molto di più della semplice causalità se si vuole spiegare il modo in cui funziona un controllo. Il feedback aumenta la probabilità di ottenere un effetto

programmato. Quindi si deve veramente considerare il feedback come uno strumento primario di elaborazione dell'informazione. L'informazione è ritrasmessa a un controllo che è stato predisposto da un operatore al livello di prestazione desiderato e per un dato scopo. La prestazione della macchina è descritta piuttosto tramite il concetto di comunicazione che tramite quello della semplice causalità, e comporta necessariamente un agente umano. Al di sopra e al di là della sequenza degli eventi nello spazio e nel tempo, dobbiamo considerare l'ordine e l'organizzazione di un sistema.

Se consideriamo la 'macchina' il modello di un processo naturale e desideriamo spiegarne il funzionamento, dobbiamo ricadere nel modello dell'universo, che è quello più generale che ci offre la natura, e che fornisce una base epistemologica. Siamo quindi portati a giudicare la macchina dal punto di vista di una tradizione vecchia e non più valida e a introdurre un metodo ontologico che è insito nelle ipotesi che sono alla base del modello. La macchina è considerata normalmente il frutto della meccanica di Newton. L'universo infinito, così come è esemplificato dalla meccanica celeste di Newton, comporta un determinismo assoluto. Le condizioni iniziali in qualsiasi momento, in assenza di condizioni al contorno finite, dipendono soltanto dalle condizioni iniziali di un qualunque momento precedente. Così, tutti gli eventi dell'universo sono legati insieme in una catena infinitamente lunga di azione causale, cioè di trasmissione di energia. Se guardiamo alla sequenza degli eventi dal punto di vista della creazione avvenuta da un'infinità di tempo, abbiamo un determinismo completo e addirittura la predeterminazione. La struttura assoluta di spazio e tempo di Newton, secondo la definizione che compare nello Scolio, stabilisce anche la struttura causale dell'universo.

L'universo finito introdotto da Einstein rende relativi lo spazio e il tempo e la catena di causalità è ristretta alla distanza tra gli eventi così come è data dalla velocità della luce. Quindi, nell'universo ci sono sempre eventi che non sono legati per causalità e che non lo saranno mai. Nella rappresentazione del mondo è perciò ammessa la casualità.

La catena causale si spezza completamente quando, nel misurare gli eventi, siamo costretti, come in microfisica, a correlare spazio, tempo ed energia. Il principio di indeterminazione: $\Delta x \Delta p \sim \hbar$ e $\Delta E \Delta t \sim \hbar$ rende statistica la sequenza degli eventi. Essa è ancora causale, nel senso che la trasmissione di energia collega fra di loro gli eventi; la conoscenza degli eventi precedenti può ancora essere utilizzata per predire gli eventi successivi e quindi per stabilire così la sequenza; ma la sequenza mostra dispersione, una 'dispersione' statistica. Questa dispersione, misurata ad esempio dalla varianza, non è infinita; essa è finita e dell'ordine di \hbar . Il caos assoluto è quindi escluso. Ci sono relazioni tra gli eventi, l'azione causale è possibile ma incerta. La causa e l'effetto non sono né rigidamente connessi né completamente isolati l'uno dall'altro. Comunque, nei limiti dell'incertezza si possono stabilire nuove relazioni tra le cose e gli eventi, così come l'entropia consente di stabilirne nel regno della microfisica classica. Le cose e gli eventi possono essere organizzati in modelli;

dobbiamo spiegare un processo naturale in termini di ordine e non solo di energia - proprietà queste di un sistema di particelle e non solo della particella singola.

Se guardiamo la 'macchina' sullo sfondo di queste nuove idee introdotte dalla fisica moderna, possiamo dire quanto segue. Non possiamo più spiegare il comportamento della macchina in termini newtoniani. Il determinismo assoluto e anche il determinismo relativo e la causalità statistica non sono sufficienti. Se vogliamo descrivere ciò che le macchine possono fare, abbiamo bisogno dell'ordine e dell'organizzazione del sistema, che sono proprietà di secondo livello. (v. anche relatività; quanti, teoria dei; meccanica statistica).

3. La struttura informativa delle macchine

L'ordine e l'organizzazione, non la causalità, sono la caratteristica principale delle macchine. Nasce quindi una gerarchia delle macchine secondo il grado di organizzazione e la quantità di ordine che esse sono in grado di produrre. Il motore termico trasforma l'energia degradata, o combustibile, in lavoro, o energia coordinata. L'ordine è prodotto a spese dell'energia e dell'ordine esistenti altrove. La macchina propriamente detta, controllata dal feedback, mantiene stazionario il suo output sia a un basso livello stabile che a un massimo. Quindi, una certa quantità di ordine è mantenuta dall'azione del feedback. Mentre un motore è di per sé un convertitore di energia, la macchina controllata converte energia e produce ordine. Arriviamo così al terzo stadio: il calcolatore e i suoi derivati. Il compito del calcolatore consiste nel trasformare un input relativamente poco ordinato in un output fortemente ordinato, o nel cambiare una quantità di informazioni o istruzioni potenziali in una quantità più ampia di informazione effettiva. Il calcolatore è uno strumento di elaborazione dell'informazione. L'organizzazione interna di un calcolatore, specialmente la sua memoria e il meccanismo decisionale, consente lo svolgimento di un processo dinamico che causa un aumento di organizzazione o ordine. Le istruzioni e i dati - cioè l'input di incertezza relativamente alta - vengono trasformati in informazione, cioè in un output ben determinato.

L'ordine è una proprietà di secondo livello; per un qualsiasi sistema si richiede, come entità di primo livello, energia o materia. Comunque questo non significa che l'ordine o l'organizzazione o la distribuzione siano meno reali delle entità che li compongono. Qui stiamo parlando di sistemi piuttosto che di unità isolate: è il sistema nel suo complesso, e la sua organizzazione, che posseggono le proprietà più alte, quelle di secondo livello. Si raggiunge quindi un livello più alto di 'integrazione' dei fenomeni naturali se si può indagare e conoscere l'intero sistema piuttosto che le singole parti. Diventano accessibili all'indagine una gamma più ampia e un livello più alto di fenomeni.

Dall'amplificatore di energia al convertitore di energia e al produttore di energia coordinata (e cioè dallo strumento al motore termico e alla macchina) fino all'elaboratore dell'informazione: questa sequenza illustra in

quale modo si sviluppino la scienza e la tecnologia e come si ampli la conoscenza umana. Non si tratta tanto di disporre di più energia, quanto di servirsene meglio.

Il risultato dell'azione di ogni macchina è un aumento di ordine. Perfino la trasformazione del calore in lavoro - essendo il lavoro espresso dal prodotto fra una forza e uno spostamento ed essendo quindi in esso implicito il concetto di direzione - comporta un aumento di ordine, anche se la termodinamica classica non si sofferma su questo punto. L'ordine non è una proprietà che la fisica classica possa trattare in maniera adeguata; il secondo principio ha un carattere essenzialmente microfisico, statistico e quindi non soggetto al determinismo.

Naturalmente, per ottenere un aumento di ordine si deve spendere sia energia che ordine. Malgrado tutto, le macchine sono dispositivi antientropici nei loro effetti, e quindi la loro analogia con gli esseri viventi è molto spiccata. Non va dimenticato che, storicamente, la macchina fu concepita a immagine dell'uomo, come dimostrano gli automi del XV e XVI secolo che ne furono i precursori. Si può quindi capire perché lo studio degli automi (o 'robotica') sia così strettamente connesso ai calcolatori. C'è di più: anche l'organismo, o la cellula, non è soltanto un semplice convertitore di energia, ma, come ha dimostrato la genetica, è un elaboratore di informazioni. L'organizzazione e la gerarchia dell'ordine costituiscono la caratteristica essenziale della vita: ne troviamo un esempio anche nella macchina. Esistono buone ragioni per dire che il susseguirsi delle invenzioni di dispositivi meccanici ed elettronici è parallelo, in certo qual modo, all'evoluzione intellettuale ed emotiva dell'uomo. La scienza occidentale è cominciata con l'astronomia, con l'osservazione degli oggetti più remoti che si riuscissero a scorgere, ed è arrivata finalmente, nell'epoca moderna, alla psicologia (sia individuale che sociale) e alle ricerche sull'uomo.

L'enorme divario, apparentemente incolmabile, tra le scienze cosiddette naturali (o fisiche) e le scienze sociali (o umane) può adesso ridursi e forse scomparire. La scienza, intesa come iniziativa di ricerca, sta diventando interdisciplinare. Originariamente la macchina fu concepita in rapporto con l'uomo, come una sua estensione e quindi come una sua riproduzione. Il progresso della scienza e della tecnologia ha poi trasformato questa macchina in qualcosa che somiglia più da vicino a un sistema vivente, all'organismo. Oggetto attuale della ricerca scientifica sono l'organizzazione, le proprietà dei sistemi, l'integrazione di entità isolate in un modello e lo studio di quelle proprietà dei modelli che risultano molto diverse da quelle degli oggetti isolati.

Ciò si riflette nel rigetto del meccanicismo, nel rifiuto di spiegare ogni fenomeno in termini meccanici; di conseguenza viene abbandonato il determinismo assoluto che fa della causalità un'unica sequenza di azioni, necessaria e infinitamente estesa. La chiave di questo sviluppo rivoluzionario è il concetto di ordine. L'ordine è un concetto di secondo livello, una proprietà dei sistemi, non delle cose. Così, ogni discussione sulla realtà di tali proprietà verte sul problema di stabilire se siano più fondamentali i concetti di primo o di secondo livello. È come dire che non si può distinguere tra un mucchio di mattoni e una casa, poiché differiscono solamente per l'ordine in cui sono disposti i mattoni. Se l'argomento che ci sta a cuore sono le case, ad

esempio, e il modo di renderle più comode, esse saranno da noi assunte come la realtà da studiare. Se vogliamo costruire una casa solida, la nostra prima preoccupazione sarà la qualità dei mattoni. Indubbiamente tale problema sarebbe stato privo di significato per l'uomo delle caverne poiché egli ignorava l'arte di costruire le case in mattoni. L'uomo moderno, tuttora convinto che l'unica realtà sia rappresentata dalla meccanica classica delle particelle, non fa altro che condividere lo stesso punto di vista del cavernicolo. Gli elementi del mondo reale che appartengono al secondo livello sono non-materiali, ma non necessariamente frutto della nostra immaginazione. Al contrario: sembra che l'evoluzione, processo fondamentale della vita sulla Terra, conduca in ogni sfera a livelli di organizzazione sempre più alti.

Anche questo risulta evidente se consideriamo lo sviluppo storico delle macchine. L'introduzione del controllo automatico mediante il feedback fu soltanto il primo passo. Allorché divenne possibile il controllo variabile del funzionamento di una macchina, aggiungendo una memoria e un meccanismo di decisioni, si ottenne il calcolatore. Il calcolatore è la prima e fondamentale macchina che sia stata chiamata intelligente. E dal calcolatore si è evoluto un numero sempre crescente di tali macchine, dotate di capacità sempre più perfezionate: dapprima la macchina logica capace di deduzione e di dimostrazione matematica; poi la macchina che riconosce forme e il perceptron; poi le macchine che apprendono e che possono migliorare il proprio rendimento in base all'esperienza; infine, i sistemi che si autorganizzano e si autoriproducono: questo sviluppo giunge alla sua conclusione naturale allorché si arriva a un dispositivo che somiglia a un organismo. Se teniamo presente che, in origine, la macchina nacque dall'automa progettato per riprodurre caratteristiche umane, ci accorgiamo che siamo ritornati al punto di partenza. Ovviamente, l'impulso iniziale che ha promosso questo sviluppo si mantiene tuttora. È importante comprendere queste considerazioni, dal momento che sono sorte tante futili polemiche sul rapporto tra l'uomo e la macchina.

Se si accetta l'idea che queste macchine possono 'pensare', in una certa accezione di questo termine, allora ne consegue una gerarchia logica di processi. Al primo livello abbiamo un sistema interamente determinato, con causalità newtoniana; ciò è irrealizzabile nella pratica, benché si creda comunemente ed erroneamente che ogni macchina sia l'esemplificazione di un tale sistema. Il secondo livello di questa gerarchia è rappresentato da un sistema controllato dal feedback in cui un dispositivo automatico fisso regola il comportamento. Il processo stocastico che è implicito in questo sistema, tuttavia, distrugge il modello di azione deterministico univoco e lo sostituisce con un modello plurivoco, per quanto la distribuzione di probabilità possa essere molto stretta. Nonostante ciò, questo è un tipo di autocorrezione che viene considerato normalmente come comportamento intelligente, dato che manifesta una certa capacità di adattamento: le deviazioni dallo stato di equilibrio retroagiscono su se stesse per mantenere stabile l'output. Tale sistema di secondo livello è un dispositivo che elabora ordine. Il livello successivo, il terzo, è quello del calcolatore con controllo variabile o istruzione. Il calcolatore ha un programma che gli consente di comportarsi secondo una gamma ampia, ma pur

sempre limitata, di modelli plurivoci di risposta. Il programma fornisce le istruzioni - cioè l'informazione potenziale - che trasformano i dati iniziali in informazione effettiva. Un calcolo matematico, ad esempio, può essere eseguito rapidamente seguendo un metodo di approssimazione numerica. A questo proposito, si deve tenere ben presente il fatto che i calcolatori numerici più perfezionati possono eseguire una sola operazione aritmetica, vale a dire aggiungere un'unità all'altra, e una sola operazione logica, cioè la scelta tra le due alternative 'sì' e 'no'. Tutto quello che si chiede a un calcolatore è di eseguire le addizioni e di decidere univocamente fra due alternative. I risultati che si ottengono in base a tale meccanismo - uno dei più semplici che si possano immaginare - sono il prodotto della complessità dei dati e del programma introdotti dall'esterno.

Ora, se si programma un calcolatore in modo che esso possa scegliere tra varie alternative, lo si rende adattabile secondo un'accezione ragionevole del termine. E questo è il quarto livello: il sistema può adattarsi a una gamma di possibilità e prendere una decisione. Il programma contiene una funzione discriminante o valutativa che fa sì che il calcolatore provi ed esamini per tentativi i vari percorsi di calcolo possibili, che confronti i risultati con una data risposta campione e scopra se si adattano a un dato modello. Le macchine 'che apprendono' si possono porre a questo livello poiché, entro certi limiti, possono migliorare la propria prestazione con l'esperienza acquisita nelle operazioni di confronto.

Lo stadio finale è l'autorganizzazione e l'autoriproduzione. Come ha dimostrato J. von Neumann, questo è teoricamente possibile purché tanto il calcolatore quanto l'ambiente siano sufficientemente 'complessi'. "La complessità" egli ha detto, è "un'idea intuitiva, ma vaga, non scientifica e imperfetta. Questo concetto appartiene chiaramente al campo della teoria della informazione, e ad essa sono pertinenti considerazioni semi-termodinamiche" (v. von Neumann, 1966). Ancora oggi il problema principale della cibernetica consiste nel descrivere e nello spiegare la complessità - cioè il grado di organizzazione del sistema così come è rappresentato dai dati e dal programma - in termini di teoria dell'informazione. Si deve giudicare la gerarchia degli strumenti di elaborazione dell'informazione sulla base dell'informazione potenziale o delle istruzioni necessarie affinché essi funzionino.

A questo punto si rende quindi necessario esaminare il modello più generale di calcolatore e il suo funzionamento. Il calcolatore o elaboratore è oggi una macchina elettronico-numerica ad alta velocità, destinata a impieghi svariati con programma memorizzato. Ha un'unità di ingresso o input (per es., un lettore di schede perforate), un'unità di uscita o output (per es., un perforatore di schede), un'unità di memoria (per es., un nastro magnetico), un'unità aritmetica (di calcolo) e un'unità di controllo. Il calcolatore riceve un programma e i dati attraverso l'unità d'ingresso; il programma è un elenco di istruzioni che indica come vanno risolti i problemi di un certo tipo. Il calcolatore memorizza il programma e i dati; l'unità di controllo esamina ciascuna istruzione e, se è necessario, fa uso dell'unità aritmetica; anche i risultati temporanei sono

memorizzati. L'unità di uscita comunica il risultato finale. I calcolatori moderni sono velocissimi e precisi: possono moltiplicare, ogni secondo, circa 10^6 numeri di 12 cifre ed eseguire 10^9 operazioni senza commettere un solo errore. L'unità di calcolo è in grado di accettare, mettiamo, i dati A e B e di seguire le istruzioni specifiche di un'assegnata operazione, per esempio di confronto, che indichiamo qui con il simbolo \circ ; quindi esegue l'operazione per ottenere $A \circ B = C$. L'unità di controllo può scegliere tra vari programmi; spesso è costruita per seguire nuove istruzioni ricavate dalla macchina per mezzo delle istruzioni originali; in tal senso il calcolatore è automatico, cioè si autoguida. I canali di segnale trasmettono le istruzioni e i dati che debbono essere elaborati. I canali di controllo mettono in comunicazione l'unità di controllo e l'unità aritmetica, e, in risposta a segnali appropriati, 'aprono' le soglie dei canali di segnale. Il calcolatore numerico 'simula' le operazioni prescritte dalle istruzioni con numeri (espressi con un certo numero finito di cifre significative). Abbiamo quindi sempre a che fare con quantità discrete. Si possono simulare le più svariate operazioni aritmetiche e logiche; è perfino possibile rappresentare con una sequenza temporale di operazioni numeriche le funzioni continue, fino al grado di precisione richiesto.

Così, ciò che è 'intelligente' è il programma piuttosto che la macchina stessa. I calcoli logici e aritmetici vengono eseguiti disponendo le operazioni 'di base' in una certa sequenza, l' 'algoritmo'. Si tratta quindi di inventare un algoritmo adatto per un dato obiettivo. Devono essere soddisfatte le seguenti condizioni: ogni singolo passo deve essere eseguibile; la sequenza dei passi deve essere univoca; l'obiettivo deve essere raggiunto dopo un numero finito di passi. Poiché di solito l'algoritmo parte da dati che sono, entro certi limiti, variabili, uno stesso algoritmo risolverà tutti i problemi di una certa classe. Il concetto di algoritmo è quindi più ampio di quello di 'programma'; infatti, il programma non è che un algoritmo specifico già elaborato per un calcolatore particolare.

L'algoritmo prescrive la sequenza delle operazioni sotto forma numerica, però dipende da come si interpretano i numeri, cioè da come abbiamo simulato la sequenza del processo naturale reale di cui vogliamo trovare il risultato e da come vengono rappresentati i dati dell'input, nonché i risultati finali dell'output. Perciò l'algoritmo è un modello simbolico del processo reale.

Il programma, o algoritmo 'adattato', contiene due tipi fondamentali di istruzioni: la funzione e l'indirizzo. La funzione specifica, in un appropriato codice, il tipo di operazioni da eseguire; l'indirizzo dà il numero di serie, o 'cella', in cui è memorizzata l'operazione fondamentale. Le celle di memoria contengono anche i dati.

L'istruzione esegue qualsiasi operazione sui dati forniti e procede aritmeticamente, essendo stata codificata sotto forma numerica. Così, si può simulare qualsiasi comportamento, per complicato che sia, come ad esempio l'apprendimento o l'autorganizzazione, purché si riesca a escogitare e a codificare il programma pertinente. La teoria degli 'automi intelligenti' si dissolve così nella matematica. La macchina diventa 'smaterializzata' e la sua prestazione è descritta completamente dall'algoritmo appropriato.

Quando parliamo di apprendimento o di autorganizzazione, intendiamo dire che, per un dato calcolatore, può essere ideato un programma che simuli tali processi naturali. Abbiamo una sequenza di numeri, cioè, la sequenza di operazioni codificate in un particolare linguaggio-macchina. Interpretiamo queste operazioni come apprendimento, ad esempio, quando l'output, e cioè un numero o un grafico, migliora o si approssima sempre più al risultato numerico o al grafico che ci si aspetta a mano a mano che si ripetono le prestazioni. L'epistemologia delle operazioni della macchina si deve occupare di algoritmi e di programmazione; analogamente, la gerarchia delle macchine esprime anch'essa il potere logico (e matematico) del programma. La macchina stessa, il calcolatore di base, può essere in linea di principio talmente semplice da risultare banale: tale è la macchina di Turing. Si può trascurare la disposizione geometrica e la natura fisica delle componenti meccaniche della macchina, e ignorare anche il problema dell'energia necessaria per azionarla. Adesso la macchina non è altro che il modello fisico di un processo 'astratto'; ciò che conta è la struttura simbolica ovvero teorico-informativa della sua prestazione: l'algoritmo.

La macchina di Turing consiste semplicemente di un nastro infinito suddiviso in caselle, di uno strumento che fa scorrere il nastro di una casella alla volta a sinistra o a destra, e di una testina di registrazione che scrive o cancella un simbolo in ogni casella. Così la macchina registra, esplora e legge le informazioni che sono sul nastro.

Naturalmente, la macchina di Turing è soltanto una 'tigre di carta'; la sua importanza teorica, tuttavia, è grandissima: essa dimostra che qualsiasi calcolatore è descritto completamente dalla teoria matematica delle funzioni calcolabili. Lo studio del comportamento delle macchine 'intelligenti' equivale alla ricerca sui fondamenti della matematica.

Al giorno d'oggi si definisce l'automa come un sistema formale di regole. Questa caratterizzazione basilare si applica alle macchine di Turing ed a qualsiasi 'trasduttore' sequenziale, dalle macchine che riconoscono forme a quelle che si autorganizzano e perfino alle reti neuroniche e alle grammatiche generative di Chomsky.

Rientra in tale definizione qualsiasi oggetto che possa essere considerato come un automa a stati discreti, o un dispositivo che elabora dati.

La teoria degli automi classifica le macchine a seconda delle loro capacità. Questa gerarchia delle macchine per l'informazione s'inizia, diciamo, dal singolo filo che trasmette un impulso elettrico e termina con il dispositivo che funziona sulla base di algoritmi; infatti non può esistere un livello più alto - o 'più profondo' - del livello matematico, che è il più astratto possibile, giacché rappresenta il fondamento del simbolismo stesso. Quali processi si possono allora descrivere?

La tesi di Turing è che può essere realizzato dalla sua macchina qualsiasi processo che possa definirsi una procedura effettiva per calcolare numeri. La tesi di Church completa quella di Turing stabilendo che si può dimostrare che ogni procedura effettiva è equivalente, in un modo o nell'altro, all'operazione svolta da una

macchina di Turing. Quindi la procedura effettiva è equivalente alla calcolabilità effettiva che è, a sua volta, equivalente alla funzione effettiva. Nella teoria delle funzioni ricorsive viene definito il concetto di calcolabilità effettiva, e si tratta del risultato più elegante ed importante della ricerca matematica recente. Questa teoria ci fornisce tutte le conoscenze necessarie sulla natura e sui limiti della programmazione dei calcolatori.

La funzione $f(x_1, \dots, x_n)$ è effettivamente calcolabile se esiste una procedura 'meccanica' per determinare il valore $f(y_1, \dots, y_n)$ quando siano dati gli argomenti y_1, \dots, y_n . Per 'procedura meccanica' si intende semplicemente un processo ripetitivo che non richiede alcuna innovazione per il proprio svolgimento. Ne è un esempio la semplice addizione di due numeri interi. Spesso è chiaro già intuitivamente se una data funzione è effettivamente calcolabile oppure no. Di solito, tuttavia, riscontriamo che non esiste alcuna funzione di un certo tipo effettivamente calcolabile oppure che non esiste una procedura effettiva per risolvere un'ampia classe di problemi. Ora, qualsiasi problema può essere formulato, in un certo linguaggio, come un'espressione, cioè come una sequenza di simboli di quel linguaggio (inclusi gli spazi in bianco destinati a separare le parole). Un alfabeto è un insieme di simboli finito e non vuoto. Una parola di un alfabeto A è qualsiasi sequenza finita di simboli che appartengono ad esso. Infine, per algoritmo in un certo alfabeto intendiamo una funzione effettivamente calcolabile il cui dominio è un sottoinsieme degli insiemi delle parole di A , i cui valori sono anch'essi parole dell'alfabeto A . Gli algoritmi più comuni possono essere decomposti in semplici passi (Markov). Tutti questi temi sono ampiamente trattati nei moderni manuali di logica matematica e nei testi di metamatemica.

Pertanto, è l'aritmetica ricorsiva che fornisce la teoria matematica degli automi. Se si considera l'insieme dei numeri naturali come una progressione - e Peano, Russell e Whitehead, e Hilbert sono stati i pionieri di questo sviluppo - si giunge ai cosiddetti 'fondamenti' della matematica. L'aritmetica ricorsiva è stata sviluppata come un sistema formale; esistono vari schemi, primitivi e generali, di ricorsività o di procedimenti iterativi; alla fine, si è arrivati al concetto molto ampio di funzione ricorsiva generale, in cui non appare più l'elemento iterativo (Herbrand-Gödel-Kleene). Il concetto di ricorsività generale precisa l'idea intuitiva secondo cui si può determinare senza ambiguità tutta la serie dei valori di una funzione aritmetica mediante un insieme di equazioni. Vediamo così come la semplice idea della definizione ricorsiva di una funzione, come l'avevano concepita originariamente Peano e i suoi successori, è stata gradualmente generalizzata fino a raggiungere il concetto preciso di effettività o 'costruibilità'. Ma con ciò siamo anche pervenuti ad uno dei problemi fondamentali della matematica: il cosiddetto problema della decidibilità o della decisione (Gödel). La nozione metamatematica di costruttività porta al problema di trovare un procedimento che, se applicato a una formula arbitraria f di un sistema formale F , sia in grado di decidere in un numero finito di passi se f è derivabile in F oppure no.

La soluzione del problema della decisione è, da un punto di vista metamatematico, equivalente alla effettiva costruzione della derivazione in F . Come ben si sa adesso, il problema della decisione può essere risolto per sistemi ristretti, ad esempio il calcolo delle proposizioni, ma non per sistemi logicamente 'più forti' quale il calcolo dei predicati (anche se ristretto). Church, nel 1936, ha dimostrato che l'Entscheidungsproblem è insolubile nel caso di un qualsiasi sistema Λ di logica simbolica che sia ω -coerente e che sia abbastanza forte da consentire certi metodi relativamente semplici di definizione e di dimostrazione (v. Church, 1953). Turing ha dimostrato, con il suo calcolatore ideale, che non vi può essere alcun processo generale per determinare se una data formula $OUT-a$ del calcolo funzionale K (calcolo ristretto dei predicati) sia dimostrabile, cioè non può esistere alcuna macchina tale che, sottoponendo ad essa una qualsiasi, $OUT-a$, di queste formule, sia in grado di dire se $OUT-a$ è dimostrabile (v. Mirsky, 1967).

Questo concetto è stato espresso anche da Post: "Il problema della decisione per la classe di tutti gli insiemi ricorsivamente numerabili di interi positivi è irresolubile ricorsivamente e quindi, con ogni probabilità, irresolubile in senso intuitivo". Ed egli aggiungeva: "È inevitabile la conclusione che anche per tale corpo di proposizioni matematiche fisso e ben definito, il pensiero matematico è, e deve rimanere, essenzialmente creativo [...]" (v. Post, 1944, p. 288).

È su questo sfondo metamatematico che si deve analizzare e giudicare la prestazione dei calcolatori e delle macchine 'intelligenti'. Dalla tesi di Church, per cui tutte le funzioni ricorsive sono calcolabili, deriva che gli algoritmi e le macchine di Turing sono equivalenti; e il programma è la versione specifica, 'adattata', di un algoritmo. In verità, un calcolatore a programma memorizzato con un nastro infinitamente lungo è equivalente alla macchina universale di Turing; e quindi tutti i risultati che si riferiscono alle classi di funzioni calcolabili e alla non risolubilità si possono applicare alle macchine reali. Così, i vari programmi ideati per simulare l'apprendimento e altri processi di autorganizzazione sono limitati essenzialmente dal problema della decisione, come avviene per qualsiasi sistema formale in matematica.

La programmazione è perciò il problema centrale della teoria delle macchine. Un algoritmo scritto in un 'linguaggio macchina' adatto e codificato si può ottenere dai metodi matematici noti come programmazione lineare, dinamica e euristica. La programmazione euristica è la più versatile, la più adatta a rappresentare l' 'intelligenza artificiale'. I problemi che sfuggono ad una soluzione diretta vengono risolti per mezzo di istruzioni ricavate empiricamente, oppure permettendo al calcolatore di 'imparare', cioè di modificare il procedimento risolutivo dopo averlo applicato a una serie di esempi selezionati.

Il programma memorizzato ci permette di operare sulle istruzioni stesse come se queste fossero dei dati. Questo significa, di fatto, che il calcolatore può cambiare le proprie istruzioni. Per quanto ciò si svolga in maniera prestabilita, ne risulta pur sempre un alto grado di versatilità. I programmi sono insiemi di istruzioni rappresentate da numeri e composti di parti che sono esse stesse soggette a istruzioni, o sottoprogrammi.

La macchina che dimostra teoremi di geometria è un programma di calcolatore che può servire da esempio a questo proposito. I suoi elementi essenziali sono i seguenti: 1) un sottoprogramma, il calcolatore di diagrammi, che contiene la rappresentazione del teorema in termini di insiemi di coordinate di punti e di rette. Tale calcolatore può anche trarre inferenze dal diagramma, per esempio decidere quali segmenti di retta siano opposti e quali angoli e quali elementi si possano chiamare triangoli, angoli o rette; 2) un altro sottoprogramma, chiamato calcolatore di sintassi, che genera sequenze di enunciati; 3) un terzo sottoprogramma, il calcolatore euristico, che controlla il processo di dimostrazione di teoremi, ricorrendo, se necessario, ai calcolatori di sintassi e di diagrammi. Nel funzionamento del calcolatore euristico il passo critico è il suo uso di subobiettivi nella risoluzione del problema.

Se G_0 denota l'enunciato da stabilire mediante la dimostrazione e G_{1j} il j -esimo enunciato immediatamente precedente G_0 , allora possiamo generalizzare e usare G_i (con gli adatti indici in alto) per denotare un enunciato immediatamente precedente G_{i-1} . Si può illustrare questo legame graficamente indicando con le frecce le inferenze dirette da un enunciato a un altro; ad esempio, $G_{22} \rightarrow G_{11}$ oppure $G_{23} \rightarrow G_{15}G_0$, in cui il simbolo \rightarrow significa 'implica'. Questo grafico è prestabilito all'inizio del procedimento e consente di scegliere i subobiettivi, che vengono poi sviluppati. Con l'aiuto del diagramma che rappresenta il teorema, si può determinare se questi sviluppi sono utili. Quando un subobiettivo viene dimostrato a partire dagli assiomi, dai teoremi precedentemente stabiliti, e dalle ipotesi, allora la struttura del grafico mette in evidenza la dimostrazione valida del teorema. Ciò significa che si può costruire un grafico in cui il subobiettivo G_i prende la posizione di G_0 , allo scopo di trovare subobiettivi di livello più basso. A mano a mano che ciascuno di questi viene risolto ed eliminato, si passa a esaminarne uno nuovo. Un procedimento speciale, che controlla se i subobiettivi non ancora esaminati siano equivalenti ad altri già passati al vaglio, scongiura il pericolo di una verifica ridondante.

Anche la macchina che gioca a scacchi, come quella di Gelernter che dimostra teoremi di geometria, non è altro che una serie di programmi di calcolatore. Essa revisiona tutti i programmi in base all'esperienza acquisita nel gioco e 'apprende' sia per memorizzazione meccanica, sia per generalizzazione. La memorizzazione è l'accumulo di esperienza ottenuto mantenendo un archivio delle posizioni dei pezzi sulla scacchiera, del valore delle singole mosse e dei relativi risultati. La macchina trattiene così solo i risultati più validi; l'informazione viene eliminata dall'archivio se non è usata abbastanza spesso. La seconda procedura di apprendimento - la generalizzazione - riesamina il numero delle mosse previste, nonché i termini e i coefficienti impiegati nel polinomio di stima (tale polinomio non è altro che una combinazione pesata dei vari vantaggi che potrebbero derivare da qualsiasi disposizione dei pezzi sulla scacchiera, come ad esempio il rapporto tra i pezzi o i vantaggi di posizione di vario tipo). La procedura di generalizzazione è realizzata costruendo due giocatori-macchina, che il loro inventore - Samuel - ha chiamato alfa e beta. Alfa cambia

frequentemente, durante il corso del gioco, sia i suoi coefficienti che i suoi termini, nel tentativo di migliorarli; beta mantiene costante la sua strategia. Se alfa vince la maggior parte delle partite, la strategia fissa di beta viene rivista per conformarla a quella di alfa e si inizia una nuova serie di partite. Samuel scoprì che il calcolatore imparava velocemente ma in modo completamente casuale. Egli ne trasse la conclusione che, sulla base di questi esperimenti, si può dire con certezza che è possibile escogitare schemi di apprendimento che supereranno di gran lunga le capacità di una persona media e che tali schemi di apprendimento potrebbero dimostrarsi economicamente fattibili e suscettibili di utili applicazioni ai problemi della vita reale (v. Mirsky, 1967).

Un programma di apprendimento consiste quindi nel riconoscere, confrontare e classificare l'informazione, sia sotto forma numerica che visiva, come nella macchina che riconosce le forme. La classificazione richiede un meccanismo di decisione, che potrebbe essere probabilistico; oppure la decisione potrebbe essere presa da una 'funzione di distanza', che utilizza i risultati del confronto tra l'informazione osservata e quella memorizzata, per giungere alla classificazione. Nel riconoscimento di forme, le regole di decisione per risolvere problemi di classificazione comportano misure di 'similarità' e 'diagnosi' statistiche (teorema di Bayes). La macchina che impara e che può essere 'addestrata' a riconoscere forme - il perceptron ne è l'esempio più famoso - è stata ampiamente studiata e sviluppata, indubbiamente perché presenta ovvie analogie col comportamento umano. Il metodo di base comporta il concetto di funzione discriminante. Quindi una macchina addestrabile è quella con funzioni discriminanti 'adattabili'. Esistono metodi di addestramento parametrici, che si fondano sulla teoria della decisione, e metodi non parametrici. Un esempio di questi ultimi è il metodo iterativo di adattamento ponderale.

La programmazione euristica è quindi un processo molto complesso. La caratteristica principale di questi programmi sta nel fatto che essi contengono sottoprogrammi e che inoltre danno la possibilità di scegliere tra essi. Così i programmi rappresentano non solo istruzioni di primo livello, ma anche di secondo livello e, talvolta, vengono implicati anche livelli ulteriori.

Giochi e obiettivi a ramificazioni multiple danno la procedura per la ricerca e la generalizzazione; poi le funzioni matematiche per riconoscere e valutare i risultati consentono l'addestramento e l'apprendimento. Ciò significa non solo che il programma euristico apprende quando ricorre all'esperienza per migliorare la prestazione, ma anche che la pianificazione e l'autorganizzazione possono svolgersi in modo limitato. Il programma, in un senso piuttosto lato del termine, impara a scrivere se stesso. 'Teddy' - il solo programma autoscrivente inventato finora - imparava però molto male, e la sua abilità si dimostrò inferiore al comportamento casuale. È indubbio che ulteriori esperimenti contribuiranno a migliorarne la prestazione. Il punto essenziale è che qui siamo giunti alla fase più avanzata dell'evoluzione dei calcolatori: gli automi che si autorganizzano e si autoriproducono concepiti per la prima volta da von Neumann.

La complessità è il problema principale della teoria degli automi. Secondo von Neumann, l'automa deve svolgere non solo le funzioni più alte di cui sono capaci gli esseri umani, ma deve anche essere in grado di risolvere problemi come quelli presentati dai grandi sistemi di equazioni differenziali non lineari alle derivate parziali, cosa che noi adesso non sappiamo fare. Nel calcolatore 'complesso' debbono essere incorporate l'attendibilità, la capacità di correggere gli errori e anche di fare autodiagnosi e auto-riparazioni. Inoltre, se il calcolatore o l'automa è destinato a riprodursi, deve anche essere capace - come lo sono gli organismi - di produrre qualcosa di più complicato di se stesso. Ma allora, cos'è la complessità?

La complessità è la capacità di intervento efficace in situazioni ampiamente diverse, oppure la capacità potenziale di eseguire azioni che non siano necessariamente al medesimo livello di complessità dell'automa stesso. È chiaro che deve esistere nell'organizzazione un certo grado di complessità, ma ciò che conta è la complessità del modo di operare del sistema. L'analogia con l'organismo vivente è ovvia. Gli automi debbono essere, in definitiva, un'integrazione di componenti elementari, come le macchine utensili; gli esseri viventi sono anch'essi, tutto sommato, null'altro che complicatissimi aggregati di componenti elementari, ossia di atomi e molecole. Da un punto di vista termodinamico, gli organismi sono 'altamente improbabili'. È l'ambiente favorevole che migliora le loro possibilità di essere e di sussistere; ma anche l'ambiente favorevole, a sua volta, è improbabile termodinamicamente. Queste stime di probabilità sono naturalmente arbitrarie poiché sono fondate sull'ipotesi che la probabilità iniziale sia scelta secondo le frequenze delle combinazioni molecolari che si osservano in sistemi fisici semplici. Malgrado ciò, a questo punto c'è una 'scappatoia' nel meccanismo della probabilità: è il processo di autoriproduzione che accresce enormemente le possibilità di esistere di un organismo, e tale processo diventa possibile quando viene raggiunto un certo livello di organizzazione molecolare. In effetti, l'evoluzione sta almeno un gradino più in alto della semplice autoriproduzione, poiché nel corso del tempo gli organismi sono diventati più elaborati. Dal punto di vista evolutivo, l'organismo o l'automa devono essere capaci di produrre qualcosa di più complicato di se stessi. Dal punto di vista meccanicistico, invece, partendo dalla costruzione degli automi artificiali, si potrebbe trarre la conclusione opposta riguardo alla complessità di tale costruzione. La macchina utensile deve essere più complicata degli oggetti che con essa si possono produrre. L'organizzazione, che costruisce, deve essere necessariamente di ordine più alto del prodotto. Sembra così che la complessità, o capacità di produrre, sia degenerativa. Nell'evoluzione, al contrario, essa deve avere un potere generativo.

Ciò ha condotto von Neumann a formulare il suo principio della complessità, e cioè che al di sotto di un certo livello la complessità è degenerativa e l'autoriproduzione è impossibile. Perfino misurando la complicazione con il metro più grezzo, cioè con il numero delle componenti elementari, esiste un numero minimo - sosteneva von Neumann - al di sotto del quale la complessità conduce alla degenerazione. Il secondo automa deve essere meno complesso del primo che lo ha prodotto. Ma al di sopra di questa soglia - e, secondo una stima che è

stata fatta, il numero di parti necessarie è dell'ordine di un milione - è possibile a un automa costruire un altro automa e anche diventare 'esplosivamente' produttivo.

Il principio è illustrato dalla serie di modelli proposta da von Neumann, dal modello cinematico-geometrico, al modello soglia-stimolo-abbassamento di soglia, al modello continuo, a quello cellulare. È proprio quest'ultimo, il modello cellulare, quello su cui si è concentrata l'attenzione, e va osservato che si tratta del modello più vicino all'organismo vivente.

Così è prevedibile che facciano la loro ricomparsa gli antiquati rompicapo metafisici sull'evoluzione biologica. In verità, l'argomentazione aprioristica contro l'autoriproduzione sostiene che l'automa che costruisce deve essere più complesso di quello che è costruito. L'automa deve contenere in qualche modo la sua matrice. Questo fatto conduce al regresso infinito del preformismo, poiché l'automa originale deve contenere anche le matrici di tutti i suoi discendenti.

Il problema dell'autoriproduzione fu risolto da von Neumann praticamente nello stesso modo in cui i biofisici scoprirono che era stato risolto dall'organismo. L'operazione di copia per produrre un altro automa richiede l'uso di enunciati linguistici, o simbolici. Qualsiasi procedura per dirigere l'operazione di copia di un dato automa dall'originale fallirebbe e comporterebbe una antinomia logica del tipo di quella di Richard. La descrizione sostituisce l'automa attivo, originario, col suo equivalente semantico. L'automa deve ottenere una descrizione di se stesso, ma con questo metodo 'passivo' l'autoriferimento viene evitato, poiché l'automa può leggere la sua descrizione senza interferire con se stesso. Questo procedimento implica, tuttavia, un livello logico più elevato, o metalivello, insieme con la concezione semantica della verità.

L'automa che costruisce è perciò analogo alla macchina finita di Turing con un nastro infinito. La matrice lineare L (la 'descrizione') è posta sul nastro, ed L viene usata due volte: una prima volta per costruire l'automa secondario e una seconda per fare una copia di L che è annessa all'automa secondario. In questo modo l'automa che si autoriproduce memorizza la descrizione completa di se stesso in una sua apposita componente, sul nastro L . Un automa che sia al tempo stesso costruttore e calcolatore può memorizzare una tale descrizione e si stabilisce così un parallelismo tra le macchine di Turing e gli automi che si autoriproducono. La macchina di Turing può contenere una descrizione di se stessa. Quindi, nella struttura cellulare, l'autoriproduzione è un caso speciale di costruzione; inoltre, costruire e calcolare sono attività simili. Torniamo così a considerare l'algoritmo o programma come il rappresentante fondamentale di qualsiasi sistema, sia esso un automa artificiale o un organismo naturale. La trasmissione dei caratteri ereditari richiede una descrizione, o codice, e la semplice operazione di copia o la duplicazione per stampaggio non presenta alcun interesse né sul piano logico né su quello evolutivo. C'è sempre una scissione in due parti nell'ambito del sistema: come l'organismo, anche la macchina ha un fenotipo ed è dotata di materiale genetico, per esempio una scheda perforata che contiene il genotipo. Il processo ereditario quindi non è una pura e semplice

questione di complessità ma comporta, invece, seri problemi concettuali. Lo sviluppo di un organismo o la costruzione di una macchina richiede un meccanismo di codificazione capace sia di interpretare sia di ripetere una descrizione. Un tale processo di descrizione-codificazione-costruzione - di cui è un esempio la duplicazione del DNA nella cellula vivente - non è quindi né preformismo né epigenesi. L'idea di una descrizione simbolica e di un codice genetico, oppure l'idea del genotipo concepito come algoritmo, non solo ha riunito la vita e le scienze fisiche in un ampio spettro interdisciplinare, ma ha rivoluzionato anche la nostra concezione della scienza stessa e dei metodi con i quali operano gli scienziati.

4. Sistema, processo, informazione e metodo scientifico

Le macchine e gli organismi sono sistemi; essi differiscono non per i materiali di cui sono composti, ma per i livelli di organizzazione che possiedono. Ci si deve quindi aspettare che i sistemi organizzati si comportino in modo completamente differente rispetto a entità e particelle non organizzate e isolate. I sistemi svolgono processi; le particelle si muovono lungo linee dello spazio-tempo. I processi consistono di trasformazioni del sistema e le trasformazioni sono transizioni da uno stato ad un altro del sistema; lo stato di equilibrio rappresenta il tipo più semplice di livello organizzato. Il tipo più semplice di sistema fisico - il motore termodinamico - introduce già, oltre all'energia, il concetto di ordine sotto forma di entropia. In fisica si usa di solito il termine 'ordine' per descrivere il comportamento dei sistemi, mentre il termine 'organizzazione' è impiegato più comunemente in biologia. Ciò indica subito una differenza: di solito i sistemi biologici possiedono molti livelli di ordine, sono organizzati in maniera gerarchica, mentre i sistemi fisici, almeno nella teoria classica, richiedono spesso un solo tipo di ordine, e cioè quello al livello atomico o molecolare. Tuttavia, questo discorso non è più valido nel campo, aperto abbastanza recentemente, della fisica della simmetria delle cosiddette particelle elementari.

La caratteristica generale dei sistemi è la gerarchia dei livelli. L'idea di processo si ritrova in tutte le discipline, dalla fisica alla biologia e alla psicologia: si tratta sempre di una transizione, o di una serie di transizioni che modificano l'ordine e l'organizzazione all'interno del sistema. Questi concetti segnano l'inizio di una concezione interdisciplinare della scienza intesa globalmente. Nasce allora il problema di sapere in che modo si possano correlare l'uno all'altro i vari livelli di un sistema e in che modo sia possibile integrarli tutti in un unico sistema. Che cos'è che caratterizza un dato livello di organizzazione? Qual è il processo che viene svolto da un sistema altamente organizzato? È simile alla transizione tra stati di equilibrio o è più complesso? Esiste più di un tipo di processo? Quali criteri si debbono applicare a un sistema nel suo complesso per definirne il grado di organizzazione?

Il principio della complessità minima di von Neumann ci offre qui un ottimo punto di partenza per la discussione. È necessario un livello minimo di organizzazione perché un sistema si autoriproduca. Per analogia, si potrebbe ipotizzare (benché von Neumann non abbia ampliato la sua idea in questa direzione) che debba esistere anche un massimo, come accade se si considera l'esempio dell'evoluzione delle specie nella storia naturale. Per quanto ci è possibile supporre, certi organismi o animali si sono estinti non a causa di un ambiente sfavorevole, bensì per ragioni 'interne' come nel caso dei dinosauri. È allora molto suggestiva l'ipotesi che esistano due tendenze in conflitto tra di loro, che limitano i sistemi autoriproducenti ed evolutivi. Il suggerimento ovvio - che deriva dalla termodinamica - è che siano l'energia e l'ordine a svolgere questo ruolo. L'ordine è dato dall'entropia, o capacità di informazione, e si tratta pur sempre di energia scambiata ad una assegnata temperatura. Siamo perciò autorizzati a parlare di autoriproduzione o riproduzione - cioè del processo fenotipico o di quello genotipico - usando il concetto-chiave di informazione, e ciò sia per i sistemi artificiali che per quelli naturali.

Ogni processo di questo tipo potrà svolgersi soltanto in un ambiente adatto. Abbiamo sistemi 'aperti' e stati approssimativamente 'stazionari' poiché i sistemi interagiscono con l'ambiente: i 'dati' vengono forniti ai sistemi dall'esterno. In base alla termodinamica, la variazione di energia libera ΔF deve essere minima. Perciò, l'equazione di Helmholtz-Gibbs $F=U-TS$ (in cui F è l'energia libera, U l'energia interna, TS l'energia 'di legame', S l'entropia e T la temperatura) può essere interpretata dicendo che un sistema può autoriprodursi a condizione che in tale processo l'aumento di informazione sia compensato da una diminuzione di energia interna così da rendere minima l'energia libera.

Questa ipotesi stabilirebbe il limite inferiore e quello superiore per la vitalità di un sistema organizzato. Una eccessiva disponibilità di energia per un assegnato livello di ordine, o di capacità di informazione, distruggerebbe il sistema, mentre troppo ordine per una data energia lo renderebbe rigido e incapace di cambiamenti. Un'energia troppo scarsa per un dato ordine impedirebbe al sistema di formarsi; vi deve essere energia sufficiente, cioè un'energia di attivazione, per consentire la formazione di un minimo di capacità di informazione a partire dai numerosi elementi separati che formano il sistema. Affinché un qualsiasi sistema possa formarsi, l'energia dev'essere sempre maggiore dell'entropia, ma la formazione sarebbe altrettanto impossibile se per una data energia l'ordine fosse troppo scarso, ossia se vi fosse troppo 'rumore'. Poiché la variazione dell'energia libera è nulla ($\Delta F=0$) soltanto alla temperatura assoluta di zero gradi Kelvin, avremmo in tal caso $\Delta U=\Delta(TS)$: la variazione di energia interna è pari alla variazione della capacità di informazione, ovvero alla variazione nel grado di organizzazione. Poiché la formazione dei cristalli che avviene a zero gradi Kelvin è caratterizzata da un singolo stato di energia, l'energia del punto zero, possiamo dire che questa è la capacità minima di informazione del sistema, il livello di organizzazione più basso possibile.

Abbiamo così un indizio per venire a capo del problema dell'organizzazione e della complessità com'è formulato dal principio di von Neumann. Parlando degli automi autoriproduttori, egli stesso disse: "Ho cercato di giustificare l'assoluta necessità di una teoria dell'informazione e di dimostrare che ben poco di ciò che è noto finora può servire allo scopo [...] Questa nuova teoria dell'informazione, benché simile per molti aspetti alla logica formale, sarà probabilmente più vicina di quest'ultima alla matematica comune [...]" (v. von Neumann, 1966, p. 320).

La relazione tra termodinamica e organizzazione biologica deve essere inevitabilmente più complessa di quella tra termodinamica e ordine fisico. Sia gli automi che gli organismi debbono essere considerati sistemi 'aperti', e non chiusi come lo sono i sistemi fisici; inoltre sono entrambi a stati 'stazionari' e non di equilibrio. Un singolo livello di organizzazione può consistere di molti stati di equilibrio, e il sistema nel suo insieme possiede caratteristiche proprie. Il semplice modello di trasmissione dell'informazione, o comunicazione, costituito dalla sorgente, dal canale e dal ricevitore che formano un sistema chiuso non è più sufficiente. Questo è il modello 'telegrafo': funziona abbastanza bene in fisica, ma difficilmente ci si può aspettare che funzioni in biologia. Al contrario, dobbiamo prendere il nostro modello di comunicazione proprio dalla biologia - e precisamente dalla teoria degli automi - per renderlo adatto a spiegare fenomeni complessi. Il modello più completo per la trasmissione dell'informazione ci viene offerto non dal semplice telegrafo, bensì dall'evoluzione.

Quando si parla di informazione genetica si usano termini come messaggero, messaggio, trascrizione, traduzione, riconoscimento, specificità (riguardo agli enzimi), interpretazione, ecc. Inoltre, va osservato che l'oggetto di studio è sempre il genotipo e non già il fenotipo, cioè il sistema invisibile anziché quello macroscopico. Così, l'oggetto fondamentale della teoria dell'informazione non è il grande apparato fisico - sia esso la cellula o la macchina - bensì la 'doppia elica' del DNA, cioè il programma, o l'algoritmo. Ciò che conta è l'idea di algoritmo, di programma, di sotto-programma, di programma di programmi che può essere variato in base all'esperienza, per 'selezione naturale' di un tipo o di un altro. Questa concezione riunisce la logica, la matematica, la teoria degli automi, la fisica, la biologia e la psicologia: si tratta di un'idea veramente interdisciplinare. Quest'idea può dunque servire da punto focale per il metodo scientifico, che deve sempre scaturire dalle esperienze concrete e fornire la ricostruzione razionale di quanto fanno gli scienziati. Saranno quindi i livelli di informazione e di metacomunicazione a fornirci la metateoria della scienza.

L'informazione come semplice segnale elettromagnetico presuppone un linguaggio, un codice, un significato; e l'unico ostacolo nel canale di trasmissione è il rumore. Se si prende come modello la duplicazione del DNA, oppure l'algoritmo dell'automa che si autoriproduce, abbiamo allora una gerarchia di livelli di informazione. L'istruzione, che al livello inferiore è un'espressione simbolica, viene interpretata come informazione (effettiva) al livello immediatamente più alto. Così, nel processo di trasmissione dell'informazione compare

una 'profondità logica' - come la chiama von Neumann - che non appare nel modello 'telegrafo'. In realtà il processo di misurazione nella meccanica quantistica richiede effettivamente due livelli di informazione; e da questo fatto nascono le difficoltà che sono espresse dal principio di indeterminazione. Questa analogia tra riproduzione evolutiva e misurazione secondo la meccanica quantistica è stata messa in evidenza recentemente (H. H. Pattee).

Perciò i dubbi che sono qua e là affiorati sulla possibilità che la teoria dell'informazione possa descrivere lo sviluppo evolutivo sono giustificati nella misura in cui si usano soltanto concezioni semplici riferite a sistemi con un solo livello. La relazione tra il genotipo e il fenotipo è stata descritta come il rapporto tra l'elenco degli assiomi della geometria di Euclide e i tre volumi che contengono le conseguenze di tali assiomi (v. Waddington, 1968-1970). In verità, per passare dall'uno all'altro è necessario procedere all'interpretazione e all'elaborazione mediante il contatto con l'esperienza. Questa interazione con l'ambiente è descritta nella maniera migliore dal concetto di 'creodi', cammini stabilizzati e preferenziali attraverso i quali opera la selezione naturale. La selezione opera soltanto se gli organismi contengono molti sottoprogrammi e se quindi possono variare dall'uno all'altro come risultato dell'esperienza. Ancora una volta si ha una stretta analogia tra automi e organismi, che è sostanziata dal concetto di algoritmo, o programma, o istruzione, o informazione potenziale.

La complessità di un qualsiasi sistema, sia naturale che artificiale, è data dalla gerarchia dei suoi livelli di organizzazione, e si riflette nei livelli di informazione necessari per descrivere un processo. Spesso un sistema si fraziona in sottosistemi; così, come prima approssimazione, si può considerare il numero di punti di contatto, o interfacce, di ciascun sottosistema come misura del suo livello di organizzazione. Un altro modo di affermare forse la stessa cosa è dire che il sistema è caratterizzato dalla 'condizionalità' o numero di 'vincoli' che operano a questo livello (Ashby): Prendiamo come esempio i livelli di organizzazione che si potrebbero attribuire all'uomo considerato come un sistema. Innanzitutto si ha il livello chimico degli atomi e delle molecole, quindi i livelli successivi potrebbero essere dati dai geni, dai cromosomi, dalla fisiologia, dal funzionamento degli organi, dal sistema nervoso e dall'attività emotiva e mentale. Ogni livello 'più alto' sembra possedere più vincoli, benché, nel complesso, quanto più il sistema è organizzato, tanti più gradi di libertà possiede. Pertanto, è stato detto da alcuni che il livello più alto impone condizioni al contorno per le operazioni del livello inferiore. La relazione tra livelli deve allora includere anche qualche caratteristica che si riferisce all'integrazione del sistema complessivo.

Secondo la teoria dell'informazione, 'vincolo' significa ridondanza, vale a dire, informazione effettiva fornita al sistema. Ma esistono dei limiti: un eccesso di ridondanza, o la correlazione totale tra gli elementi, provocherebbe l'arresto di tutti i cambiamenti; d'altra parte, una ridondanza eccessivamente scarsa - cioè l'assenza di qualsiasi vincolo, come in uno sciame di particelle libere - non produrrebbe nulla a sua volta.

Esistono un massimo e un minimo per una data 'dimensione' del sistema. Questo fatto è comprensibile solo se si pensa non in termini di un contenuto fisso di informazione, o messaggio, per ciascun livello del sistema o per tutto il sistema, bensì in termini di messaggio variabile; oppure vi sono programmi e programmi di programmi tali che il messaggio reale cambia per interazione con l'ambiente. L'apprendimento dall'esperienza e l'autocorrezione sono le capacità che caratterizzano il livello più alto di organizzazione, sia negli automi che negli organismi. Questo, beninteso, introduce una notevole incertezza, giacché potrebbero diventare necessarie la decisione, la scelta di alternative e perfino la sostituzione di una parte del programma. Nell'evoluzione l'esperienza passata è incorporata nei creodi, cosicché l'ambiente svolge un ruolo necessario nella scelta delle decisioni: il 'paesaggio epigenetico' rappresenta la memoria 'esterna' dei successi e degli insuccessi precedenti.

L'evoluzione è il processo naturale più generale; e benché i suoi meccanismi differiscano a seconda della sfera in cui operano, si può 'ricostruire' il suo funzionamento in termini di gerarchia dell'informazione. Però dobbiamo ampliare la teoria tradizionale dell'informazione: il segnale elettromagnetico può rappresentare solamente il livello inferiore, ancora molto vicino alla trasmissione di energia che avviene secondo la legge di causalità. L'alfabeto, il codice, il significato, la descrizione e l'interpretazione non possono più essere ammessi o presupposti tacitamente ma debbono essere inclusi nel processo di comunicazione, come ci è stato insegnato sia dalla biologia molecolare sia dalla teoria degli automi. Anche la tipologia logica e semantica interviene allora nel processo, con rischio di giungere a un paradosso quando si abbia informazione effettiva.

Al giorno d'oggi, il problema della complessità è ancora in primo piano; tuttavia, viene gradualmente ridimensionato con l'impostazione interdisciplinare che riunisce la logica, il linguaggio, la matematica e le scienze sia fisiche che naturali, in altre parole tutto l'arco della conoscenza. Abbiamo raggiunto un nuovo livello di comprensione della natura. Abbiamo ottenuto un nuovo livello di integrazione della scienza che è più vicino alla realtà di quanto non si fosse riusciti a ottenere in precedenza. I falsi problemi come quello del dualismo fra il mondo materiale e quello mentale oppure quello del libero arbitrio, provocati dall'assolutismo e dalla eccessiva semplificazione delle teorie scientifiche del passato e in particolar modo dal metodo causale, vengono ora spazzate via dalla teoria dell'informazione e della metacomunicazione. Stiamo per entrare in una nuova epoca della storia della scienza, in cui le scienze fisiche e le scienze umane si unificeranno nello studio dell'uomo che crea e controlla e decide non solo gli aspetti materiali della realtà ma anche quelli del suo ordine.

CIBERNETICA

Enciclopedia Italiana - IV Appendice (1978)

di Vittorio Somenzi, Aldo Masturzo

CIBERNETICA (App. III, 1, p. 368). - Rispetto a tutto ciò che la c. prometteva negli anni Quaranta e Cinquanta, gli sviluppi realizzati in seguito da questa nuova scienza risultano in parte superiori e in parte inferiori all'aspettativa.

I successi nel campo delle applicazioni tecnologiche (dall'informatica all'automazione industriale, dall'esplorazione spaziale all'ingegneria umana) hanno confermato le enormi possibilità dei sistemi artificiali di regolazione e comunicazione, che N. Wiener e altri pionieri della c. si proponevano di studiare da un punto di vista unitario: la teorizzazione matematica dei processi di generazione, conservazione, trasmissione e utilizzazione dell'informazione, tipici sia dei servomeccanismi, sia degli elaboratori elettronici.

Mentre però il programma cibernetico prevedeva una parallela teorizzazione matematica dei processi naturali e sociali di trattamento dell'informazione e la conseguente intercambiabilità tra i risultati di tali campi di studio e quelli delle "scienze dell'artificiale", di fatto i progressi ottenuti nei rispettivi settori tra il 1960 e il 1975 appaiono raramente dovuti proprio a un'analisi comparativa del modo di operare dei sistemi animali, umani e artificiali. Per es., l'uso sistematico dei calcolatori elettronici nelle ricerche di linguistica o di neurofisiologia ha dato molti importanti risultati, i quali tuttavia non hanno direttamente a che fare con quelle analogie funzionali tra calcolatori e cervelli umani, che nelle intenzioni di A. M. Turing e J. von Neumann avrebbero dovuto condurre a una comprensione così profonda del funzionamento della nostra corteccia cerebrale da permettere la rapida realizzazione, tra l'altro, di macchine per tradurre intelligentemente qualunque testo da una lingua in più altre. Neppure la formalizzazione matematica, in termini di teoria dei giochi e teoria delle decisioni, dei procedimenti logici in atto durante una partita a scacchi è progredita tanto da giungere alla stesura di programmi per calcolatori elettronici, capaci di assicurare a uno di questi la vittoria su qualsiasi competitore umano.

È mancata cioè finora, dalla parte delle scienze naturali e umane, un'analisi operativa dei processi di regolazione e comunicazione in uso fra gli esseri viventi, che non solo sfruttasse pienamente le possibilità offerte in veste di modelli materiali o formali dai nuovi strumenti della scienza e della tecnica, ma permettesse a sua volta l'applicazione dei propri risultati al massimo perfezionamento di tali artefatti.

Nonostante questo ritardo rispetto alle ottimistiche previsioni iniziali, il programma cibernetico rimane perfettamente valido nei suoi aspetti fondamentali e ha dato luogo a notevoli successi nel campo della modellistica in termini di strutture gerarchizzate di diversi tipi di neuroni (M. A. Arbib, D. L. McKay, J. Szentàgothai), dei fenomeni di regolazione dei movimenti dell'occhio e della percezione visiva (D. H. Hubel e T. N. Wiesel), delle reazioni optomotorie (W. Reichardt, V. Braitenberg), delle attività del cervelletto e delle interazioni cerebro-cerebellari (J. Eccles, R. Llinás, D. Marr).

Le difficoltà incontrate in sede di attuazione integrale dei progetti enunciati intorno al 1948 sono da attribuire in parte al loro carattere eccessivamente interdisciplinare. Solo studiosi eccezionali, come A. M. Turing, J. von Neumann e N. Wiener, nel frattempo scomparsi, potrebbero infatti abbracciare dall'alto di un completo dominio della matematica e della logica contemporanee la ricchissima fenomenologia offerta da un insieme di scienze apparentemente prive di terreno comune, come l'elettronica e la genetica, la chimica e la psicologia, l'economia e la glottologia. D'altra parte la tendenza alla specializzazione, caratteristica delle moderne strutture di ricerca e d'insegnamento, costituisce ostacolo non solo alla formazione di professionisti che possano dedicarsi esclusivamente allo studio comparato di determinati elementi di numerose e disparate scienze, ma anche alla creazione e al coordinamento reciproco di gruppi di specialisti che sviluppino un linguaggio e un programma comuni del genere di quelli offerti dalla teoria dell'informazione e dalla cibernetica.

Esigenze militari e civili hanno comunque continuato a stimolare, soprattutto negli Stati Uniti e nell'URSS, in Gran Bretagna, in Germania e in Giappone, lo sviluppo della c. nella direzione auspicata dai suoi fondatori, a prescindere dalla problematica filosofica connessa con i suoi aspetti più esplicitamente materialistici e "riduzionistici" in senso favorevole al meccanicismo e contrario al vitalismo. Gli stessi insuccessi esemplificati dalle ricerche sulla traduzione automatica hanno stimolato beneficamente lo studio degli aspetti semantici della comunicazione, trascurati nella trattazione originale di C. E. Shannon, e ne è derivata un'intera nuova branca di attività la quale mira alla riproduzione mediante dispositivi artificiali di quei risultati dell'accoppiamento tra simboli e simbolizzati, che caratterizzano sia il linguaggio ordinario, sia i linguaggi specialistici.

I programmi per calcolatori elaborati recentemente presso il MIT (Massachusetts Institute of Technology) tengono conto della necessità di considerare, per quanto riguarda il problema del significato, oltre le componenti isolabili del linguaggio tutte le procedure naturali di collocamento delle singole parole in un contesto, che comprende sia l'intero discorso emesso o ricevuto, sia il patrimonio culturale dei due

interlocutori. Per cominciare, è stata effettuata la simulazione su schermo televisivo di un automa costituito semplicemente da un braccio in grado di afferrare e spostare in varie sedi oggetti disposti su un tavolo, ma collegato con un calcolatore opportunamente programmato, che traduce nel linguaggio di azioni dell'automa gli ordini ricevuti per telescrivente dall'operatore umano, e fornisce a questo nello stesso modo le proprie risposte o domande, mano a mano che tali azioni vengono eseguite.

Il campo dell'intelligenza artificiale comprende oggi vari altri aspetti dei procedimenti di elaborazione dell'informazione, dalla percezione visiva o uditiva e dal riconoscimento di forme, ivi inclusi i caratteri a stampa o a mano, ai metodi deduttivi e induttivi, all'apprendimento, alla risoluzione generale di problemi. I programmi per calcolatori vengono visti come procedure astratte, ma traducibili in linea di principio in meccanismi concreti corrispondenti, almeno come modelli funzionali, alle strutture nervose che danno luogo alle ordinarie manifestazioni animali e umane d'intelligenza.

La trattazione in termini ciberneticici delle corrispondenze tra strutture nervose naturali e strutture artificiali (calcolatori numerici e analogici, a base meccanica o idraulica, elettrica o elettronica) non è ancora giunta al punto di sostituire con elementi e circuiti davvero confrontabili con le complicatissime realtà del cervello umano le reti nervose artificiali della semplicistica schematizzazione logica di W. S. McCulloch e W. H. Pitts. Vi è stato tuttavia qualche progresso teorico nella simulazione di strutture neuroniche mediante schemi fondati su una logica continua anziché sulla logica bivalente (N. Pozine e collab.) o mediante altre formalizzazioni estensive (E. R. Caianiello e collab.).

Grandi progressi tecnologici sono avvenuti soprattutto nella fabbricazione di elementi compatti che, analogamente ai neuroni naturali, costituiscono essi stessi una complessa unità di elaborazione d'informazione e superano, come efficienza in rapporto al loro volume, peso e consumo di energia, le previsioni più ottimistiche avanzate nel 1958 da von Neumann. L'enorme velocità di funzionamento di queste unità elettroniche, e dei circuiti in cui migliaia di esse possono venire ulteriormente combinate in vario modo, compensa solo in parte la residua differenza di rendimento e di affidabilità rispetto alle cellule della corteccia cerebrale umana, il cui numero supera certamente la decina di miliardi. Mancano infatti, in questo campo, conoscenze anatomo-fisiologiche tali da favorire l'utilizzazione dei notevoli risultati empirici e teorici conseguiti da K. H. Pribram, A. R. Lurija e altri pionieri della neuropsicologia e della neurolinguistica, ai fini dell'ideazione di modelli del rapporto tra strutture e funzioni naturali, atti a venire tradotti in termini di macchine calcolatrici.

Agli studi sull'intelligenza artificiale è riservato pertanto, in questa fase, il compito di elaborare programmi per calcolatori che, limitandosi al punto di vista funzionale, si avvicinino a quanto le ricerche di psicologia dell'intelligenza e del linguaggio riescono a ottenere indipendentemente dai progressi della neurofisiologia. Gli studi di H. A. Simon e A. Newell si sono orientati, in particolare, verso la risoluzione di problemi per via euristica, cioè mediante regole non traducibili in algoritmi e talvolta difficilmente esprimibili anche dal risolutore umano. La ricerca può essere diretta appunto all'elaborazione, mediante esperimenti di programmazione di calcolatori, di modelli plausibili del modo di operare dell'uomo, oppure - qualora noi siamo in grado di esplicitare le nostre procedure - all'imitazione artificiale di queste e al loro confronto con altre procedure interamente artificiali.

Sono stati scritti programmi euristici per il giuoco degli scacchi, per la dimostrazione di teoremi di logica, trigonometria, geometria e algebra, per la composizione di musiche, per la formazione e la classificazione di concetti, per l'estrazione di significati e di regole grammaticali da testi in linguaggio naturale, per lo sviluppo di inferenze dalle informazioni ivi contenute e per la traduzione di queste informazioni in altri linguaggi naturali o artificiali.

Mentre Simon e Newell insistono nella ricerca di procedure artificiali che siano pur sempre utilizzabili come modello di un procedimento intellettuale umano, M. Minsky e altri studiosi dell'intelligenza artificiale perseguono lo sfruttamento delle possibilità specifiche dei calcolatori, eventualmente prive di riscontro nelle possibilità dei cervelli naturali o superiori a queste sotto particolari aspetti riguardanti la programmazione (software) e non semplicemente la struttura e i componenti della macchina (hardware).

Le prolungate discussioni tra scienziati e filosofi intorno alla possibilità o meno che l'automa eguagli o superi l'intelligenza del costruttore e del programmatore sono state ricondotte in gran parte al problema fondamentale della possibilità, sia teorica sia pratica, che l'automa imiti l'uomo, o meglio il bambino, nella sua illimitata capacità di apprendere, e quindi progredisca fino a divenire paragonabile nelle sue prestazioni, caso per caso, alle massime prestazioni offerte da singoli esseri umani.

Un'altra fonte di speculazioni è stata la possibilità, dimostrata solo in linea di principio da J. von Neumann, che una macchina si autoriproduca ed evolva, attraverso processi di variazione ereditaria e selezione analoghi a quelli naturali scoperti da Ch. Darwin, fino a fornire prestazioni assai superiori a quelle previste dal progettista del prototipo iniziale; così come l'uomo e i primati in genere risultano superiori, in complessità di struttura e di comportamento, agli organismi primordiali dai quali si sono evoluti per l'azione dell'ambiente terrestre.

Da questa dilatazione del problema dell'ontogenesi nel più vasto problema di una filogenesi comparata dell'intelligenza naturale e artificiale, sono emersi intanto due interessanti filoni di ricerca: da un lato lo sviluppo da parte di D. Campbell, K. Lorenz e K. Popper di un'epistemologia evoluzionistica, fondata su una sostanziale identità tra i processi di apprendimento (per tentativi alla cieca ed eliminazione degli errori) caratteristici dello sviluppo individuale animale e umano, e i processi di acquisizione e conservazione d'informazione attribuibili all'evoluzione delle specie sia animali sia vegetali; dall'altro, l'applicazione al campo dell'intelligenza artificiale, da parte di L. J. Fogel, A. J. Owens e M. J. Walsh, di particolari tecniche di simulazione dei processi naturali di evoluzione per variazione casuale e selezione.

La saldatura tra questi due indirizzi di ricerca, che porterebbe finalmente alla manifestazione da parte dei nostri automi di capacità creative "in miniatura", paragonabili qualitativamente a quelle della natura e dell'uomo, fa parte delle prospettive della c. dei prossimi decenni.

Precorritore di questa impostazione evoluzionistica del problema dell'intelligenza creativa si può considerare, ancora una volta, N. Wiener; nel suo ultimo anno di vita, il 1964, egli rilevava come non vi fosse alcuna differenza di principio tra le "invenzioni" rappresentate dai servomeccanismi e dai calcolatori elettronici, e gli organismi viventi prodotti dal giuoco darwiniano-mendeliano delle mutazioni casuali e della selezione naturale. Importante era, secondo Wiener, applicare al modello teorico dell'autoriproduzione degli automi il criterio statistico usato nella genetica evoluzionistica, onde verificare l'ipotesi che uno stesso meccanismo fondamentale, quello dell'autoriproduzione delle molecole di acidi nucleici secondo il modello a doppia elica, presieda alla conservazione d'informazione nel sistema nervoso individuale e nel materiale ereditario di una specie stabile o in corso di trasformazione.

Anche se i successivi studi sui fenomeni fisico-chimici che avvengono all'interno delle cellule nervose o alla giunzione sinaptica tra neurone e neurone non hanno confermato questa ipotesi unificatrice, il metodo comparativo della c. ha fornito un'ulteriore prova della sua fecondità con la teoria olografica della memoria, proposta da D. Gabor, H. C. Longuet-Higgins, K. H. Pribram e altri autori intorno al 1969. Questa teoria risolve la difficoltà di una mancanza di localizzazione delle tracce mnemoniche nella corteccia cerebrale mediante il modello della lastra olografica, nella quale immagini tridimensionali degli oggetti possono venire depositate da un'opportuna combinazione di raggi laser in modo tale che ogni singola porzione dell'ologramma contiene tutta l'informazione relativa all'oggetto fotografato.

È questo un esempio tipico della possibilità di trasferire dal mondo della tecnica al mondo animale principi fisico-matematici riguardanti i compiti di elaborazione dell'informazione comuni ai due mondi.

Bibl.: Computers and thought (a cura di E. A. Feigenbaum e J. Feldman), New York 1963; Computer augmentation of human reasoning (a cura di M. A. Sass e W. D. Wilkinson), Washington 1965; J. von Neumann e altri, La filosofia degli automi (a cura di V. Somenzi), Torino 1965; N. Wiener, La cibernetica, Milano 1968; M. A. Arbib, La mente, le macchine e la matematica, Torino 1968; Cybernetics (Key papers, a cura di C. R. Evans e A. D. J. Robertson), Londra 1968; D. M. MacKay, Information, mechanism and meaning, Cambridge, Mass. - Londra 1969; Biocybernetics of the central nervous system (a cura di L. D. Proctor), Boston 1969; K. S. Lashley e altri, La fisica della mente (a cura di V. Somenzi), Torino 1969; J. Singh, Teoria dell'informazione, linguaggio e cibernetica, Milano 1969; W. Ross Ashby, Introduzione alla cibernetica (a cura di M. Nasti), Torino 1971; A. De Luca, L. M. Ricciardi, Introduzione alla cibernetica, Milano 1971; Autori vari, Il concetto d'informazione nella scienza contemporanea (a cura di R. Rossanda), Bari 1971; M. A. Arbib, The metaphorical brain (An introduction to cybernetics as artificial intelligence and brain theory), New York 1972; H. L. Dreyfus, What computers can't do (a critique of artificial reason), ivi 1972; H. Atlan, L'organisation biologique et la théorie de l'information, Parigi 1972; Computer models of thought and language (a cura di R. C. Shank e K. M. Colby), Reading 1973; P. K. Anochin, N. A. Bernstein, E. N. Sokolov, Neurofisiologia e cibernetica (a cura di L. Mecacci), Roma 1973; H. A. Simon, Le scienze dell'artificiale, Milano 1973; J. Z. Young, Un modello del cervello, Torino 1974; N. Pozin, Simulation des structures neuroniques, Mosca 1974; La teoria dell'informazione (a cura di J. Roger), Seminari interdisciplinari di Venezia, Bologna 1974; E. H. Hutten, Cibernetica, in Enciclopedia del Novecento, vol. I, Roma 1976; K. M. Sayre, Cybernetics and the philosophy of mind, Londra e Henley 1976.

Medicina cibernetica. - La c., definita da N. Wiener come scienza del controllo e della comunicazione nella macchina e negli esseri viventi (App. III, 11, p. 368), è andata affermandosi, nel corso della sua evoluzione, come scienza universale, spesso determinante per il progresso di molti settori dell'attività umana.

Per accostare il concetto di macchina a quello di essere vivente dobbiamo riferirci a uno speciale tipo di macchina: la macchina cibernetica. Questa è caratterizzata dal possedere una specie di sistema nervoso che le conferisce una particolare funzione conosciuta col termine di "intelligenza artificiale".

Il sistema nervoso degli animali, e rispettivamente quello artificiale delle macchine cibernetiche, effettuano l'elaborazione dell'informazione, che è alla base della c. e della teoria dell'informazione (v. informazione, in questa Appendice).

Dalla c. sono sorte altre discipline come l'informatica, la medimatica (matematica applicata alla medicina), la bioingegneria, la bionica, la c. sociale e quella industriale, la medicina c., nonché altri rami sempre più specializzati per far penetrare il sapere ciberneticò e le rispettive tecniche nelle più fini arborizzazioni delle varie attività scientifiche e tecnologiche.

La bioingegneria (v. in questa App.) è anch'essa di derivazione ciberneticò e dev'essere considerata una scienza che, oltre a occuparsi della costruzione di strumenti per la biomedicina, s'inserisce nella logica della medicina c. con la quale collabora, in uno con la bionica (v. in questa App.).

Quest'ultima, partendo dallo studio dei sistemi biologici naturali, progetta e costruisce "sistemi analogici" conosciuti col termine di "pazienti artificiali", che sono largamente usati per le esercitazioni pratiche degli studenti, per le ricerche di medicina c., e specialmente nella costruzione di modelli.

I modelli di muscolo (fig. 1), di cuore e di altri organi, nonché la simulazione dell'uomo nello spazio, sono stati decisivi per la realizzazione di ordigni spaziali sempre più perfetti e tendenti alla "fusione" del sistema nervoso del pilota con "quello dell'astronave".

Le ricerche sul comportamento del cuore e di altri organi nello spazio condotte per ridurre al minimo i danni provocati dall'accelerazione e dalla zero-gravitò, e le altre indagini effettuate nei laboratori della NASA, hanno fatto progredire notevolmente gli studi di fisiologia e di neurofisiologia, contribuendo all'interpretazione della patogenesi delle malattie disnomiche, provocate cioè da errori informativi che fanno inceppare i dispositivi di regolazione funzionale dei vari organi, apparati e sistemi.

La metodologia c. ha avuto notevoli ripercussioni industriali e sociali, perfezionando le tecniche di programmazione e di ricerca operativa (v. ricerca operativa, in questa App.), nonché del controllo qualità dei prodotti e dei servizi, con notevole vantaggio della produzione industriale.

Tale controllo è stato paragonato a quello effettuato dall'organismo vivente e l'analogia è stata confermata dagli studi di R. Bachert del Centro ricerche sulla produttività, dell'università di Strasburgo, nonché di altri

autori che hanno contribuito agli sviluppi della sociologia c., sulla scorta degli studi di N. Wiener che può essere considerato il precursore della c. sociale, che è andata sempre più sviluppandosi in questi ultimi anni.

Meritano di essere ricordati gli studi di A. Moles sulla sociometria e sui modelli cibernetici dei fenomeni economico-sociali, nonché quelli di M. Manescu, autore di ricerche sul ruolo della c. nel campo economico-sociale (fig. 2).

Non possiamo dilungarci nella citazione dei lavori compiuti da numerosi ricercatori nel campo dell'economia, ma ci limitiamo a ricordare gli studi di S. Beer sull'impatto della c. sull'industria, e quelli di E. Huant che definisce l'impresa come unità cibernetica vivente.

La fusione della c. con la medicina ha dato vita ben presto alla medicina c. e a una stretta collaborazione fra medicina e ingegneria, che ha condotto a considerare la biomedicina quasi come un settore dell'ingegneria, destinato allo studio di un particolare tipo di macchina: quella vivente (A. Masturzo).

La medicina c. opera nei seguenti settori principali: matematizzazione della medicina, ricerca col metodo della simulazione, diagnosi automatica, individuazione della terapia ottimale, lettura dei tracciati, delle radiografie e dei preparati istologici. Essa si occupa inoltre dell'automazione dei laboratori di ricerche applicate alla clinica (fig. 3), del controllo delle funzioni biologiche nel corso di interventi chirurgici o di terapia intensiva, dell'insegnamento automatizzato (automated instruction), della formazione permanente del medico (continuing medical education), dell'automazione dei servizi sanitari e del controllo qualità in medicina.

Sulla diagnosi automatica è opportuno fare qualche breve cenno, precisando subito che essa non sostituisce l'opera del medico, ma lo aiuta a risolvere i problemi imposti dalla complessità della moderna medicina, che, per effetto delle nuove tecniche di esplorazione e del gran numero di dati biomedici, vede trasformare la cartella clinica tradizionale in un dossier voluminoso racchiudente una stragrande massa di dati informativi, quasi sempre espressi in linguaggio numerico.

La diagnosi, allorché dev'essere ricavata dall'elaborazione di lunghe colonne di cifre, costituisce un problema di probabilità condizionata (L. P. Lusted e R. S. Ledley), la cui soluzione implica calcoli complessi che possono essere effettuati soltanto con l'impiego dell'elaboratore elettronico.

La dinamica della logica operativa della diagnosi automatica è rappresentata schematicamente dalla fig. 4, che riporta i vari stadi dell'elaborazione, resa più spedita applicando alcuni teoremi del calcolo delle probabilità di cui il più noto è quello di Bayes, del quale si riporta soltanto la formula finale:

dove y rappresenta una malattia tra una serie di malattie y_1, y_2, \dots, y_k , esumendo che siano mutuamente escludentisi, x rappresenta un insieme di dati clinici e paraclinici x_1, x_2, \dots, x_j , P è il simbolo di probabilità e \sum quello di sommatoria.

L'uso di tale formula richiede la preparazione accurata di tabelle statistiche riportanti le relazioni malattie-sintomi, presentate in ordine di frequenza.

Gli elaboratori elettronici dell'ultima generazione hanno segnato un ulteriore progresso nel campo della diagnosi automatica, permettendo di sostituire le formule matematiche piuttosto complesse e non scevre talora di errori, con operazioni logiche e aritmetiche molto semplici che i nuovi calcolatori elettronici effettuano con grande esattezza e in un tempo ridottissimo. Gli ultimi tipi di computer hanno permesso di studiare nuove tecniche di diagnosi non-bayesiana, come quella medigrafica proposta da Masturzo, utile non solo per individuare la malattia da cui è affetto un dato paziente, ma anche per effettuare screening automatici (analisi medigrafica) di gruppi di soggetti opportunamente scelti, allo scopo di studiare le interrelazioni informazionali fra malattie diverse.

Con questo metodo è stata evidenziata l'esistenza di un triangolo informazionale reumatismo-cancro-malattie mentali (Masturzo), che ha dimostrato una particolare resistenza degli ammalati psichiatrici di fronte al reumatismo e di fronte al cancro (fig. 5), confermata da studi condotti nel Galles, in Inghilterra, in Grecia, in URSS e in altri paesi.

Un altro settore della medicina c. riguarda i modelli elettronici per lo studio della patogenesi di svariate malattie, fra cui il reumatismo e le altre malattie disnomiche, e il cancro.

I modelli cibernetici sono stati anche utilizzati per la progettazione e la costruzione delle protesi cibernetiche e per la realizzazione di modelli di cervello di cui il computer è l'esemplare più suggestivo. Tali modelli hanno contribuito non solo ad approfondire le conoscenze sulle funzioni cerebrali, ma anche a perfezionare il computer sulla scorta delle acquisizioni di neurofisiologia.

Meritano di essere ricordati, anche sotto il profilo storico, l'exepia di M. Gardner, l'omeostato di W. R. Ashby, i modelli di Grey Walter, la macchina di P. Nyrac, il modello di C. E. Shannon, quelli di A. M. Uttley, di B. L. M. Chapman, di F. H. George, di P. M. Milner, di P. Rosenblatt, di R. M. Bergstrom e altri.

Non si possono passare sotto silenzio le macchine di G. Pask (adaptive machines) che riescono a costruire da sole delle regole di condotta ricavate dall'osservazione dell'ambiente circostante e capaci di eseguire dei progetti industriali.

I perceptroni, le matrici di apprendimento di K. Steinbuc, il modello di talamo di Masturzo si sono altresì rivelati utili sia per la ricerca scientifica, sia per perfezionare l'organizzazione dei vari settori industriali e dei servizi sanitari sulla scorta delle regole logiche impiegate dal cervello per soprintendere e controllare armonicamente tutte le funzioni dell'organismo.

Nuove prospettive nell'Intelligenza Artificiale

XXI Secolo (2009)

di Roberto Cordeschi, Ernesto D'Avanzo

Premessa

Il programma di ricerca noto come Intelligenza artificiale (IA) nasce ufficialmente nel 1956, nel corso della conferenza organizzata a Dartmouth (Stati Uniti) da John McCarthy, Marvin Minsky, Nathaniel Rochester e Claude Shannon. Nel documento preparatorio della conferenza, che era stato redatto e fatto circolare nell'anno precedente, i quattro autori davano una definizione di IA attraverso l'indicazione del suo principale obiettivo: «Costruire una macchina che si comporti in un modo che sarebbe considerato intelligente nel caso di un essere umano» (Cordeschi 2002, p. 180). La macchina alla quale alludevano gli autori del documento era il calcolatore digitale, che aveva cominciato a diffondersi nei centri di ricerca degli Stati Uniti e dell'Europa al di là delle iniziali applicazioni in campo militare e commerciale. L'intelligenza alla quale essi si riferivano, e alla quale si riferiranno i ricercatori negli anni immediatamente seguenti, era quella umana nelle sue forme alte, quali il ragionamento euristico e la pianificazione, la gestione e il reperimento dell'informazione, le capacità logico-linguistiche e la rappresentazione della conoscenza.

Da quegli anni l'IA è molto cambiata: il calcolatore è oggi usato sempre più estesamente nella simulazione di sistemi anche non deterministici, o che includono caratteristiche degli organismi come lo sviluppo e l'evoluzione, e l'intelligenza che si vuole riprodurre nelle macchine è spesso integrata con abilità senso-motorie, le quali sono alla base dell'interazione con il mondo reale tanto nel caso degli esseri umani quanto, e soprattutto, in quello degli animali. Quest'ultima è la prospettiva aperta con successo dalla robotica più recente, ma non si deve pensare che la buona parte dei temi prima ricordati, che hanno caratterizzato le fasi iniziali dell'IA, siano stati accantonati. Oltre che nella stessa robotica, è nel mondo degli agenti che popolano il World wide web (web d'ora in avanti) che quei temi sono ripresi in modo influente e socialmente rilevante. Nell'insieme, questi settori della ricerca hanno aperto e aprono all'IA prospettive inedite fino a qualche anno addietro, il cui obiettivo è la costruzione di agenti, virtuali nel caso del web, reali o embodied ('incorporati') nel caso dei robot, dotati di gradi di autonomia crescente; tale processo comunque deve sempre scontare l'incertezza e la parzialità delle informazioni che questi agenti hanno sui loro rispettivi mondi.

Autonomia e incertezza nel web e nei sistemi di supporto alle decisioni

Il problema di come rappresentare la conoscenza in un programma per calcolatore è stato sollevato inizialmente dall'IA nell'ambito dei sistemi esperti, sistemi progettati per gestire basi di conoscenza il più possibile estese, relative a determinati domini, utilizzabili da un motore inferenziale per ottenere conclusioni. Inizialmente impiegati in campi come la diagnosi medica e più in generale il supporto alle decisioni, è attualmente nel Web che si sono riprese alcune tematiche dei sistemi esperti. I due aspetti notoriamente più delicati nello sviluppo di una base di conoscenza sono la rappresentazione e l'acquisizione della conoscenza. Il primo aspetto riguarda quale sistema di rappresentazione adottare per codificare la conoscenza in modo da renderla utilizzabile da parte del programma. In generale, è necessario rappresentare la terminologia specifica di un certo dominio, ovvero il linguaggio tecnico usato dagli esperti, le entità del dominio e le relazioni strutturali, cioè i legami tra le entità. Il secondo aspetto, l'acquisizione della conoscenza, riguarda il problema di come selezionare i fatti rilevanti relativamente al particolare dominio in esame (Intelligenza Artificiale, 2001, cap. 11).

Un sistema esperto che possiamo ricordare come anticipatore di molte esigenze attualmente al centro delle ricerche sugli agenti web è Grundy, proposto da Elaine Rich nell'articolo User modeling via stereotypes («Cognitive science», 1979, 3, pp. 329-54). Il sistema simulava il comportamento di un bibliotecario che doveva consigliare all'utente della biblioteca quali volumi consultare su un determinato argomento. Rich introdusse il concetto, poi rivelatosi centrale nel web, di 'modellazione utente'. Perché l'interazione tra il

bibliotecario e l'utente risulti efficace, il bibliotecario deve acquisire quante più conoscenze possibili sulle specifiche esigenze di quest'ultimo, sui suoi interessi e i suoi obiettivi: in altri termini, deve acquisire un 'modello utente' (user model).

Il modello utente può essere acquisito da un sistema o agente web in modi diversi. In certi casi il sistema comincia con il collezionare alcuni fatti rilevanti che riguardano l'utente, come l'età, le preferenze, l'esperienza in un certo settore. Questo approccio, tuttavia, è limitato per due motivi: potrebbe essere necessario per il sistema porre all'utente un numero molto ampio di domande per ottenere la conoscenza di cui ha bisogno e, inoltre, l'utente potrebbe non dare risposte accurate o pertinenti. Nel trattare situazioni incerte come queste, il sistema dovrebbe essere capace di ricavare o dedurre informazioni riguardanti l'utente sulla base di un numero generalmente ridotto di conoscenze che gli siano state date in forma esplicita.

Si pongono a questo punto due questioni strettamente collegate. La prima questione riguarda il modo con cui ricavare informazioni attendibili da quanto riferiscono gli utenti relativamente alle loro esigenze e ai loro obiettivi. Alcuni esperimenti condotti da Richard Nisbett suggeriscono che un metodo del genere, basato su resoconti affidati all'introspezione degli utenti, non è sempre affidabile. Altri esperimenti, condotti da William McGuire, mostrano come gli utenti siano influenzati dal gruppo sociale di appartenenza. La seconda questione riguarda il modo con cui rappresentare le informazioni in forma esplicita in un sistema, in questo caso un sistema o agente Web. Per la formazione del modello utente in sistemi interattivi come questi, Rich introdusse nel lavoro ricordato gli 'stereotipi'. Un magistrato potrebbe essere rappresentato da una gamma di attributi che riguardano l'essere un uomo o una donna di età superiore ai 30 anni, l'essere ben educato, magari onesto, e così via: attributi che costituiscono uno stereotipo, e che si assumono fino a prova in contrario. Con l'una come con l'altra questione si era già confrontata l'IA nella costruzione dei sistemi esperti. Esse non trovano soluzioni univoche, a causa dell'incertezza e dell'incompletezza dei dati che caratterizzano le situazioni della vita reale, e della cosiddetta conoscenza basata sul senso comune (su quest'ultimo argomento v. oltre).

Nel web si sono avviate una serie di ricerche e di tecniche specifiche che tentano di affrontare questi problemi: una tecnica è quella della personalizzazione dell'utente. I dati per la modellazione dell'utente possono essere raccolti in modo esplicito e in modo implicito. Nel primo caso è l'utente che fornisce al sistema le informazioni pertinenti, rispondendo alle richieste di dati che lo riguardano: se si tratta, per es., di un sito web che vende libri, tali dati possono essere l'età, la formazione, la provenienza, le letture preferite, e così via. Nel secondo caso, quello della modellazione implicita, il sistema 'segue' il comportamento dell'utente mentre

questi esplora il sito, e utilizza i dati così raccolti come base per ricavare in modo automatico, deduttivamente o induttivamente, l'informazione necessaria allo scopo di costruirsi un modello dell'utente. È quanto accade, per es., con i cosiddetti cookies, che si autoinstallano sui comuni navigatori, come Mozilla o Internet explorer: essi hanno la funzione di raccogliere le informazioni sul comportamento dell'utente nella sua navigazione nel web, il sito dal quale proviene, l'indirizzo IP (Internet Protocol), la durata della visita del sito, le pagine visitate e il relativo ordine di visita. Questi dati possono essere usati dal sistema di personalizzazione di un sito, poniamo, di una nuova compagnia telefonica. In questo specifico caso il sistema potrebbe concludere che, se un utente proviene da un'area geografica dove la compagnia opera, e ha visitato alcune pagine del sito riguardanti le offerte dell'ultima settimana, allora tale utente potrebbe essere un potenziale cliente. In questo caso, senza altre informazioni esplicite da parte dell'utente, il sistema potrebbe chiedere all'utente stesso i suoi recapiti (e-mail o numero di telefono) per contattarlo e personalizzare un'offerta.

La qualità dei servizi forniti all'utente dipende in larga misura proprio dalle caratteristiche del modello utente, ovvero dal fatto che le informazioni in esso contenute siano sufficientemente accurate, pertinenti e aggiornate. In generale, quanto maggiore è l'informazione presente nel modello utente, tanto maggiore è la conoscenza che il sistema ha dell'utente e tanto maggiore è la qualità dei suggerimenti che il sistema è in grado di offrire. I sistemi di modellazione e di personalizzazione che abbiamo ricordato permettono agli agenti web di raggiungere un certo grado, più o meno soddisfacente, di autonomia.

Tra i modelli utente sono molto diffusi sia quelli basati sul contenuto del documento (o della pagina web o del messaggio via e-mail) sia quelli cosiddetti collaborativi. Nel primo caso, un servizio o un prodotto vengono valutati sulla base di una descrizione pertinente, che viene confrontata con la descrizione degli interessi contenuta nel modello utente: in altri termini, il sistema confronta le parole contenute nelle descrizioni del prodotto o del servizio con le parole che ricorrono nel modello utente. Nel secondo caso, il sistema ipotizza che utenti che hanno avuto le stesse preferenze, per es. che in passato hanno apprezzato uno stesso libro o film, potrebbero avere preferenze simili anche in futuro, concludendo che se uno di tali utenti ha acquistato un nuovo libro o film, potrebbe farlo, con un certo grado di certezza, anche un altro utente. A questo punto, il sistema, se deve dare un suggerimento all'utente del quale non conosce direttamente le preferenze, può farlo con una buona approssimazione sulla base delle preferenze, che invece gli sono note, di un altro. Entrambi gli approcci, sia quello basato sul contenuto sia quello collaborativo, cercano di affrontare il problema di come usare con una certa autonomia la conoscenza parziale che gli agenti hanno di un dominio o di una situazione (Norvig, Russell 20032).

I casi descritti rappresentano un tipo particolare di sistema di personalizzazione: il recommender system. La tecnologia di Amazon, il sito web nato per la vendita di libri in rete, è basata su un recommender system, che è parte fondamentale del suo successo. Anche i sistemi di filtraggio della posta elettronica permettono all'utente di definire regole che rappresentano le loro preferenze. Attraverso tali regole il sistema costruisce il proprio modello utente che gli permette, per es., di raggruppare i messaggi in cartelle predefinite o di eliminare la posta indesiderata. I sistemi di e-learning, impiegati nell'apprendimento a distanza, sono un'altra area di applicazione della modellazione utente. Anche qui il modello utente è centrale perché, una volta ottenuta l'informazione necessaria sui diversi utenti, il sistema può fornire loro servizi personalizzati (D'Avanzo, Kuflik, Lytras 2008).

Le prospettive che si aprono in questo settore sono molteplici. Un esempio è la modellazione utente per la progettazione di sistemi multimediali per le visite nei musei. I visitatori usano in questo caso un palmare dotato di un segnale wireless (sistemi di comunicazione tra dispositivi elettronici, che non fanno uso di cavi), come nel prototipo realizzato presso l'ITC-irst di Trento (Intelligenza Artificiale, 2001, cap. 11). Il sistema, sulla base delle risposte del visitatore a una serie di domande che appaiono sullo schermo del palmare, può ricavare le sue preferenze e i suoi interessi. Sempre attraverso il palmare, i visitatori possono interagire con il server, fornendogli informazioni in retroazione (feedback) che permettono al sistema di offrire loro una visita personalizzata, adattata alle loro esigenze.

L'informazione in retroazione da parte dell'utente viene utilizzata in contesti diversi. Sistemi per la gestione della posta elettronica come Outlook, Mail, o Eudora sono forniti di procedure automatiche per estrarre un certo numero di attributi da un messaggio, come il mittente, l'oggetto, alcune parole chiave contenute nel messaggio, la presenza o meno di certi tipi di immagini. Quando riceve un messaggio, l'utente può comunicare al sistema che si tratta di 'posta indesiderata' semplicemente contrassegnandolo come tale. Un certo numero di messaggi, generalmente qualche decina, annotati come 'posta indesiderata', permette al sistema, dotato dell'opportuno algoritmo, di apprendere un modello per eseguire successivamente il compito in modo automatico. A differenza di casi come quelli sopra descritti, nei quali è l'utente che inserisce le regole, in questo caso il modello utente viene appreso dal sistema automaticamente in base al comportamento dell'utente stesso, utilizzando algoritmi di apprendimento automatico. Anche l'apprendimento automatico, un'area classica dell'IA, ha trovato nel Web nuove prospettive in forme che vanno dall'apprendimento supervisionato a quello basato su tecniche di analisi probabilistica, in particolare bayesiana, dei dati (Manning, Schütze 2003).

La categorizzazione automatica di testi (text categorization) è un'estensione del caso del filtro per la posta indesiderata a quello in cui le categorie non sono solo due (posta desiderata e non desiderata) ma sono molto più numerose. Come esempio si può citare il sito dell'agenzia di stampa internazionale Reuters, che, per classificare il continuo flusso di notizie, ha reso disponibili diverse collezioni di testi etichettati dai suoi addetti, usate per fare esperimenti di categorizzazione automatica. Gli esperimenti sulle collezioni di Reuters mostrano che, per alcune categorie, i sistemi eseguono il compito con un grado di attendibilità in certi casi paragonabile a quello di un esperto umano, anche se spesso commettono errori dovuti alle ambiguità linguistiche presenti nei testi. Anche motori di ricerca come Yahoo! o Google sono esempi in cui queste metodologie hanno avuto successo.

I sistemi sopra ricordati hanno come obiettivo prevalente l'individuazione di certe esigenze dell'utente. Vi sono poi altri sistemi che puntano a classificare gli utenti a seconda dei loro interessi nel dominio in cui essi effettuano una ricerca. Un sito web dedicato a un'area archeologica (prendiamo come esempio il sito di Ercolano realizzato presso l'Università di Napoli Federico II) può essere progettato in modo tale che i diversi utenti, nel corso della loro navigazione nel sito, vengano classificati dal sistema a seconda dei loro interessi prevalenti (di archeologo, architetto, turista, studente e così via). Il sistema, in altri termini, possiede una serie di profili di potenziali utenti (individuati dal progettista con la collaborazione di esperti di diversi settori), che usa per classificare i visitatori del sito sulla base delle 'tracce' che questi lasciano nel corso della loro navigazione, ovvero sulla base della scelta che essi fanno dei diversi argomenti messi a disposizione nel sito stesso. Al sistema diventa possibile, una volta ipotizzato un certo profilo utente grazie all'utilizzo di tali tracce o indizi, assistere l'utente nella visita del sito sulla base del suo specifico profilo (Intelligenza Artificiale, 2001, cap. 11).

Queste applicazioni di tecniche di IA nel web rientrano a pieno titolo nella categoria dei sistemi di supporto alle decisioni, sistemi automatici che assistono l'utente, esperto o meno, nello svolgimento di un determinato compito. Attualmente questi sistemi sono implementati sotto forma di assistenza nel web, e permettono a utenti diversi di interagire a distanza (Decision support and business intelligence systems, 20078). Altre applicazioni nel web che fanno ampio uso di queste metodologie riguardano il commercio elettronico (Giudici 2005). Un esempio è la web clickstream analysis: analizzando il flusso dei clicks su un sito, e usando le informazioni riguardanti l'ordine con cui vengono visitate le pagine, si può prevedere con buona approssimazione il comportamento di visita dell'utente, e diventa chiaro quali pagine sono particolarmente rilevanti per l'acquisto elettronico di certi prodotti. Un altro esempio è il web profiling: analizzando i dati relativi alle visite a un sito, si possono classificare gli utenti in base ai rispettivi profili comportamentali. In

questo caso è possibile ottenere una classificazione dell'utenza che può essere usata in successive decisioni riguardanti il marketing. Infine, un altro esempio riguarda il customer relationship management, utilizzato per individuare gruppi omogenei di utenti in termini di comportamenti di acquisto e di caratteristiche sociodemografiche.

I sistemi di reperimento dell'informazione (information retrieval, IR in seguito) sono un altro settore dell'IA che trova nel web nuove prospettive. Un sistema IR ha la funzione di indirizzare l'utente a quei documenti che dovrebbero soddisfare nel modo migliore le sue esigenze nel processo di acquisizione di informazione. Se l'utente incontra difficoltà, magari perché le risorse a sua disposizione sono inadeguate, può cercarne altre rivolgendo una domanda, o query, a un sistema IR, come una banca dati o un motore di ricerca. Nel cosiddetto filtraggio delle informazioni (information filtering) il processo inizia con utenti che hanno obiettivi o esigenze relativamente stabili, a medio o lungo termine. Gli utenti (singoli individui o gruppi di individui) possono avere comunque obiettivi che cambiano gradualmente nel tempo. Il problema è quello di rappresentare efficacemente i profili degli utenti, in modo che il sistema possa successivamente modificarli e aggiornarli. Nei sistemi IR si rivela quindi di fondamentale importanza l'uso di tecniche adeguate di rappresentazione della conoscenza per la costruzione di profili degli utenti, mentre per l'aggiornamento automatico dei profili si ricorre a tecniche di apprendimento automatico basate sull'osservazione del comportamento dell'utente (Decision support and business intelligence systems, 20078). Ciò permette ai sistemi IR di raggiungere un buon grado di autonomia e di gestione dell'incertezza.

La linguistica computazionale è un'area nella quale si sono sperimentate numerose tecniche di elaborazione del linguaggio naturale ispirate dall'IA. Una di queste è la costruzione automatica di sommari (automatic text summarization). Con l'esplosione dell'informazione nella rete, gli utenti incontrano diverse difficoltà. Spesso, sono costretti a leggere buona parte di una pagina web prima di deciderne la rilevanza per le loro esigenze e per i loro obiettivi. Si verificano in questi casi fenomeni di sovraccarico cognitivo, ricorrenti quando si visitano siti e in generale risorse web di grandi dimensioni. Una possibilità per ridurre questo inconveniente è ricorrere a 'sommari' che orientino il comportamento di navigazione (browsing behaviour). Studi recenti mostrano come i sommari, oltre a ridurre il sovraccarico cognitivo dell'utente, aumentano la conoscenza della pagina analizzata. Secondo alcuni autori, in particolare nella creazione di pagine web si dovrebbe dare sempre un'anteprima dell'informazione contenuta in un documento; il motore di ricerca Google, nel restituire i risultati di una ricerca, mostra, per ciascun documento, un breve sommario, o snippet, contenente alcune parole o frasi chiave del documento stesso, con l'obiettivo di dare all'utente un'idea degli argomenti ivi trattati (Data mining VI, 2005). Studi condotti su utenti mostrano come la lettura di un testo avviene con movimenti

degli occhi ‘a scatto’, irregolari o ‘spasmodici’, che si concentrano sulle parole chiave per circa 250 millisecondi. Un sommario che sia troppo esteso rischia di produrre nell’utente sovraccarico cognitivo; viceversa, sommari brevi e concisi, come quelli costituiti da insiemi di parole chiave, possono ridurlo in modo sostanziale.

La costruzione dei sommari mediante parole chiave è un tipo di metodologia che nell’ambito della linguistica computazionale è nota come analisi superficiale, in quanto non fa uso di analisi linguistiche elaborate, come avviene invece quando si impiegano gli analizzatori sintattici, che riconoscono frasi o parti di frasi.

Quest’ultima metodologia, detta analisi profonda, è di norma costosa in termini di risorse, e talvolta non vale la pena ricorrervi; i riconoscitori vocali dei call center si basano su parole chiave, poiché il sistema risponde bene al rumore dell’ambiente ‘frammentato’ di una conversazione telefonica. In generale, nel reperimento dell’informazione si fa uso di tecniche di analisi superficiale come quella appena descritta, o come quella basata sul riconoscimento di gruppi di parole, quali i gruppi nominali o verbali.

Si è visto come la query sia di norma imprecisa e incompleta, e come un motore di ricerca tenti di trovare i documenti che possono essere rilevanti per l’utente. Nell’IR si pongono i classici problemi della semantica dei linguaggi naturali, come quello dell’ambiguità, che non è sempre facile affrontare anche nel web. Se si digita la query «auto usata» sul motore di ricerca Google, i documenti che esso restituisce sono diversi da quelli che si ottengono digitando «macchina usata». Il motore, in questo caso, non considera macchina e auto come sinonimi.

Nel web molti dei problemi collegati all’elaborazione del linguaggio naturale sono stati affrontati ricorrendo alle ontologie. Un’ontologia è costituita dal cosiddetto vocabolario controllato, l’insieme dei termini che permette di formulare una query usando parole chiave impiegate nella collezione dei documenti. In un’ontologia i concetti e le relazioni fra essi sono organizzati in modo prevalentemente, anche se non esclusivamente, gerarchico. Per fare un esempio, si possono usare concetti più generali quando quelli specifici non permettono di trovare l’informazione desiderata, espandendo la query; oppure si possono usare concetti più specifici quando con quelli generali si ottiene informazione in eccesso, delimitando la query; o ancora, si possono usare concetti collegati tra loro in modo non strettamente gerarchico.

Il motore di ricerca SKIP (Semantic Knowledge Indexing Platform) è un esempio di costruzione di ontologie nel web che si presenta anche come un prodotto commerciale nel settore biomedico. Poniamo che l’utente, in generale un operatore medico, ponga a SKIP una domanda in linguaggio naturale su cosa regoli l’aderenza

dell'integrina (una glicoproteina che svolge il ruolo di collegamento della cellula con la matrice extracellulare) alla membrana dei linfociti, e se essa sia responsabile dell'associazione fra il gene PSCD con le membrane. In questo caso SKIP restituisce i documenti rilevanti per questa domanda, mostrando una rappresentazione grafica dei collegamenti fra le varie parole chiave della query. I primi due documenti restituiti mostrano che i concetti di 'integrina' e di 'linfocita' sono regolati tramite un meccanismo di aderenza, responsabile dell'associazione del gene PSCD con le membrane.

Come sappiamo, l'idea di costruire una base di conoscenza su larga scala è presente nella ricerca dell'IA dai tempi dei sistemi esperti. Tuttavia, è con il progetto promosso negli Stati Uniti da Douglas Lenat (n. 1950) a partire dalla metà degli anni Ottanta del secolo scorso che la ricerca ha avuto una svolta, dopo i chiarimenti sui limiti dei sistemi esperti dell'epoca. Abbiamo accennato ad alcuni problemi sollevati dai sistemi esperti, riassumibili nella difficoltà di gestire la conoscenza basata sul senso comune. In breve, l'ambizioso sistema di IA progettato da Lenat, Cyc (da encyclopedia), doveva essere fornito di una base di conoscenza desunta da un certo numero di voci di un'enciclopedia e, inoltre, dalle conoscenze generali del senso comune presupposte nella comprensione di tali voci. L'obiettivo era di dare al sistema la maggior parte possibile della conoscenza del senso comune potenzialmente necessaria per la comprensione di qualsiasi altra voce dell'enciclopedia. Da allora, il progetto è stato sviluppato da Lenat con numerosi collaboratori, e l'approdo è stato quello di collegare Cyc con il web attraverso un motore di ricerca come Google, con risultati attualmente parziali, ma che in prospettiva potrebbero rendere molto veloce e accurata l'automazione del processo di acquisizione di nuova conoscenza (Matuszek, Witbrock, Kahlert et al. 2005). L'uso di Google permette di utilizzare sia la conoscenza già presente in Cyc sia quella presente nel web. Inoltre, la conoscenza di Cyc viene usata come base per acquisirne di nuova attraverso tecniche di apprendimento automatico. Ciò ha permesso in particolare di ridurre il livello di competenza richiesto agli esperti umani che contribuiscono alla realizzazione di Cyc, riducendo anche il tempo necessario per l'aggiornamento della conoscenza.

Cyc rientra in un progetto il cui esito, in prospettiva, sarebbe non solo la comunicazione e il trasferimento di conoscenza fra uomo e macchina, ma anche la comunicazione e il trasferimento di conoscenza tra macchine. È questa anche la visione di Tim Berners Lee (n. 1955), uno dei padri del web, che nell'auspicare l'avvento di macchine che potessero comunicare e capire altre macchine, ha coniato l'espressione web semantico. Le ontologie come quelle usate da SKIP o le basi di conoscenza come quelle di Cyc non sono che alcune delle tante esperienze, spesso molto diverse tra loro, che vanno in questa direzione. Al momento, il web semantico, al di là dei suoi sviluppi futuribili, resta una prospettiva aperta, che viene da alcuni affrontata nei termini di un web bayesiano (Baclawski, Niu 2006), un fatto che riporta in primo piano la permanente difficoltà di gestire

l'incertezza e l'incompletezza dell'informazione nelle situazioni della vita reale, insieme alle difficoltà, anche queste sperimentate dalla prima IA, della conoscenza basata sul senso comune e della questione del significato nella gestione del linguaggio naturale.

Autonomia e incertezza nel mondo reale

Molti dei problemi e delle prospettive che riguardano gli agenti virtuali che popolano il web, interessano anche agenti embodied come i robot. L'IA non aveva mancato di confrontarsi molto presto con questo tipo di agenti, ma con esiti complessivamente limitati. Una svolta importante si è verificata al MIT (Massachusetts Institute of Technology) a partire dagli anni Ottanta del Novecento con la proposta da parte di Rodney A. Brooks (n. 1954) di una nuova architettura robotica, l'architettura della sussunzione. In questo caso l'agente è visto come composto da moduli di controllo funzionalmente distinti ma interconnessi, che agiscono senza la supervisione di un unico sistema di controllo e di pianificazione dell'azione basato su un modello del mondo, come si era tentato di fare nell'ambito della robotica precedente. In linea con l'ispirazione prevalente della prima IA, questa tipologia di robotica aveva privilegiato le capacità deliberative (ragionamento, pianificazione) e la rappresentazione della conoscenza, mettendo in secondo piano l'integrazione di queste capacità con le modalità sensomotorie (il robot Shakey, che è stato costruito sempre presso il MIT negli anni Settanta, viene considerato il prototipo di questo approccio). Nel caso dell'architettura della sussunzione, un modulo di controllo di basso livello, relativo a un comportamento reattivo (e dunque funzionante attraverso continue retroazioni con l'ambiente), è interconnesso con un modulo di livello più alto che controlla un comportamento più complesso, in modo tale che un modulo possa attivare o inibire un altro modulo a seconda delle circostanze. Tutto questo garantisce al robot un certo grado di autonomia rispetto all'ambiente esterno, rendendolo capace di reagire con qualche efficacia a situazioni non previste o non prevedibili, o sulle quali dispone di informazioni parziali, e di farlo in tempo reale, senza che sia necessaria, come si è detto, una complessa attività di pianificazione delle risposte e il ricorso a un modello del mondo il più accurato possibile. Uno di questi robot, Genghis, era in grado, con i suoi sei arti capaci di movimenti diversi e indipendenti, di muoversi su svariati tipi di superfici, anche accidentate o con ostacoli, e pure di seguire oggetti mobili. Un robot costruito nel gruppo di Brooks da Maja Mataric, Toto, era in grado di memorizzare una mappa topologica di un ambiente costellato di diversi ostacoli, per percorrerlo una seconda volta con maggiore rapidità ed efficienza (Brooks 1999).

L'approccio di Brooks ha ispirato un'estesa serie di ricerche di robotica cosiddetta behavior-based, che assieme a non pochi successi, ne ha portato alla luce alcuni limiti. Uno sguardo all'evoluzione della robotica

dopo gli anni Ottanta mostra come questa abbia dovuto fare i conti con la difficoltà di sviluppare le capacità dei robot da un livello meramente reattivo a un livello in cui sopravvenissero attività più complesse di interazione con l'ambiente, come qualche forma di pianificazione e di ragionamento. Più in particolare, una delle difficoltà ha riguardato il sistema di controllo in robot basati sull'architettura della sussunzione. La progettazione di un'architettura del genere incontra la difficoltà di integrare efficacemente i moduli man mano che questi vengono a essere aggiunti per ottenere prestazioni più complesse del robot. E i successi dei primi robot, come quelli che abbiamo ricordato, possono spiegarsi con la relativa semplicità delle loro prestazioni. Da difficoltà di questo tipo ha preso il via la robotica evuzionista (Nolfi, Floreano 2000), che ha usato gli algoritmi genetici come procedura automatica per sviluppare in modo evolutivo il sistema di controllo di un robot nel corso della sua interazione con l'ambiente esterno e con altri suoi simili.

Gli algoritmi genetici furono inizialmente introdotti da John H. Holland (n. 1929) negli Stati Uniti durante gli anni Sessanta del secolo scorso. In sintesi, essi partono generando a caso una popolazione di stringhe, corrispondenti ai genotipi dell'evoluzione naturale, ciascuna delle quali rappresenta una possibile soluzione a un dato problema. Tale popolazione viene fatta evolvere mediante l'applicazione di operatori basati su criteri di ricombinazione che simulano i processi genetici dell'evoluzione naturale. In questo modo da stringhe genitrici se ne generano altre, che rappresentano nuove soluzioni per il problema, possibilmente migliori. Gli algoritmi genetici sono tornati in primo piano solo recentemente, per il diffondersi sia del parallelismo e dello studio dei sistemi dinamici complessi sia delle ricerche sullo sviluppo prebiotico. Essi sono ormai oggetto di indagini di punta in diversi settori dell'IA, influenzando tecniche diverse di programmazione e di ottimizzazione. Nella forma probabilmente più popolare essi sono stati oggetto di sperimentazione nella vita artificiale, come Christopher Langton (n. 1949) ha battezzato verso la fine degli anni Ottanta la simulazione su calcolatore dei processi biologici della vita e dei sistemi organici complessi. Secondo Langton, la biologia, nella spiegazione della vita, parte 'dall'alto' considerando l'organismo come una macchina biochimica complessa, per scendere poi per analisi verso il basso, fino ai livelli della cellula e delle molecole. La vita artificiale parte invece 'dal basso', considerando l'organismo come una popolazione di macchine semplici, e lavora per sintesi verso l'alto, costruendo aggregati di oggetti semplici sempre più estesi che interagiscono reciprocamente (Artificial life, 1989, pp. 2-3).

Progettazione evolutiva basata su metodi ispirati agli algoritmi genetici e fabbricazione automatica di robot sono alla base di un approccio, tra vita artificiale e robotica, promosso tra gli altri da Jordan Pollack negli Stati Uniti (Lipson, Pollack 2000). Si tratta in questo caso di far progettare a un programma per calcolatore, sulla base di elementi di partenza elementari (come leve e giunti, ma anche reti neurali), diverse generazioni di

semplici robot mobili, facendole 'evolvere' in un ambiente virtuale in modo da eliminare progressivamente i progetti meno efficienti e migliorando quelli meglio adattati all'ambiente (in termini di maggiore capacità locomotorie). Tali progetti sono infine realizzati automaticamente. L'autonomia, obiettivo della nuova robotica, viene dunque estesa dal livello del comportamento a quelli della progettazione e della fabbricazione. L'obiettivo, con potenziali future applicazioni di vasta portata, è la costruzione di robot riducendo al minimo l'intervento dell'uomo.

Nel complesso, l'estrema varietà dei metodi sperimentati dalla ricerca robotica lascia aperte diverse prospettive per quanto riguarda il ruolo svolto dalla rappresentazione della conoscenza e i molteplici aspetti relativi al controllo, il ruolo delle componenti reattive e di quelle deliberative nonché la loro possibile integrazione reciproca in agenti robotici cosiddetti ibridi. I successi attuali riguardano numerosi settori della robotica applicativa, che includono i robot manipolatori nella chirurgia, i robot marini e anfibi, i veicoli in grado di autoguidarsi e quelli che esplorano ambienti ostili o non noti (è il caso dei diversi veicoli inviati sul suolo di Marte). Ma esiste anche una robotica biologicamente ispirata, o biorobotica, interessata alla costruzione di robot che riproducano funzioni di organismi più o meno semplici, in modo da comportarsi con successo in situazioni in cui tali organismi sono particolarmente abili o ben adattati. Esistono già prototipi di microrobot di questo genere, che in prospettiva potranno essere utilizzati nella diagnostica medica. Un esempio è il robot E-Worm, realizzato presso la Scuola superiore Sant'Anna di Pisa, che, mimando la locomozione del bruco, potrebbe costituire una valida alternativa alle tradizionali tecniche colonscopiche più invasive (Handbook of robotics, 2008). Infine, sempre nell'ambito della biorobotica, non mancano ricerche di tipo più marcatamente epistemologico, in linea con alcuni approcci teorici della prima IA, dove i robot sono considerati, questa volta, come modelli di organismi viventi, che includono diverse restrizioni comportamentali, neurologiche e più in generale biologiche, e che dunque suggeriscono o validano ipotesi nello studio di tali organismi (Cordeschi 2002). Uno straordinario laboratorio di sperimentazione e innovazione è rappresentato dai tornei di RoboCup (Nardi 2000), vere e proprie competizioni tra squadre di robot calciatori, che da un lato hanno dato nuovo impulso allo studio dell'interazione tra agenti e dei sistemi multiagente, dall'altro rappresentano uno dei tanti impieghi di robot umanoidi: squadre di tali robot hanno cominciato dal 2002 a competere nei RoboCup (v. la serie di volumi RoboCup, che l'editore Springer pubblica annualmente dal 1997). La prospettiva, al momento futuribile, è di arrivare un giorno a una competizione tra giocatori umani e robot, con la vittoria di questi ultimi: un obiettivo, per quanto diverso, paragonabile a quello a lungo perseguito dall'IA classica, quando la prospettiva era la competizione uomo-macchina in giochi complessi come gli scacchi, prospettiva realizzata nel 1997 con la vittoria del supercalcolatore Deep blue, costruito dalla IBM, sul grande maestro di scacchi Garry Kasparov.

L'obiettivo dell'autonomia promosso dalla più recente robotica si sta sviluppando da tempo sul fronte della robotica umanoide in diversi Paesi, in Europa come in Giappone e negli Stati Uniti. Rispetto a molti robot mobili precedenti, i robot umanoidi sono concepiti per essere in grado di interagire ed eventualmente cooperare con gli esseri umani, anche in attività di vita quotidiana. Uno dei casi più rilevanti è quello dell'assistenza da parte di robot umanoidi (o con capacità umanoidi) a disabili e anziani: un problema particolarmente avvertito nei Paesi più sviluppati. Accanto a queste applicazioni pacifiche della robotica si collocano quelle, non poco controverse, di tipo bellico, alle quali si destinano investimenti sempre più ingenti, nella prospettiva di robot dotati di gradi di autonomia crescente. Nell'uno come nell'altro caso (Handbook of robotics, 2008) la robotica non manca di suscitare diversi interrogativi di natura sociale ed etica, interrogativi paragonabili a quelli sollevati nel Web relativamente al controllo delle informazioni alle quali gli utenti scelgono di accedere attraverso i motori di ricerca, al controllo della loro privacy, della gestione e della reperibilità più o meno 'democratiche' delle informazioni presenti sulla rete (Witten, Gori, Numerico 2006).

I robot umanoidi hanno posto il problema di come poterli dotare di una morfologia somigliante a quella degli esseri umani, in modo da facilitare in futuro la comunicazione reciproca. Uno degli obiettivi è di dar loro sia la capacità di manifestare emozioni attraverso un'opportuna mimica facciale sia quella di decifrare le emozioni manifestate dalla mimica facciale dell'interlocutore umano, come sorpresa o spavento, approvazione o disapprovazione. Si tratta di aspetti notoriamente rilevanti nell'interazione sociale, che i robot cominciano a gestire in forma per ora embrionale (Who needs emotions? The brain meets the robot, 2005). Uno degli argomenti certo speculativi ma sempre più sondati riguarda la natura delle emozioni dei robot, in relazione a quelli che i filosofi chiamano i *qualia*, cioè le sensazioni private. In questo caso si apre un problema che va ben al di là della semplice simulazione delle emozioni, un problema che si ripropone nello studio, anche questo ritenuto sempre più importante, delle possibili forme di coscienza nei robot.

Autonomia vuol dire per i robot gestire con successo in primo luogo l'incertezza e l'intrinseca imprevedibilità che caratterizza l'ambiente reale. La gran parte dei robot che abbiamo sommariamente richiamato, a partire da quelli più semplici, operano in situazioni imprevedibili, sulle quali essi (come accade spesso anche agli esseri umani) di norma non sono che parzialmente informati. L'incertezza e l'imprevedibilità riguardano sia i sensori sia gli attuatori, per non parlare delle rappresentazioni che i robot possono farsi dell'ambiente e degli algoritmi che sono alla base dell'elaborazione dell'informazione, proveniente dall'ambiente, in tempo reale. Un approccio che tenta di affrontare l'insieme di questi problemi è la robotica probabilistica (Thrun, Burgard, Fox 2005).

Coerenti con gli obiettivi di questa robotica, e più in generale con quelli della gestione dell'informazione in condizioni di incertezza, sono alcuni sviluppi della visione artificiale. Va ricordato che, dopo le influenti ricerche di David Marr (1945-1980), i nuovi indirizzi della cosiddetta visione animata avevano aperto nuove prospettive alla visione artificiale a partire dai primi anni Novanta del Novecento. L'approccio di Marr, basato sull'idea che la ricostruzione tridimensionale della scena, ottenuta a partire da immagini bidimensionali elaborate da quella che egli aveva chiamato la visione primaria, fosse l'approdo finale del processo visivo, è apparso carente. Dana Ballard (n. 1946) aveva concluso che con Marr ci si era limitati allo studio di sistemi di visione statici e passivi, senza considerare gli aspetti attivi della percezione visiva. Secondo Ballard, occorre tener conto di questi aspetti, che stanno alla base della stretta relazione che l'agente intrattiene con l'ambiente. Sono le esigenze e gli obiettivi di quest'ultimo a orientare il processo visivo (Intelligenza Artificiale, 2001, cap. 6).

L'incertezza che caratterizza, per un agente così inteso, l'informazione visiva proveniente dall'ambiente è studiata ora da buona parte della visione artificiale in termini di formazione e controllo di ipotesi: la percezione visiva è considerata in questo caso un processo di inferenza (inconscia) descrivibile in termini bayesiani, un processo che l'agente mette in atto sulla base delle informazioni parziali di cui dispone, quando decifra il contenuto di immagini complesse o ambigue. L'approccio probabilistico, in particolare bayesiano, sembra offrire dunque un quadro generale per la costruzione di modelli computazionali in settori diversi (Probabilistic models of cognition, 2006), non soltanto la robotica e la visione, ma, per ricordare alcuni argomenti che sono stati trattati in precedenza, anche l'apprendimento, l'elaborazione del linguaggio, il ragionamento.