

Psicologia generale

Questo manuale presenta la psicologia generale secondo una nuova prospettiva. Per tradizione mente e cervello sono stati oggetto di studi separati. Gli autori, invece, partono dall'assunto che non vi è attività mentale che non abbia un correlato nel cervello e affrontano la disciplina illustrando l'intercambio tra lo studio sperimentale dei comportamenti e la descrizione dei correlati neurali corrispondenti a quei comportamenti. Conoscere la natura umana da entrambi i lati del sistema mente-cervello ci ricorda che condividiamo con tutte le specie il grande albero della vita.

INDICE DEL VOLUME: Premessa. - I. Mente e cervello. - II. Percezione. - III. Attenzione. - IV. Emozioni. - V. Memoria. - VI. Rappresentazione e conoscenza. - VII. Funzioni esecutive e cognizione motoria. - VIII. Pensiero. - IX. Linguaggio. - X. Conclusioni. - Riferimenti bibliografici. - Indice analitico.

PAOLO LEGRENZI è professore straordinario di Psicologia cognitiva nell'Università Ca' Foscari di Venezia. Per il Mulino ha fra l'altro pubblicato: «Creatività e Inno-vezione» (2005); «Credere» (2008); «La fantasia» (2010); «Neuro-mania» (2009, con C. Umiltà; trad. ingl. Oxford UP, 2011) e «Psicologia generale» (con L. Anelli, 2012⁵).

COSTANZA PAPAGNO è professore ordinario di Psicologia fisiologica e Psicobiologia nell'Università degli Studi di Milano-Bicocca. Per il Mulino ha pubblicato: «Psicologia generale e neuroscienze cognitive. Manuale per le professioni medicosanitarie» (curato con C. Cacciari, 2006); «Neuropsicologia della memoria» (2010) e «Manuale di neuropsicologia» (curato con G. Vallar, 2011²).

CARLO UMILTÀ è professore emerito di Neuropsicologia nell'Università di Padova. Per il Mulino ha pubblicato, oltre al libro con P. Legrenzi: «Manuale di neuroscienze» (a cura di, 1999); «Il cervello. Anatomia e funzione del Sistema nervoso centrale» (con M. Matelli, 2007) e «Il cervello» (2011).



All'indirizzo www.mulino.it/aulaweb docenti e studenti trovano materiale utile alla didattica e all'apprendimento.



PAOLO LEGRENZI
COSTANZA PAPAGNO
CARLO UMILTÀ

**Psicologia
generale**
Dal cervello alla mente

aulaweb



ISBN 978-88-15-239006



Autrice: Francesca Vaccari

Premessa

Questo non è, o almeno non vorrebbe essere, un nuovo manuale di psicologia generale, bensì un modo nuovo di presentare la disciplina.

La novità consiste nell'intreccio tra lo studio sperimentale dei comportamenti e la descrizione dei correlati neurali corrispondenti a quei comportamenti. Le teorie della psicologia sono confermate, per così dire, da due lati. Dai dati ottenuti con gli esperimenti tradizionali, ma anche dalle localizzazioni dei meccanismi cerebrali che hanno generato tali comportamenti. Due facce della stessa medaglia.

Sembrerebbe un approccio ovvio: non vi è attività mentale che non abbia un correlato nel cervello. Eppure è ancora viva una tradizione culturale che considera indipendenti il corpo e la mente. Tale modo di vedere le cose può essere fatto risalire, almeno nell'ambito del pensiero occidentale, a Cartesio, filosofo francese del Diciassettesimo secolo. Oggi questa tradizione è filtrata nel senso comune e nei modi correnti di parlare.

La tradizione di separazione tra questi due punti di vista, complementari nel descrivere lo stato di una persona, ha legittimato, a tutti gli effetti, lo studio del corpo umano e delle sue cure. Non ha invece agevolato la nascita della psicologia come scienza, che è nata tardi, meno di due secoli fa, per vie traverse e grazie alla collaborazione con altre discipline. Solo dalla metà del Diciannovesimo secolo, in seguito al diffondersi dei lavori di Darwin, l'uomo viene visto come uno dei tanti esiti dell'evoluzione naturale, né più né meno delle altre specie viventi. Che senso ha, allora, tenere separati mente e cervello, se questi sono il prodotto della stessa storia? Eppure l'ottica dualista, mente da un lato e corpo dall'altro, è stata assorbita nella cultura spiccioia dei paesi occidentali. Basti qui ricordare che le notizie sui media, volte a enfatizzare un collegamento tra una certa attività mentale e una data area cerebrale, sono spesso presentate come se si trattasse di scoperte stupefacenti.

Insomma nulla è nella mente che non sia nel cervello, trattandosi di due livelli di descrizione del medesimo fenomeno. I recenti progressi nella ricerca hanno

fatto si che oggi questa non sia una semplice dichiarazione di principio, basata sul fatto che l'uomo è un animale come gli altri, anche se la sua evoluzione l'ha reso più complesso e, ad esempio, l'ha dotato di strumenti come il linguaggio e il pensiero. Questi strumenti permettono di costruire fenomeni non naturali, e cioè eventi sociali che nascono dall'interazione tra gli individui.

La psicologia è così diventata, oggi, un sapere centrata tra meccanismi naturali e fenomeni che hanno una base sociale e culturale, ma non per questo sono privi di correlati cerebrali. Se tutto ciò è dato per scontato, come mai solo ora è disponibile un'introduzione alla disciplina che presenta i due aspetti, cervello e mente, come due facce della stessa medaglia? Il fatto è che, per essere due facce della stessa medaglia, devono esserlo veramente. Al contrario, per molto tempo, la psicologia si è sviluppata soltanto come studio dei comportamenti e dei meccanismi mentali inferibili, direttamente o indirettamente, dai dati sperimentali. È pur vero che il confronto tra persone senza lesioni cerebrali e pazienti con lesioni cerebrali ha permesso, da più di un secolo a questa parte, di individuare la localizzazione nel cervello di una certa attività mentale. Gli studi sugli effetti delle lesioni avevano già aiutato gli psicologi nell'escludere, per esempio, alcuni modelli volti a spiegare le nostre capacità linguistiche. Le difficoltà o i deficit dovuti a lesioni sono, per così dire, la cartina di tornasole, il terreno di collaudo delle teorie psicologiche. Il grande salto qualitativo è stato reso possibile, tuttavia, negli ultimi vent'anni, quando si sono aggregate metodologie che permettono di individuare, tramite varie tecniche, quelle parti del cervello che sono più attive nel corso dell'esecuzione di un compito sperimentale. Per questi motivi una presentazione del funzionamento della mente, in assenza totale dei correlati neurali, diventerà in futuro sempre più insostenibile.

È senz'altro vero che studiare in questo modo la psicologia generale è un po' più oneroso perché si devono imparare nozioni aggiuntive: come funziona, in generale, il cervello (cfr. cap. 1) e, ad esempio, quali sono le basi neurali del sistema visivo (cfr. cap. 2). In seguito altre attività come l'attenzione (cfr. cap. 3), le emozioni (cfr. cap. 4), la memoria (cfr. cap. 5), la rappresentazione di concosce (cfr. cap. 6), le funzioni esecutive e il controllo motorio (cfr. cap. 7), il pensiero (cfr. cap. 8) e il linguaggio (cfr. cap. 9) si possono presentare integrando evidenze sperimentali e corrispondenti localizzazioni cerebrali.

Le due facce della stessa medaglia sono complementari. È più importante sapere come funziona il cervello o la mente? La lettura di questo libro mostra che questa è una domanda mal posta. Sono importanti entrambe.

È probabile che, in futuro, una parte crescente delle nostre attività mentali non dipenderà soltanto dal cervello, frutto dell'evoluzione della specie. Attività cerebrali prodotte da sistemi artificiali, quali sono i computer e gli *smartphone*, si affiancheranno alle attività cerebrali prodotte da sistemi «naturali». Già oggi, per alcuni aspetti, abbiamo un arricchimento della percezione o della memoria grazie a protesi artificiali esterne. Sappiamo, ad esempio, che le persone, soprattutto i giovani, interagendo continuamente con gli *smartphone*, modificano le loro strategie di registrazione di quanto ritengono rilevante. Di conseguenza, alcune informazioni sono memorizzate in modo tradizionale, altre no: ci si af-

fida sistematicamente ad archivi esterni. Sono per ora attività marginali, ma è plausibile supporre che i sistemi artificiali avranno un peso sempre maggiore. È quindi opportuno imparare la psicologia conoscendo bene vincoli e confini di tutti i sistemi, naturali e non, che stanno alla base delle attività mentali. È per conoscere bene un confine, è consigliabile esaminarlo a fondo da entrambi i lati.

Mente e cervello

1. SCOPRI E CONTENUTI DEL MANUALE

Avevete appena aperto questo libro, forse per curiosità, forse per studiarlo. Immaginiamo che prima di spostare gli occhi sulle pagine, concentrandolo la vostra attenzione su quello che c'è scritto, voi abbiate fatto un piano delle attività della giornata, per decidere quanto tempo dedicare alla lettura mattutina. Poi vi siete immersi nello studio, senza percepire più nulla di quello che vi circondava. Via via che leggete, vi vengono in mente episodi analoghi del passato, depositati nella vostra memoria. Cercate di concentrarvi sul libro fino a quando, stanchi, decidete di dedicarvi ad attività più emozionanti.

Come mai è stato possibile tutto ciò? Una persona è capace di leggere se le è stata insegnata la scrittura e la lettura, due aspetti del linguaggio. Studiare vuol dire, in prima approssimazione, capire, grazie alla conoscenza dei significati delle parole, e ricordarsi quello che si è appena letto, grazie alla memoria. Siamo anche in grado di decidere di fare una cosa invece di un'altra e, una volta impegnati in una data attività, dobbiamo dedicarvi attenzione, se vogliamo farla bene. Infine ci sono cose che ci emozionano più di altre: la lettura di un manuale non è certo tra le attività più travolgenti della vita.

Intuiamo, magari vagamente, di avere tutte queste capacità, anche se non conosciamo la disciplina che le studia, la psicologia generale. E pensiamo che queste capacità si basino su dei processi mentali. E tuttavia ci siamo più volte accorti del fatto che quando siamo ammalati o abbiamo un forte mal di denti, e la testa ci fa male, non si riesce a pensare bene e a concentrarsi. In altre parole la mente non è una sostanza indipendente dal corpo, dato che viene influenzata dalle sue condizioni.

Anni fa a Firenze, i muri erano stati tappezzati dai manifesti di una campagna «educativa» volta a spingere i giovani a prendere le opportune precauzioni quando la passione erotica stava per travolgerli. Lo slogan della campagna era: «Se stai per perdere la testa, usa il cervello». In questo messaggio si allude alla

resta come sede delle emozioni che ci travolgono, e al cervello come strumento che ci guida, permettendoci di agire in modo razionale. Questo modo di dire ha un fondamento? E, più in generale, quale rapporto c'è tra mente e cervello? Cercheremo di rispondere a questa domanda in modo dettagliato, attraverso tutti i capitoli di questo libro.

Ecco, in sintesi, il loro contenuto.

- *Mente e cervello* (cap. 1): la psicologia come scienza è stata preceduta da una lunga tradizione filosofica, fino a quando l'adozione del metodo sperimentale ha rivoluzionato lo studio della persona umana. Oggi incominciamo a capire il rapporto tra il funzionamento della mente e le sue basi cerebrali.
- *Percezione* (cap. 2): le informazioni che, dal mondo esterno tramite i sensi, arrivano al nostro cervello rendono possibile il contatto con il mondo. Grazie ai processi che elaborano le informazioni provenienti dall'ambiente, possiamo vedere gli oggetti, sentire gli odori, ascoltare i suoni e la musica, e, tra l'altro, leggere il libro che avete sotto gli occhi.
- *Attenzione* (cap. 3): se dovessimo attingere a tutte le informazioni presenti nel mondo esterno, saremmo travolti dalla sua ricchezza. Siamo capaci di selezionare e di concentrarci solo su alcune, grazie ai meccanismi dell'attenzione, sia in modi consapevoli, di cui abbiamo coscienza, sia in modi inconsapevoli, che agiscono senza che ce ne rendiamo conto.
- *Emozioni* (cap. 4): se volessimo paragonare una persona a un'automobile, le emozioni sarebbero il carburante, l'energia che ci dà le forze per agire e, talvolta, ci porta addirittura fuori strada. Il motore, che fa funzionare la percezione, l'attenzione e gli altri processi cognitivi, senza carburante si fermerebbe, con troppo carburante si ingolfava.
- *Memoria* (cap. 5): corrisponde, in parte, a quello che, anche senza aver studiato psicologia generale, chiamiamo memoria. Gli esperimenti hanno però mostrato che le cose sono molto più complicate di quanto non potrebbe sembrare al buonsenso.
- *Rappresentazione e conoscenza* (cap. 6): nella memoria, oltre ai ricordi della propria vita, si depositano le conoscenze che impariamo a scuola, dai libri, dai mezzi di comunicazione. Possiamo così recuperare ricordi e conoscenze quando ci servono. Lo studio di come ci rappresentiamo i contenuti di coscienza è oggetto di questo capitolo.
- *Processi esecutivi* (cap. 7): sono, per così dire, la centralina di comando che coordina tutta la nostra vita mentale e permette di pianificarla nei modi in cui abbiamo deciso. *Controllo motorio*: l'uomo è anche capace di immaginare quello che succederebbe se facesse una data azione e ciò aiuta la pianificazione e l'esecuzione delle azioni, cioè l'attività motoria.
- *Prendere decisioni e risolvere problemi* (cap. 8): queste attività diventano possibili perché, oltre a tenere le informazioni in memoria, possiamo rielaborarle nei modi necessari quando, di fronte a un problema, non è disponibile una risposta automatica o una soluzione già collaudata in passato.

• *Linguaggio* (cap. 9): capire gli altri che parlano, e rispondere in modo adeguato, rende possibile il dialogo. Senza queste capacità non sarebbe possibile l'interazione sociale. Se questa è il cemento della società, lo studio della mente e delle sue basi cerebrali corrisponde ai mattoni con cui si edifica la casa.

2. LE ORIGINI DELLA PSICOLOGIA

2.1. Il lungo passato filosofico

Da poco più di un secolo, l'oggetto di cui si occupa questo libro, e cioè la psicologia generale, è diventato un campo di studi unitario, a cui si può dedicare un manuale. Questo non vuol dire che le domande a cui siamo riusciti a rispondere in questo secolo con la sicurezza che deriva dall'adozione del metodo scientifico siano del tutto nuove. Alcune di queste domande se le erano poste anche le religioni tradizionali, ma la maggior parte di esse risale ai dibattiti dei filosofi del IV secolo a.C. Grandi pensatori come Platone e Aristotele si erano già interrogati sulle nostre capacità di memorizzare le informazioni o di fare dei ragionamenti. Il grande salto che costituì le premesse per la psicologia generale contemporanea è stato fatto dal filosofo e matematico francese René Descartes, italianizzato in Cartesio (1596-1650).

Cartesio concepisce la mente e il corpo come entità separate. Deve però risolvere il problema del collegamento tra queste due sostanze autonome. Inventa così un meccanismo, il senso comune, che accentra in sé le informazioni provenienti dai vari organi di senso: vista, udito, tatto, e così via. Grazie al materiale depositato nel senso comune, si possono produrre immagini, pensieri, fantasie e idee astratte. Cartesio non distingue le idee come un prodotto della mente rispetto al meccanismo mentale che le produce. In altre parole, sovrappone quello che i filosofi chiamano *ontologia*, cioè lo studio di ciò che esiste, alla *psicologia*, e cioè ai modi della mente di produrre idee, pensieri e fantasie.

Tutti questi errori e ambiguità che Cartesio lascia in eredità ai pensatori successivi avranno una funzione benefica. Viene allora da domandarsi perché tenere separati anima e corpo? Questa domanda produrrà, nei secoli successivi, dapprima la dissoluzione dell'idea di «anima» e poi anche di quella della «mente», se intesa come qualcosa di unitario, indipendente dal corpo, fatto cioè di una sostanza diversa. Tutto l'armamentario filosofico di Cartesio viene un po' alla volta smantellato.

Domandiamo a una persona: «Come stai?». Questa ci risponde: «Sono di buon umore, anche se mi fa male un ginocchio». Questo dialogo non costringe a supporre che ci sia uno spirito ben disposto, indipendente da un corpo che è acciaccato. C'è una sola entità complessa, un organismo naturale, e, da punti di vista e per scopi diversi, si possono adottare livelli di descrizione più o meno astratti della stessa realtà.

Lo studio di questi differenti livelli di descrizione, fino alle basi cerebrali, è appunto lo scopo di questo manuale.

2.2. Darwin e la teoria dell'evoluzione

Non saremmo giunti a concepire l'uomo e la sua mente come uno dei tanti fenomeni della natura, forse il più misterioso, se il genio di Charles Darwin (1809-1882) non avesse posto le basi per una concezione completamente naturale dell'uomo (*Sull'origine delle specie per selezione naturale*, 1859). È stato Darwin a trasformare i misteri della natura umana in problemi.

Darwin partì dalla constatazione di tre fatti.

Il primo fatto è l'osservazione che le piante e gli animali possono generare più discendenti di quelli in grado di vivere in un dato ambiente: abbiamo una potenziale crescita esponenziale delle popolazioni. Secondo fatto: eppure le popolazioni sono relativamente stabili. Di qui un terzo fatto: le risorse dell'ambiente sono limitate.

Alla luce di questi tre fatti, Darwin avanzò una prima ipotesi: le risorse limitate dell'ambiente producono in natura una competizione. Tale competizione opera a tre livelli: tra componenti della stessa prole, tra individui o gruppi all'interno di una specie e tra specie diverse. Fatta questa deduzione dai fatti, Darwin prese in considerazione altri tre fatti.

Quarto fatto: come in una macchina fotocopiatrice non perfetta, che fa errori a caso, i caratteri individuali presentano piccole variazioni da una generazione all'altra. Quinto fatto: per ragioni non chiare ai tempi di Darwin, perché non era nata la genetica, la prole tende ad assomigliare ai genitori, dato che ne eredita i

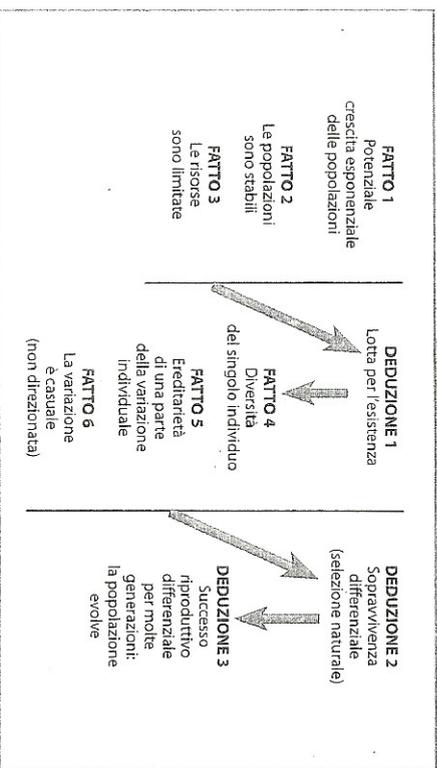


Fig. 1.1. La selezione naturale. Il meccanismo cieco e automatico della selezione naturale viene scoperto da Darwin attraverso una sequenza di osservazioni empiriche e di deduzioni teoriche, qui schematizzata secondo l'ordine proposto da Ernst Mayr. Si noti che nella struttura argomentativa così delineata non è necessario ricorrere al concetto di adattamento. La chiave di volta centrale è la diversità del singolo individuo, portatore di differenze.

Fonte: Pievani (2006, 56).

tratti, comprese le variazioni casuali. *Sesto fatto:* queste variazioni, come quelle della fotocopiatrice scassata, non hanno una direzione, ma sono governate dal caso.

L'evoluzione, insomma, si basa su degli «*quindi*» e non su dei «*perché*». Ad esempio, le giraffe non sono state create perché potessero mangiare meglio le foglie degli alberi grazie al loro lungo collo. Al contrario, alcune giraffe per caso nascevano con un collo un po' più lungo, e quindi prevalevano nelle generazioni successive.

Lo schema di fatti e deduzioni che sintetizza la rivoluzione darwiniana è indicato in figura 1.1.

Possiamo parlare di rivoluzione perché con Darwin termina il cammino iniziato da Cartesio: l'uomo non è la congiunzione di un corpo e di un'anima. È un essere unitario, frutto dell'evoluzione, e non è neppure qualcosa di «diverso» dagli altri animali. Alcuni animali sono simili semplicemente perché il loro organismo si è differenziato da un antenato comune nella storia evolutiva solo in epoca più recente. Anche se in figura 1.2 si mostra una sintesi della storia evolutiva per specie, cioè per popolazioni di animali, va tenuto presente che la selezione riguarda gli individui, non i gruppi. È l'individuo più adattato che sopravvive.

La teoria dell'evoluzione nasce come una serie di ipotesi, a partire da osservazioni sistematiche. Essa trovò un'accurata conferma sperimentale quando, nel 1973, Peter e Rosemary Grant misurarono meticolosamente le variazioni del becco degli uccelli, una generazione dopo l'altra. Anche un millimetro nella lunghezza del becco può fare la differenza in momenti di forte siccità.

In conclusione la teoria dell'evoluzione spiega la lunga storia naturale della specie umana e concepisce la sua base biologica come una tappa di tale cammino. La psicologia generale spiega, in modo complementare, il prodotto di questa fase dell'evoluzione, e cioè il comportamento dell'uomo contemporaneo.

Il comportamento di una persona non è determinato soltanto dalla lunga storia evolutiva, ma anche dalla storia delle culture in cui l'uomo è allevato e vive. Non c'è alcuna contrapposizione tra natura e cultura, né vi è la priorità di un aspetto della nostra storia su un altro.

Potremmo metterla così: quando calcolare l'area di un rettangolo, sono più rilevanti le misure della base o quelle dell'altezza? Questa è evidentemente una domanda mal posta. Parimenti la domanda: «È più importante la natura o la cultura?» è formulata male. Gli esperimenti permettono di studiare sia l'interazione tra questi due fattori, sia la misura dell'entità delle interazioni.

C'è tuttavia una profonda differenza tra lo sviluppo culturale di un individuo, di un gruppo o di una popolazione, e la storia evolutiva di una specie. La cultura ormai cambia con un ritmo sempre più incalzante, nell'ordine di grandezza degli anni o dei decenni. Al contrario, il periodo necessario perché un organismo di una specie complessa come l'uomo si modifichi nella sua dotazione biologica di base è dell'ordine delle decine di migliaia di anni.

Il cammino biologico è stato molto lento. Se i tempi dell'evoluzione dai batteri all'*Homo sapiens*, come indica la figura 1.2, corrispondessero alla larghezza della pagina che state leggendo, il periodo trascorso – un po' meno di diecimila

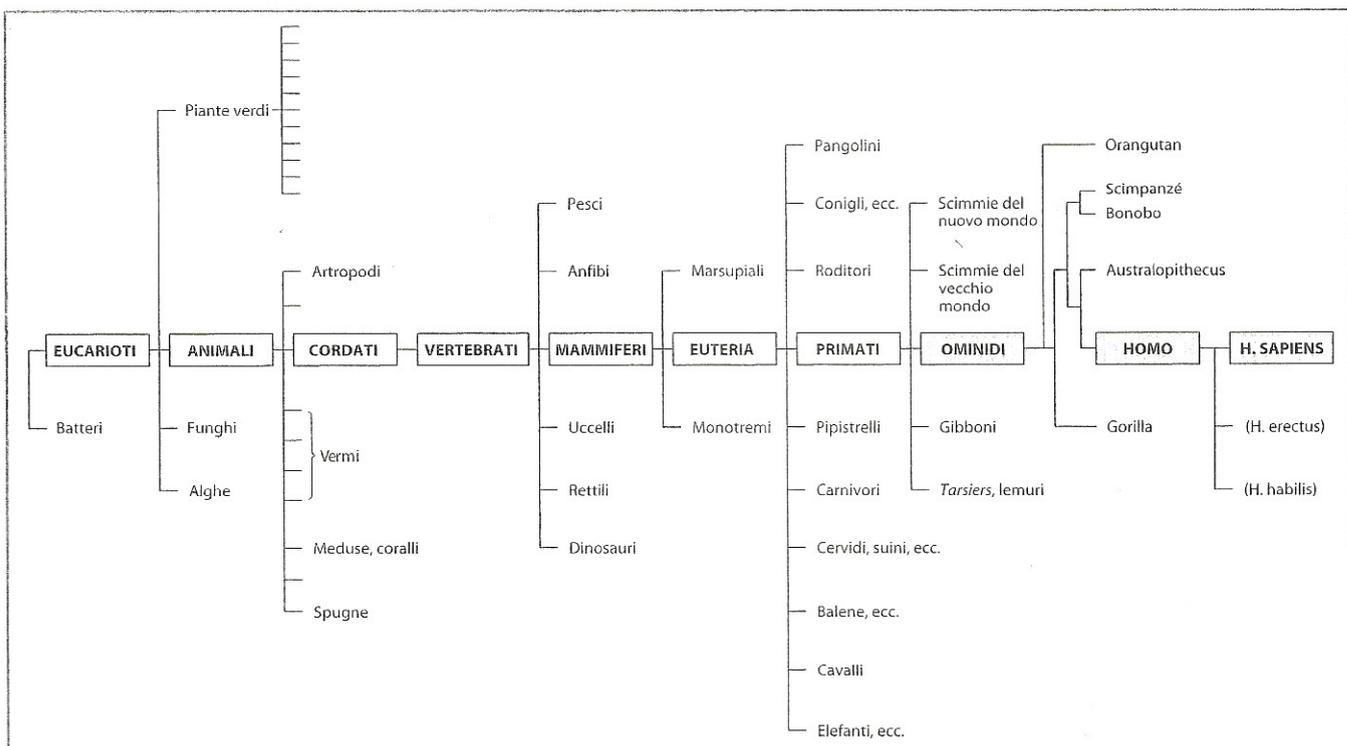


fig. 1.2. Diagramma semplificato di una parte dell'albero filogenetico umano (molte ramificazioni e alcuni nodi sono stati omissi).

Fonte: Wagner e Silber [2004; trad. it. 2006, 18].

anni – da quando abbiamo vissuto in modo stanziale, dedicandoci all'agricoltura, coprirebbe molto meno dell'ultimo millimetro del foglio. Questo deve farci riflettere sul fatto che gli uomini, per centinaia di migliaia di anni, si sono evoluti in mondi diversi dal nostro, in ambienti ostili, spostandosi in gruppi di poche decine di persone, che raccoglievano i frutti e cacciavano altri animali. Ne consegue che l'uomo, con le sue capacità odierne che analizzeremo in questo libro, è il prodotto dell'evoluzione innescata in scenari di vita profondamente differenti da quelli a noi oggi familiari. Questo stato di cose è alla base di quelli che sono gli evidenti limiti della specie umana.

Ad esempio, gli uomini sono molto inclini a interpretare la tendenza della febbre a capitare insieme alla malattia come un rapporto causale: la febbre causa la malattia. Questo può condurci in errore perché sia «la febbre» sia «la malattia» potrebbero entrambe dipendere da una terza causa, ad esempio, un'infezione difficilmente individuabile. Errori talvolta fatali: ci vollero decenni, nella seconda metà del Diciannovesimo secolo, per accettare la dimostrazione del ginecologo ungherese Ignaz Semmelweis. Egli dimostrò per primo che era il non lavarsi le mani dei medici, riduci dalle sale di anatomia, a causare la febbre puerperale e la morte delle madri neopartorienti. Le future madri che, in campagna, si rivolgevano alle levatrici morivano meno spesso di chi era ricoverato nel famoso ospedale di Vienna. Ancor oggi questa tendenza a scambiare i segni con le cause ci confonde. Tra l'altro, il nostro modo di ragionare sulle cause di qualcosa ci impedisce di capire teorie complesse come quella dell'evoluzione. L'uomo tende a pensare che ci sia sempre un singolo creatore dietro a una qualsiasi entità e, di conseguenza, ha difficoltà a concepirla come il frutto di variazioni casuali e selezioni protrattesi per numerose migliaia di anni.

Altro esempio: l'uomo tende a pensare che una spiegazione spagliata del suo comportamento sia più credibile se accompagnata dall'identificazione della zona del cervello presunta responsabile di quel comportamento. Questo «materialismo spicciolo» conduce a credulità. Ma forse è stata questa credulità a farci accettare come farmaci pozioni e intrugli completamente inutili. Questi farmaci inutili, detti *placibo*, ci davano speranza celando ai nostri occhi la totale incomprendibilità del funzionamento del corpo umano. Credere di essere noi i padroni del nostro destino, vedere cause dove non ci sono, farmaci dove ci sono intrugli, divinità con intenzioni dove in realtà regna il caso, sono tutti ottimi viatici per sopravvivere in ambienti ostili e misteriosi. Ancor oggi, dopotutto, essere ottimisti è meglio che essere realisti, se vogliamo avere successo nel mondo contemporaneo. E tuttavia alcune di queste tendenze, come vedremo meglio più avanti, si possono rivelare controproducenti. Da poche generazioni viviamo in ambienti tecnologicamente ricchi e complessi, e questi non hanno avuto il tempo per modificarsi nella dotazione cognitiva con cui nasciamo. Siamo stati costruiti male per affrontare le sfide individuali del mondo contemporaneo, ma soprattutto quelle collettive come, ad esempio, il cambiamento climatico. In conclusione, per capire bene come funziona l'uomo e la sua storia evolutiva bisogna analizzare e spiegare non solo quello che sappiamo fare, ma anche le difficoltà di adattamento ad ambienti tecnologicamente complessi. Gli errori, i limiti, e i fallimenti della nostra

razionalità sono probabilmente l'eco lontano del nostro passato di cacciatori e raccoglitori, per quanto sia difficile averne una prova diretta.

3. LA STORIA DELLA PSICOLOGIA

3.1. Il metodo sperimentale

Una volta definitivamente accettato che l'uomo fa parte della natura, bisogna trovare il metodo adatto per studiarlo. Le scienze come la fisica hanno conosciuto negli ultimi secoli enormi progressi, e conseguenti successi tecnologici, grazie all'adozione del metodo sperimentale.

Se studiate come si comporta un gas, cambiando sistematicamente la temperatura o il volume del recipiente in cui è contenuto, potete misurare in laboratorio il rapporto tra volume, temperatura e pressione del gas sulle pareti del recipiente. Per ottenere questi dati, basta qualcosa di simile a una pentola a pressione, il cui contenuto non è alterato dalle nostre misure. La pentola a pressione si comporta nello stesso modo sia se la osservate sia se uscite dal laboratorio e la dimenticate. Allo stesso modo un oggetto gettato dalla torre di Pisa, o un pendolo in una cattedrale, non casca né oscilla in modo diverso se nessuno lo guarda, o se invece Galileo Galilei lo osservava.

Questo sembra un punto banale. E tuttavia da questo punto discendono due differenze, una teorica e l'altra di metodo, tra la psicologia e tutte le altre scienze naturali.

Immaginate che un albero caschi nella foresta. Spostando l'aria, l'albero produce un suono, indipendentemente dal fatto che questo sia ascoltato oppure no. Per la psicologia le cose non stanno così: il suono è una qualità psicologica, non aria compressa. Ci deve essere un cervello per registrare l'effetto dello spostamento d'aria, cioè il suono. Se non c'è il cervello, non c'è nessuna percezione del suono. E non solo: l'ambiente in cui si muove l'uomo può non essere quello della geografia. Bisogna conoscere la rappresentazione dell'ambiente, e non solo descriverlo con il linguaggio della fisica, per capire il comportamento umano.

Kurt Koffka, un grande psicologo forzatamente emigrato negli Stati Uniti durante il nazismo, raccontava ai suoi studenti una leggenda tedesca.

Si narra di un cavaliere che, in una notte di fitta neve, si trovò ad attraversare il lago di Costranza, completamente gelato. Il cavaliere, ignaro del luogo, scambiò il lago per una pianura innevata. Vide una luce, e si diresse verso una taverna. Entrò, e fu accolto dall'oste, esterrefatto e sbigottito. «Ma come – gli disse – avete attraversato a cavallo il lago di Costranza?». Era stato fortunatissimo: il ghiaccio avrebbe potuto non reggere il peso e lui sarebbe morto. Il cavaliere stramazza al suolo. La paura per il pericolo corso aveva stroncato il suo cuore. Questa leggenda si basa sulla differenza tra quello che è l'ambiente in cui effettivamente il cavaliere si era mosso, il lago gelato, e quello che lui pensava, la differenza cioè tra realtà e rappresentazione. Quest'ultima, sbagliata, gli aveva dapprima dato coraggio e, poi, innescato il terrore per il pericolo corso. Oggi è

difficile convincere larghe parti dell'umanità a cambiare modi di vita e proteggere l'ambiente, perché quello fisico è in estremo pericolo, ma quella immaginata dai più è ancora la natura ostile in cui ci siamo mossi per milioni di anni.

La seconda differenza tra gli ambienti delle altre scienze naturali e quelli di cui si occupa la psicologia è, come abbiamo visto, di ordine metodologico. I gas, i sassi e i pendoli non si comportano in modo diverso se c'è uno studioso che li osserva. Se invece vi mette a studiare come un uomo ragiona, o si emoziona, può succedere che il fenomeno osservato sia influenzato dai processi di osservazione. Quante volte preferiamo che nessuno ci guardi mentre facciamo qualcosa.

Per questo motivo i primi psicologi sperimentali, circa un secolo fa, invece di osservare gli altri, provarono a esaminare se stessi, addestrandosi a non cambiare i processi mentali interni mentre li esaminavano nel loro svolgimento. In questo modo speravano di essere capaci di controllare l'influenza dell'osservatore sui fenomeni osservati. Si sbagliavano.

Questo metodo, chiamato tradizionalmente *introspeettivo* (basato sul «guardarsi dentro»), è stato usato per decenni, agli albori della nascente psicologia sperimentale. Ancor oggi settori diversi dalla psicologia generale, come la psicoanalisi, usano una sorta di metodo introspeettivo, nel senso che il paziente racconta i suoi pensieri o i suoi sogni, e il terapeuta ricorre a un codice che gli permette di attribuire un significato alle storie raccontate.

Il metodo introspeettivo, tuttavia, è sufficiente per isolare solo alcuni aspetti del funzionamento della mente umana. Provate a moltiplicare, a mente, « 2×423 », o a fare la somma « $2 + 423$ ». Vi accorgete facilmente che in realtà cambiate l'ordine dei due numeri. È molto più facile moltiplicare 423 per 2 , che non il contrario. Parimenti, nel caso dell'addizione, l'ordine degli addendi non è psicologicamente irrilevante, anche se lo è per l'aritmetica. Il risultato è lo stesso, ma è più facile sommare $2 + 423$, che non viceversa.

Provate a fare mentalmente la seguente deduzione:

«Se piove, Maria prende l'ombrello. Piove. Maria prende l'ombrello».

La conclusione appare ovvia. Viene raggiunta in modo più scorrevole rispetto al caso seguente:

«Se piove, Maria prende l'ombrello. Maria non prende l'ombrello. Non piove». Sono due conclusioni entrambe logicamente valide, ma – con quello che potremmo chiamare l'occhio della mente – la prima appare più facile della seconda.

Si tratta di processi mentali che, tramite l'introspezione, emergono in modi abbastanza evidenti, ma come misurati? Potreste calcolare quanto tempo ci mette una persona a fare la somma: quando l'ordine degli addendi va rovesciato, ci vuole un'operazione mentale in più. Lo stesso accade nel caso del ragionamento: qual è l'intervallo tra la presentazione del compito e la risposta, e quanti sbagli si fanno nei due casi se si misura quanto tempo ci vuole per individuare la conclusione e il numero degli sbagli fatti? In effetti, la misura del tempo impiegato per fare un'operazione mentale è stata una delle prime tecniche introdotte nella psicologia sperimentale e risale a un secolo e mezzo fa. Purtroppo, in molti altri casi, è difficile misurare le conseguenze di quello che ci succede nella testa

perché il nostro stesso processo di osservazione altera il fenomeno osservato. L'introspezione insomma non funziona se non in casi molto particolari.

Per reazione ai limiti del metodo introspettivo, gli psicologi provarono un'altra strada, e cioè l'esame dei comportamenti direttamente misurabili. Non è difficile portare in laboratorio un fenomeno per osservare il rapporto tra gli stimoli che presentate a un organismo e le risposte fornite. Potete cambiare sistematicamente gli stimoli e vedere se e come cambiano le risposte. Provare a dare a chi partecipa all'esperimento diverso materiale da imparare a memoria, e misurare gli errori fatti nel rievocare questo materiale. Isolere così le condizioni in cui è più facile impararlo. Questo metodo, centrato sulla misura degli stimoli forniti dallo sperimentatore e delle risposte di chi partecipa all'esperimento, è rigoroso. La semplicità e la potenza di un metodo, che aspira a ricondurre la psicologia nell'alveo delle scienze della natura secondo l'impostazione darwiniana, travolgerà le psicologie che, all'inizio del secolo scorso, intendevano utilizzare resoconti personali dei processi mentali. L'adozione di tale metodo rigoroso fu la base per un nuovo movimento, il comportamentismo, nato ufficialmente nel 1913 con un articolo programmatico di John B. Watson. Watson riteneva l'introspezione, in ogni sua forma, un metodo non scientifico essenzialmente per due motivi, e cioè: 1. la coincidenza tra osservatori e fenomeni osservati, nel senso che quando una persona esamina i propri processi mentali modifica l'evento sotto osservazione dato che esso è necessariamente accompagnato dalla consapevolezza dell'osservazione;

2. i dati ottenuti con il metodo introspettivo descrivono fenomeni che altri osservatori non possono controllare e misurare trattandosi di dati «introspettivi», ottenuti cioè esaminando i propri processi mentali.

Oggi, dopo più di mezzo secolo dall'affermarsi della rivoluzione cognitivista, conosciamo bene un terzo gravissimo limite del metodo introspettivo, e cioè la sua incapacità di rilevare meccanismi mentali che non emergono alla consapevolezza, e quindi sfuggono a tale metodo. Freud riteneva – nello stesso periodo in cui si sarebbe affermato il comportamentismo, e cioè nella prima metà del secolo scorso – che c'è una parte della vita mentale che non affiora alla coscienza. Secondo la psicoanalisi, questi contenuti di coscienza possono emergere grazie all'aiuto di un analista. Oggi, al contrario, sappiamo che molti dei processi mentali che saranno descritti in questo manuale sono completamente inconsci e si possono scoprire e analizzare solo indirettamente, con l'aiuto del metodo sperimentale. Molti hanno chiamato tale prevalente porzione delle attività mentali «inconscio cognitivo», per differenziarlo dal classico «inconscio freudiano».

È indubbio che il metodo introspettivo non rivelerebbe alcuna traccia dei numerosi processi mentali che illustreremo in questo manuale. Tuttavia lo stesso comportamentismo radicale presenta dei limiti metodologici, dato che si riduce a mettere in rapporto stimoli e risposte osservabili. In seguito, l'evoluzione del comportamentismo legitimerà il concetto di «variabile intervincente», cioè di processi che stanno in mezzo (intervinenti, appunto) tra gli stimoli che giungono a un organismo e le risposte fornite a tali stimoli. Con l'introduzione teorica di tali variabili, resa necessaria per spiegare una serie di fenomeni osservati, il

comportamentismo aprirà la strada alla cosiddetta «rivoluzione cognitivista» [per approfondimenti cfr. Legrenzi 2012, cap. 5].

3.2. La rivoluzione cognitivista

Finita la Seconda guerra mondiale, ebbero luogo due cambiamenti che portarono la psicologia generale alla situazione odierna. Da un lato gli psicologi sentivano i limiti delle metodologie basate sullo studio dei rapporti tra stimoli e risposte. Non era possibile, tra l'altro, studiare i processi superiori, come il linguaggio e il pensiero. D'altro lato comparve sulla scena il computer. La psicologia era sempre stata influenzata dalle innovazioni tecnologiche. Alla fine del Diciannovesimo secolo, ad esempio, la scoperta dell'elettricità aveva rivestito un ruolo importante nelle tecniche psicoterapeutiche adottate. E tuttavia il computer, fin dagli anni '50, influenzò in modi ben più profondi gli sviluppi della disciplina.

Il computer da un lato è uno strumento utile per pianificare ed eseguire gli esperimenti, registrare i dati ed elaborarli statisticamente; dall'altro può anche servire come modello del funzionamento della mente umana. Si tratta di un sistema artificiale, costruito dall'uomo, che riesce a fare molte cose al pari della nostra mente, plasmata dalla plurimillenaria evoluzione biologica.

Ad esempio, un computer immagazzina informazioni, le tiene in una o più memorie ed è anche in grado di elaborare questi dati fornendo informazioni nuove. Diviene possibile paragonare i meccanismi della mente umana al funzionamento di una macchina come il computer. Le eventuali somiglianze e, soprattutto, le differenze ci possono far capire meglio come funziona la mente umana. L'analisi del funzionamento di un computer ci costringe a pensare ai suoi stati interni, non solo alle informazioni con cui lo alimentiamo e al risultato che otteniamo. Proprio questa è la grande sfida per una psicologia che non si accontenti di misurare le relazioni tra stimoli e risposte.

In un primo tempo, presi dall'entusiasmo, si era soliti dire che la mente sta al cervello come il programma (il *software*) sta alla macchina (l'*hardware*) che lo elabora. Perché questa equiparazione non è proprio esatta?

Poniamo che il vostro computer inizi a scrivere OGNI LETTERA CHE BATTI SULLA TASTIERA È IN CARATTERI MAIUSCOLI. Che cosa fare? Probabilmente, per prima cosa, andare a vedere se, per sbaglio, avete schiacciato inavvertitamente il tasto delle maiuscole. Ogni psicologo tradizionale proverebbe tale modo di agire: state esaminando il rapporto tra stimoli (tasti schiacciati) e risposte (caratteri maiuscoli).

Poniamo che il tasto non sia bloccato sulle maiuscole. E allora? Sospetterete che qualcosa sia andato storto dentro il computer. Per un qualche motivo i comandi dati premendo i tasti non sono interpretati correttamente. Per aggiustare le cose dovete esaminare il programma.

Il rapporto tra stimoli e risposte è solo il punto di partenza. Per una comprensione più approfondita bisogna guardare dentro. Che cosa vuol dire *guardare dentro*, nel caso dell'uomo e non del computer?

Dentro dove? Dentro il corpo, il cervello, la mente?

Immaginiamo che possediate un cellulare complesso, come l'i-Phone o il BlackBerry. Non lo usate solo per telefonare. Avete aggiunto programmi che vi permettono di ascoltare musica, muovervi in una città sconosciuta, e così via. Quando avete comprato il vostro cellulare questi programmi, cioè i *software* corrispondenti, non c'erano. Li avete aggiunti dopo. Ora, per comodità espositiva, potreste pensare che il vostro cervello sia come l'*hardware*, e che tutto quello che avete via via imparato sia come il *software*. In realtà, come abbiamo già detto, l'idea che l'attività mentale sia come il *software* di un computer, e il cervello sia come l'*hardware*, non è proprio corretta.

Se un programma di computer è utile, può venire convertito in un *chip* e diventa un pezzo di *hardware*. Una volta convertito, quel che era usato come un programma, e cioè le istruzioni date al computer, è diventato un percorso nel *chip*. Il programma come tale non esiste più, nel senso che non potete identificare parti del *chip* sotto forma d'istruzioni date al computer.

Ad esempio, in un programma, possiamo scrivere delle istruzioni per far sì che il computer sommi 10 numeri, e poi divida la somma per 10, così da calcolarne la media. In un *chip* queste istruzioni non ci sono più: è il circuito che svolge tale compito. Eppure noi possiamo descrivere tutto quello che fa il computer nei termini dell'esecuzione di un programma: sommare numeri e trovare la media. Ricorriamo a un solo vocabolario, quello usato per descrivere il *software*, perché è comodo comportarsi così, ci si capisce meglio.

In conclusione, la distinzione cruciale non è tra *software* e *hardware*, ma tra diversi livelli di analisi, e cioè i diversi gradi di astrazione utilizzabili nel descrivere un oggetto. Differenti livelli di analisi richiedono vocabolari diversi e, nel corso della vita quotidiana, il vocabolario che utilizza termini mentali è di solito quello preferito. In altre parole, il livello funzionale, quello che la mente fa, è il livello descrittivo più semplice e facile da usare, sia nel caso delle menti artificiali dei computer sia nel caso delle menti umane.

4. LA RAPPRESENTAZIONE DEI CONTENUTI MENTALI

Tutte le nostre attività mentali hanno un contenuto: in altre parole pensiamo sempre a qualcosa. A quello che abbiamo fatto, a quello che stiamo facendo, o a quello che faremo. Cerchiamo di ricordare la faccia di un amico o proviamo il desiderio di stare con un altro amico: ricordi, immagini, fantasie, pensieri, desideri, sentimenti. Di questo si nutre la nostra mente. Anche quando non si è concentrati su qualcosa, e si procede lasciandosi andare a un flusso di associazioni libere, la sequenza di pensieri non risulta molto logica o consequenziale, ma mai assurda. Un compito fondamentale della psicologia cognitiva è specificare i modi con cui questi contenuti – potreste chiamarle informazioni in ossequio al linguaggio dei computer – sono rappresentati internamente.

Una rappresentazione è uno stato fisico – un segno sulla carta, una connessione mentale nel cervello, un campo magnetico nel computer – che trasmette

informazione. Le rappresentazioni presentano due aspetti: il formato e il contenuto.

Provate a guardare questi due segni sulla carta:

* #

Sono un asterisco, a sinistra, e un cancelletto a destra. Il loro formato è grafico: sono stati disegnati battendo i tasti corrispondenti.

Si può anche descrivere la stessa situazione linguisticamente:

«un asterisco a sinistra di un cancelletto».

Ora il disegno e la frase hanno lo stesso contenuto ma due formati diversi, grafico e linguistico. Se una persona conosce i simboli grafici, posso dire: trasformo il disegno in una descrizione linguistica, o viceversa. Il processo è una trasformazione dell'informazione che obbedisce a un principio ben definito. In un computer funzionante, battere il tasto «asterisco» attiva un processo che produce un asterisco sullo schermo e poi, se avete una stampante, potete trasferirlo su un foglio di carta.

Possono venir date altre descrizioni del disegno iniziale. Ad esempio dire: «il cancelletto è a destra dell'asterisco». Il contenuto dell'informazione è sempre lo stesso, ma diventa rilevante la posizione del cancelletto, invece che quella dell'asterisco. E infine posso usare trasformazioni linguistiche del tipo: «L'asterisco non è a destra del cancelletto».

Tutte queste sono descrizioni vere dello stato di cose rappresentato nel disegno iniziale. L'esercizio potrebbe continuare dando anche delle descrizioni false, e misurando quanto ci mette una persona a decidere se la descrizione in questione è vera o falsa. La mente in questo caso deve fare una serie di operazioni. Tante più operazioni la mente deve fare, tanto più tempo ci mette. Se la mente (come il computer) deve, per raggiungere un risultato, compiere una serie di operazioni, diciamo che queste operazioni sono governate da un algoritmo.

Un algoritmo è una procedura svolta sempre tramite una sequenza di tappe obbligate, una dopo l'altra. Una ricetta è un buon esempio di procedura:

Per fare dei biscotti al burro prendete 400 grammi di farina, 200 di zucchero, 150 di burro e 2 uova. Lavorare i tuorli con lo zucchero, servendosi di una frusta, fino a quando il composto non diventa spumoso e biancastro. Montare poi a neve fessissima gli albumi [...].

Se non seguite scrupolosamente l'algoritmo, i biscotti al burro, una volta cotti, vengono male. Alcune di queste operazioni, se siete in due a lavorare in cucina, potete farle *in parallelo*, ad esempio lavorare i tuorli e montare a neve gli albumi. Altre, come l'amalgama finale e la cottura, vanno fatte *in serie*, cioè l'una dopo l'altra.

La mente umana è capace di fare operazioni in parallelo, ad esempio parlare con una persona e ascoltare un'altra. È difficile però parlare con un altro e contare

i numeri alla rovescia, da mille in giù. Prima dovete contare alla rovescia, e poi parlare con il vostro interlocutore. Se invece i compiti non sono troppo complicati, potrete imparare a farli in parallelo.

5. PERCHÉ COLLEGARE MENTE E CERVELLO

A Venezia, passeggiando sulle Zattere, si vede la chiesa del Redentore, edificata dal Palladio sull'isola della Giudecca. Posso analizzarne in dettaglio il tipo di marmo, se voglio spiegare le procedure con cui la superficie della chiesa è stata ripulita pochi anni fa. Posso esaminare il piombo della cupola, se voglio capire perché si è deteriorato. Se sono invece uno storico dell'architettura, e non un esperto di restauro, non è detto che mi sia utile conoscere in dettaglio i processi chimici che intaccano il marmo e il piombo. Parimenti, se sono uno studioso della percezione, come Rudolf Arnheim, posso esaminare tutti i triangoli che i vari elementi della facciata formano in modo completo o incompleto. Sono tutti «formati» descrittivi diversi dello stesso oggetto. Ogni formato è utile a un livello di analisi specifico, da quello del restauratore e dello storico dell'architettura, fino a quello dello studioso di percezione visiva. Finora abbiamo confrontato le prestazioni della mente e quelle di un computer. Ma se vogliamo capire bene come funziona la mente, il confronto non è con l'*hardware* di una macchina, ma con il cervello, e cioè l'*hardware* che produce la mente (ovvero, il *software*). Forse che lo studio della mente, a livello macro, non ha a che fare con quello del cervello, a livello micro? Niente affatto. Benché non si debbano scambiare piani diversi, uno specifico livello può chiarirci come funziona un altro livello. Se non si sapesse che l'architetto americano Frank Gehry usa l'alluminio con cui si rivestono gli aerei, non si potrebbe capire l'aspetto esterno del famoso museo di Bilbao, e l'impressione che ci fa quando lo vediamo. Non si può costruire un buon paio di forbici con del cartone, così come le forme del museo di Bilbao sarebbero state irrealizzabili con materiali tradizionali, ad esempio pietra, mattoni e piombo, quelli con cui è stata edificata la chiesa del Redentore a Venezia.

Quando le scienze cognitive sono nate, negli anni '60 del secolo scorso, ci si è dapprima concentrati sul livello delle operazioni mentali, indipendentemente dalle loro basi cerebrali. Recentemente sta divenendo possibile collegare le funzioni cognitive alle diverse parti del cervello che le governano.

I primi tentativi di operare questo collegamento precedono di almeno un secolo la nascita delle scienze cognitive, anche se siamo diventati veramente operativi soltanto in anni recenti, soprattutto grazie al perfezionamento delle tecnologie per l'osservazione del funzionamento del cervello.

Nel 1861 un neurologo francese, Paul Broca, descrisse un paziente che, in seguito ad una lesione cerebrale, riusciva a dire solo «tan». Dopo la morte del paziente, l'autopsia rivelò una lesione in una porzione limitata del lobo frontale di sinistra del cervello. Da allora sappiamo dove, nel cervello, è localizzata la produzione delle parole (cfr. cap. 9).

È passato un secolo e mezzo da quando Broca dimostrò un principio che vale ancor oggi per le scoperte fatte con tecniche più raffinate. Il principio di scomposizione presuppone che il cervello sia composto di molte aree isolabili. Alla fine degli anni '70 del Diciannovesimo secolo, il fisiologo italiano Angelo Mosso studiava le variazioni della pressione del sangue nelle arterie cerebrali che accompagnano le pulsazioni del cuore (il battito cardiaco). Mosso osservò che le pulsazioni cerebrali diventavano più ampie quando un paziente, un contadino (di nome Bertino), udiva il suono delle campane di mezzogiorno. Sulla base delle dichiarazioni di Bertino, Mosso ipotizzò che le campane gli facessero venire in mente la recita delle preghiere e che questo ricordo provocasse una variazione del flusso sanguigno in quella specifica area del cervello.

Mosso aveva così dato inizio al processo che avrebbe portato alla contemporanea tecnica dello studio dei rapporti tra mente e cervello (cfr. par. 11).

Abbiamo fatto un paragone molto sommario e sbrigativo tra il programma di un computer e la mente umana da un lato, e la macchina e il cervello dall'altro. È un paragone sommario perché le differenze sono molte. In primo luogo le macchine chiamate computer e i cervelli sono fatti di sostanze molto diverse. Inoltre le macchine sono indipendenti dai programmi, tant'è vero che nuovi *software* si possono acquistare e applicare a macchine di fabbricazione diversa, almeno entro certi limiti. Insomma l'analogia si applica solo tra alcuni aspetti delle macchine organiche, i cervelli, e alcuni meccanismi di macchine inorganiche come i computer. Eppure l'analogia è utile perché ci mostra come un oggetto unitario, una persona o un computer, possa venire analizzato a diversi livelli di astrazione. Possiamo descrivere un computer nei termini delle materie prime utilizzate per la fabbricazione: silicio, metalli e petrolio, mostrare come l'elettricità cambi i campi magnetici, la quantità di energia utilizzata, e così via. A un livello più astratto, possiamo descrivere le funzioni del computer, cioè quello che fa. Riceve degli input, cioè delle informazioni in entrata, sotto forma di simboli. Il converte in un altro linguaggio e li immagazzina. È capace di fare molte operazioni sui contenuti del suo magazzino e restituirci, di nuovo sotto forma di simboli, il risultato di queste operazioni. Quello che fa la psicologia cognitiva è qualcosa di simile: descrive le operazioni della mente umana, prescindendo dai meccanismi cerebrali.

La descrizione mediante diversi livelli di analisi, da quelli fisici fino a quelli cognitivi, implica che un livello non possa venire rimpiazzato da un altro livello. Perché no?

Immaginate la descrizione della chiesa del Redentore di Palladio. Il progetto di Palladio non può venire sostituito dalla descrizione dei mattoni, dei mattoni e del piombo delle cupole. Oppure considerate un'operazione motoria: porgere una tazza di caffè a un interlocutore. Questo gesto non è riducibile alle operazioni motorie necessarie per metterlo in atto. Mente e cervello sono la stessa cosa nello stesso senso in cui la chiesa del Palladio si compone di mattoni, mattoni e metalli, ma i diversi livelli di descrizione sono qualitativamente diversi e rispondono ad esigenze diverse. Questo è proprio ciò che Carreño non aveva capito, separando le basi materiali, che lui chiamava *res extensa*, dalle operazioni mentali, che lui chiamava *res cogitans*. Concepire come due sostanze diverse quelli che non

sono altro che differenti livelli di analisi della stessa entità, è per uno psicologo un errore imperdonabile. Fatto questo passo falso, si entra in un vicolo cieco e non si capisce più nulla. Cominciare a domandarsi: sono dualista o monista? Spiritualista o materialista? E così via.

All'inizio la psicologia cognitiva si era dedicata per lo più allo studio delle rappresentazioni mentali e degli algoritmi per manipolarle. La neuropsicologia, e cioè lo studio delle basi neurali di tali operazioni, era una disciplina separata, con una lunga storia precedente, come abbiamo già detto parlando di Broca e del linguaggio. Negli ultimi vent'anni queste due tradizioni di ricerca hanno cominciato a interagire e i due livelli di analisi, operazioni mentali e basi neurali, collaborano sempre di più per capire il funzionamento dell'insieme «mente/cervello umano». Per cogliere questa collaborazione è essenziale conoscere preliminarmente come funziona il cervello.

La confluenza di queste due tradizioni non caratterizza soltanto le scienze cognitive. Il dibattito filosofico contemporaneo studia il rapporto tra il cervello, inteso come oggetto naturale prodotto dall'evoluzione, e la mente umana «costruita» dal cervello. Queste sono le basi per un terzo livello, quello del linguaggio e degli oggetti sociali, «che non potrebbero esistere se non ci fossero menti che pensano» [Ferraris 2012, 83]. Studiare uno dopo l'altro, e non in parallelo, questi approcci, fa perdere o attenua quell'interfaccia tra i saperi che cerchiamo di realizzare in questo manuale. Nella vita, le persone non sono la somma di un cervello, una mente, e, infine, degli oggetti sociali prodotti dai primi due livelli.

6. I MATTONI DEL CERVELLO

Come tutti gli altri organi, il cervello è formato da un gran numero di cellule. Tutte le cellule hanno caratteristiche comuni. Oltre a queste caratteristiche comuni, le cellule che formano i vari organi hanno caratteristiche specifiche, dalle quali dipendono le peculiarità funzionali di quell'organo. Ciò vale per il rene, per il fegato, per il pancreas e così via, e, naturalmente, vale anche per il cervello. Non è improbabile che nel futuro prossimo potremo spiegare come funziona il cervello (come, cioè, il cervello «produce» la mente) partendo dalle caratteristiche specifiche delle cellule specializzate che lo compongono; esattamente come siamo già in grado di fare per il rene, per il fegato, per il pancreas e così via. Ad oggi non riusciamo ancora a risalire dalle cellule che formano il cervello alle sue funzioni. Non si può, però, pensare di farsi un'idea del funzionamento del cervello senza conoscere, almeno nei loro aspetti generali, le caratteristiche strutturali e funzionali delle sue cellule.

Il cervello, umano e animale, è composto da cellule di due tipi: **neuroni** e **cellule gliali**. I neuroni sono le unità elementari dalle quali dipendono le funzioni mentali. Quando si parla di cellule nervose, che generano e trasmettono informazioni attraverso impulsi elettrici, ci si riferisce ai neuroni. Come tutte le cellule, il neurone è formato da un corpo cellulare (o soma), nel quale sono collocati un nucleo ed altri organelli cellulari. Il corpo cellulare si prolunga in molte appen-

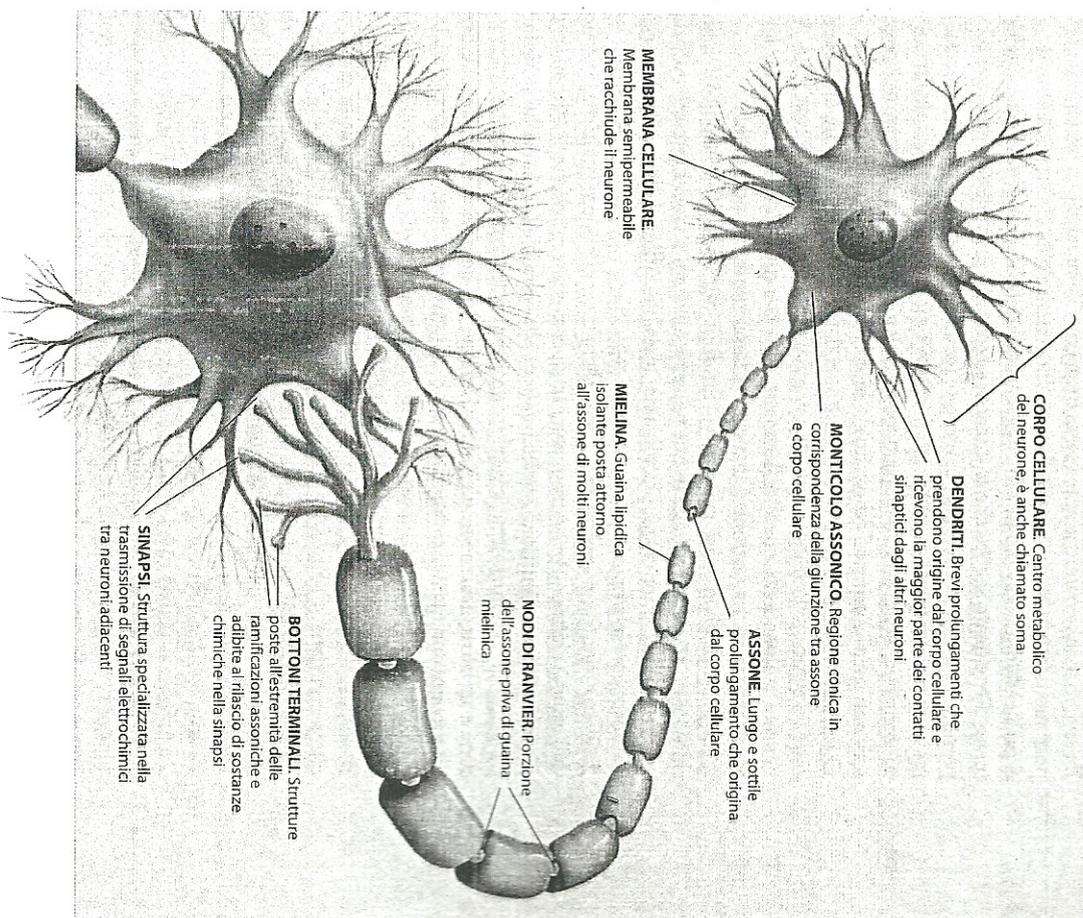


Fig. 1.3. Le principali strutture di un neurone. In basso si vedono le sinapsi: i punti dove le diramazioni dell'assone arrivano quasi a contatto con il neurone successivo.

Fonte: Pnel (2006; trad. it. 2007, 41).

dici brevi, dette *dendriti*, e in un'appendice molto più lunga, detta *assone*. La sostanza semiliquida che costruisce il corpo cellulare (dendriti e assone inclusi) è circondata da una pellicola (membrana) che le impedisce di disperdersi e la separa dall'ambiente (cfr. fig. 1.3).

Il cervello umano contiene approssimativamente 25 miliardi di neuroni. Animali posti molto più in basso di noi nella scala filogenetica hanno sistemi nervosi (non si può parlare di cervello per loro) costituiti da una decina di neuroni o anche meno. Per quanto la rete che formano sia intricata e complessa, i neuroni non perdono mai la loro individualità. La rete è formata da neuroni che non si toccano mai, neppure con le loro propagami, anche se le membrane che li delimitano possono essere molto vicine. I punti dove le membrane di due neuroni adiacenti arrivano quasi a toccarsi (di solito, la membrana dell'assone di un neurone è vicinissima alla membrana di un dendrite o del corpo cellulare di un altro neurone) si indicano con il termine di sinapsi. Dunque, il cervello è costituito da neuroni indipendenti, che si collegano fra loro, per mezzo delle sinapsi, ma non si congiungono. La nozione di neurone si basa su quattro postulati.

1. Il neurone è un'unità anatomica. Studi di microscopia elettronica hanno dimostrato che le membrane di due neuroni adiacenti sono sempre separate da un intervallo. L'intervallo è piccolissimo, invisibile prima dell'introduzione del microscopio elettronico.

2. Il neurone è un'unità funzionale. Ogni neurone viene influenzato solo dall'attività elettrica dei neuroni con i quali comunica attraverso le sinapsi, che sono le strutture neuronali specializzate per la comunicazione tra un neurone e l'altro. La comunicazione, cioè il trasferimento dell'informazione tra un neurone e un altro, avviene in un'unica direzione: un neurone riceve i segnali che gli provengono dai neuroni posti a monte e li trasmette ai neuroni posti a valle.

3. Il neurone è un'unità genetica. Tutti i neuroni originano da un'unica cellula progenitrice, il neuroblasto. Durante lo sviluppo le cellule nervose non formano reti casuali ma contraggono connessioni specifiche prestabili con alcuni neuroni e non con altri.

4. Il neurone è un'unità trofica. Il taglio dell'assone produce la degenerazione della sua parte a valle (degenerazione anterograda) e della sua parte a monte (degenerazione retrograda). La degenerazione non si estende, però, oltre le sinapsi, agli altri neuroni.

La lunghezza dell'assone permette di differenziare i *neuroni di proiezione*, neuroni con assoni molto lunghi (anche fino a un metro, nell'uomo) che connettono neuroni appartenenti a differenti strutture nervose e gli *internuroni*, neuroni con assone corto, che collegano neuroni vicini. La funzione degli internuroni è di modificare l'attività dei neuroni di proiezione.

I neuroni sono unità funzionali responsabili dell'invio dei messaggi nervosi e, pertanto, accanto a caratteristiche comuni alle altre cellule dell'organismo (quali la membrana, il nucleo e altri organelli cellulari, in grado di fornire energia per i processi metabolici e per mantenere l'integrità strutturale della cellula), sono dotati di meccanismi specializzati per inviare segnali ad altre cellule (altri neuroni o effettori, quali cellule muscolari e cellule gliandolari), anche a grande distanza, in maniera rapida e precisa.

7. COME FUNZIONANO I NEURONI

I neuroni sono, dunque, cellule specializzate per scambiare impulsi nervosi (impulsi elettrici), che sono il mezzo per trasmettere informazione. Gli impulsi nervosi provenienti dai neuroni a monte (che, cioè, occupano una posizione precedente in una catena di neuroni) raggiungono i dendriti e/o il corpo cellulare del neurone e vengono trasmessi ai neuroni a valle (che, cioè, occupano una posizione successiva in una catena di neuroni) lungo il suo assone. L'evento cruciale dell'impulso è un aumento di permeabilità della membrana, dovuto alla depolarizzazione, con conseguente passaggio di ioni dall'esterno della membrana all'interno. Il movimento di ioni (ovvero atomi o gruppi atomici dotati di carica elettrica, positiva o negativa) avviene in senso perpendicolare alla direzione dell'impulso. Si pensi a una miccia accesa: la fiamma si sposta, interessando sempre nuovi tratti di miccia. Si noti bene: solo la reazione chimica che provoca la fiamma si verifica in posizioni successive lungo la miccia, nulla si sposta in quella direzione. Ugualmente, nel caso dell'impulso nervoso, è la reazione chimica (la depolarizzazione che produce l'aumento di permeabilità della membrana) che si verifica in posizioni successive lungo l'assone, nulla si sposta in quella direzione. La membrana poi si ripolarizza immediatamente. Dunque, il segnale si sposta lungo l'assone, passando da un neurone all'altro.

Arrivato alla fine dell'assone, l'impulso supera, grazie al rilascio di sostanze chimiche (i cosiddetti neurotrasmettitori), lo spazio sinaptico (lo spazio fra la membrana dell'assone del neurone a monte e la membrana del dendrite del neurone a valle). Attraverso lo spazio sinaptico, i neurotrasmettitori depolarizzano la membrana del dendrite del neurone a valle, e così l'impulso inizia a viaggiare, prima sul corpo cellulare poi lungo l'assone del neurone a valle. Questo meccanismo permette all'impulso nervoso di percorrere più o meno lunghe catene di neuroni.

Poiché la depolarizzazione (come pure la ripolarizzazione) della membrana produce una differenza di potenziale di ampiezza fissa, ciò che può variare, trasmettendo così informazione, è soltanto la frequenza delle depolarizzazioni, la frequenza degli impulsi (il numero di impulsi per unità di tempo). L'informazione trasmessa dai neuroni è perciò codificata nella frequenza dei loro impulsi, nella loro frequenza di scarica. La frequenza di scarica di un neurone è rilevabile per mezzo di microelettrodi. Questi sono elettrodi con una punta di dimensioni minime, dell'ordine dei micron, che vengono introdotti nel cervello e collocati a contatto con la membrana del neurone, in animali svegli e liberi di muoversi. Quando un neurone modifica la frequenza degli impulsi che viaggiano lungo il suo assone, modifica cioè la sua frequenza di scarica rispetto a una condizione di confronto, si dice che il neurone è attivo, «risponde». Con l'uso di microelettrodi, è possibile indagare le risposte dei neuroni in situazioni sperimentali approntate dal ricercatore. Quando si parla di aree cerebrali attive si intende che i neuroni di queste aree modificano la frequenza di scarica rispetto a una condizione di confronto.

I neuroni non sono le uniche cellule del cervello; vi sono anche cellule che forniscono un sostegno fisico e funzionale ai neuroni: sono le *cellule gliali*. Le cellule gliali sono circa dieci volte più numerose dei neuroni. Fino a pochi anni fa si è creduto che la funzione delle cellule gliali fosse semplicemente quella di costituire un sostegno per i neuroni, provvedendo al nutrimento, rimuovendo gli scarti e assicurando la matrice fisica che li tiene insieme nei circuiti neuronali (glia significa colla, appunto). Negli ultimi anni, però, si è dimostrato che esse partecipano alla trasmissione di informazione, inviando segnali ai neuroni e ricevendone dai neuroni.

8. SOSTANZA BIANCA E SOSTANZA GRIGIA

Ci sono quattro tipi di cellule gliali e due di esse emettono prolungamenti ricchi di mielina, una sostanza lipidica che agisce da isolante. La *guaina mielinica* formata da queste cellule circonda completamente l'assone e lo isola, salvo alcune piccole interruzioni (*nodi di Ranvier*) che permettono alla membrana dell'assone di affiorare e di entrare in contatto con il liquido extracellulare, con il liquido, cioè, che circonda i neuroni. Quando un assone è circondato dalla guaina mielinica i fenomeni di depolarizzazione e ripolarizzazione della membrana si verificano solo in corrispondenza delle interruzioni nella guaina mielinica. Perciò la conduzione dell'impulso nervoso avviene a salti, da un'interruzione della guaina mielinica all'altra, mentre nel tratto di assone schemato dalla guaina mielinica non accade nulla. La conduzione a salti aumenta di molto la rapidità di trasmissione dell'impulso nervoso.

Non tutti gli assoni posseggono la guaina mielinica; per quelli che la posseggono si parla di fibre mieliniche, per quelli che non la posseggono si parla di fibre amieliniche. La velocità di trasmissione dell'impulso nervoso dipende dalla presenza o assenza di mielina (è maggiore nelle fibre mieliniche) e dal diametro dell'assone (aumenta con l'aumentare del suo diametro). Infine, è importante ricordare che la notissima distinzione fra sostanza bianca e sostanza grigia nel cervello è legata al colore della mielina, che è bianca e che manca nella sostanza grigia. La *sostanza grigia* è formata dai corpi dei neuroni, dai dendriti e dagli assoni non mielinizzati. La *sostanza bianca* è formata dagli assoni mielinizzati.

È anche importante ricordare che i termini «fibra nervosa» e «assone» sono sinonimi.

Strutture neuronali molto simili sono indicate con termini diversi a seconda che siano collocate dentro o fuori rispetto alla protezione ossea formata dalla scatola cranica e dalla colonna vertebrale. Nervi, tratti nervosi e vie nervose sono fasci di assoni (fibre nervose) che decorrono, più o meno, paralleli. I *nervi* sono posti al di fuori della scatola cranica o della colonna vertebrale, mentre i *tratti* e le *vie nervose* si trovano nel contesto del tessuto nervoso, dentro la scatola cranica o dentro la colonna vertebrale (tratti nervosi e vie nervose, se formati da fibre coperte di mielina, costituiscono la sostanza bianca). Si parlerà anche di nuclei

e di gangli. I nuclei, che costituiscono la sostanza grigia, sono insiemini di corpi di neuroni (con i loro dendriti) posti nel contesto del tessuto nervoso, dentro la scatola cranica o dentro la colonna vertebrale, mentre i gangli sono insiemini di neuroni (con i loro dendriti) posti al di fuori della scatola cranica e della colonna vertebrale. I nuclei sono collegati da tratti e da vie nervose, a loro volta formati da assoni. I gangli sono collegati da nervi, pure formati da assoni.

9. UN SINGOLO NEURONE AL LAVORO

Un aspetto chiave per comprendere la trasmissione dell'impulso nervoso è la differenza di carica elettrica fra l'interno e l'esterno del neurone. Questa differenza dipende dalle condizioni funzionali del neurone. Con il neurone a riposo, la differenza è di -70 mV, cioè l'interno del neurone è negativo rispetto all'esterno, rispetto, cioè, al liquido extracellulare. Questo è il potenziale di riposo. Ma qual è l'origine del potenziale di riposo?

Come tutti i sali in soluzione, anche i sali presenti all'interno e all'esterno del neurone si dividono, dando luogo a ioni con carica positiva e ioni con carica negativa. Il potenziale di riposo è negativo perché, nonostante diverse forze agiscano nel senso di uniformare la distribuzione degli ioni dentro e fuori il neurone, il rapporto ioni negativi/ioni positivi è più alto all'interno che all'esterno del neurone. Diversi meccanismi, alcuni di diffusione passiva di ioni e altri di pompaggio attivo attraverso la membrana di altri ioni, fanno sì che, a riposo, l'interno del neurone sia negativo rispetto all'esterno, con una differenza di potenziale, come abbiamo detto, di -70 mV (il potenziale di riposo). Quando la membrana è attraversata da questa differenza di potenziale, si dice anche che è polarizzata (cfr. fig. 1.4).

Quando un neurone (*neurone presinaptico*, neurone posto a monte nella catena di neuroni) «scarica», libera dalle parti terminali del suo assone i neurotrasmettitori. I neurotrasmettitori si diffondono nello spazio sinaptico e interagiscono con i loro recettori specifici, che si trovano nella membrana del neurone posto oltre la sinapsi (*neurone postsinaptico*, neurone posto a valle nella catena di neuroni). Dunque, giunto a livello della sinapsi, l'impulso nervoso che ha percorso l'assone di un neurone (neurone presinaptico) si trasforma da elettrico in chimico. Così supera lo

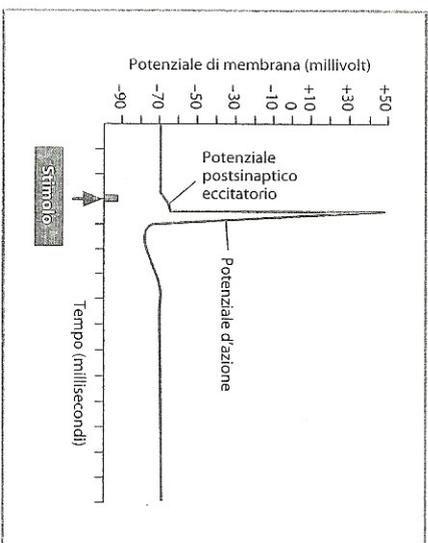


fig. 1.4. Un potenziale di azione. In circa un millesimo di secondo, il potenziale di membrana passa dal valore di -70 mV (potenziale di riposo) a un valore di $+50$ mV.

spazio sinaptico, per proseguire, poi, di nuovo in forma elettrica, lungo l'assone del neurone successivo (neurone postsinaptico).

L'arrivo di un impulso elettrico dal neurone presinaptico al neurone postsinaptico, attraverso lo spazio sinaptico, non sempre innescia un altro impulso nervoso nel neurone postsinaptico. Quando i neurotrasmettitori si legano ai recettori postsinaptici, possono averci due effetti diversi, che dipendono dalla struttura chimica del neurotrasmettitore e del recettore. Si può avere una depolarizzazione della membrana postsinaptica, con un abbassamento del potenziale di riposo da -70 mV a, per esempio, -67 mV, oppure una iperpolarizzazione, con un aumento del potenziale di riposo da -70 mV a, per esempio, -72 mV. Le depolarizzazioni postsinaptiche sono chiamate *potenziali postsinaptici eccitatori* perché aumentano la probabilità che il neurone postsinaptico «scarichi», cioè s'innesci la trasmissione dell'impulso nervoso. Le iperpolarizzazioni postsinaptiche sono dette, invece, *potenziali postsinaptici inibitori*, perché riducono la probabilità che il neurone postsinaptico scarichi.

Sia i potenziali postsinaptici eccitatori sia i potenziali postsinaptici inibitori sono risposte graduali. Ciò significa che la loro ampiezza, cioè il grado di depolarizzazione o iperpolarizzazione che provocano, è proporzionale all'intensità dell'impulso nervoso (elettrico, si ricordi) che li provoca: impulsi deboli causano potenziali postsinaptici piccoli, impulsi intensi causano potenziali postsinaptici grandi. Qui intensità significa frequenza; ciò che cambia nell'impulso nervoso è sempre e solo la sua frequenza, non la sua ampiezza.

All'inizio si è assunto, per semplicità, che i potenziali postsinaptici, generati dai neurotrasmettitori liberati nello spazio sinaptico fra la membrana di due neuroni, se eccitatori, innescino la scarica nel neurone postsinaptico. In altre parole, si è assunto che, se un neurone scarica, il neurone che lo segue nella catena scarichi pure lui. In realtà, i potenziali postsinaptici generati in corrispondenza di una singola sinapsi di solito hanno scarso effetto sulla scarica del neurone postsinaptico. La maggior parte dei neuroni hanno, infatti, la membrana comparsa di migliaia di sinapsi. È l'effetto cumulativo di tutte le attività sinaptiche, eccitatorie e inibitorie, a determinare se il neurone scaricherà o no. Se la somma algebrica di depolarizzazioni e iperpolarizzazioni pervenute in ogni istante è sufficiente a portare la membrana a un livello di depolarizzazione detto *soglia di eccitazione* (di solito circa -65 mV) si verifica un fenomeno detto *potenziale di azione*. Si tenga ben presente che quello che abbiamo chiamato finora «impulso nervoso», o «impulso elettrico», è in realtà il potenziale d'azione. Perciò, ciò che percorre l'assone di un neurone che scarica è un potenziale d'azione o, meglio, una serie di potenziali d'azione. La frequenza di scarica di un neurone è la frequenza con la quale i potenziali di azione percorrono il suo assone.

Il potenziale di azione è un'esplosiva e transitoria (dura circa 1 millesimo di secondo: 1 ms) inversione del potenziale di membrana, che avviene da negativo (-70 mV) positivo ($+50$ mV). In 1 ms si ha la ripolarizzazione con il ritorno dell'interno a -70 mV rispetto all'esterno. A differenza dei potenziali postsinaptici, i potenziali di azione non sono risposte graduali. Infatti, la loro ampiezza non è dipendente dall'intensità degli impulsi che la innescano. Essi rappresen-

tano, invece, risposte tutto-o-nulla: o si verificano in tutta la loro ampiezza o non si verificano affatto (fig. 1.4). Negli assoni mielinizzati il flusso di ioni attraverso la membrana assonale si realizza, come abbiamo detto, a salti, solo negli spazi privi di mielina (i nodi di Ranvier). La mielinizzazione aumenta, perciò, e di molto, la velocità di conduzione del potenziale d'azione lungo l'assone.

Ciascun neurone somma l'insieme di potenziali postsinaptici eccitatori e inibitori graduali creati sulla sua membrana, a livello delle sinapsi, dai neurotrasmettitori e scarica, cioè invia impulsi nervosi (potenziali d'azione) lungo il suo assone sulla base del risultato di tale somma. L'operazione di sommare tra loro potenziali postsinaptici graduali prende il nome di *integrazione*. L'integrazione avviene nel tempo e nello spazio. Quando l'integrazione avviene nello spazio, la somma algebrica riguarda potenziali postsinaptici che si sono verificati in aree adiacenti della membrana neuronale. Quando l'integrazione avviene nel tempo, la somma algebrica riguarda potenziali postsinaptici che si sono verificati in prossimità temporale. Ciascun neurone integra continuamente segnali nel tempo e nello spazio, perché è continuamente bombardato da impulsi nervosi, che generano, grazie ai neurotrasmettitori liberati nello spazio sinaptico, potenziali postsinaptici graduali sulla sua membrana, a livello dei dendriti o del corpo. Il potenziale d'azione viene trasmesso lungo l'assone, fino al suo termine. Qui libera il neurotrasmettitore nello spazio sinaptico. Il neurotrasmettitore produce i potenziali postsinaptici sulla membrana del neurone postsinaptico. Il neurone postsinaptico integra i potenziali postsinaptici. Se la soglia di eccitazione viene raggiunta, scatenata il potenziale d'azione, che viaggia lungo l'assone fino alla sinapsi successiva. Il processo si ripete così, da un neurone all'altro, nella catena di neuroni.

10. IL SISTEMA NERVOSO

Una seria difficoltà che si incontra nello studio della neuroanatomia è che la stessa struttura è indicata con molti nomi diversi. Gli esperti li trattano come sinonimi, senza problemi; i non esperti, invece, ne sono travolti. Ecco un paio di esempi: l'area visiva primaria, cioè quella porzione di corteccia cerebrale nella quale termina la principale via visiva (pure dotata di molti nomi) che porta l'informazione visiva dalla retina al cervello, è anche detta area V1, area 17, corteccia striata, corteccia calcarina, area di proiezione visiva, BA 17; l'area motoria primaria, cioè quella porzione di corteccia cerebrale dalla quale parte la principale via della motricità volontaria che porta i comandi motori dal cervello ai muscoli striati, è anche detta area M1, area 4, corteccia piramidale, giro precentrale, area di proiezione motoria, BA 4.

Un'altra grave difficoltà terminologica che s'incontra quando si affronta lo studio dell'anatomia macroscopica del cervello riguarda il sistema di coordinate, necessario per descrivere un organo tridimensionale, come, appunto, è il cervello. Per convenzione, la posizione delle diverse strutture anatomiche che compongono il sistema nervoso dei vertebrati, non solo il cervello, è definita rispetto all'orientamento del midollo spinale. Secondo questa convenzione, il sistema nervoso

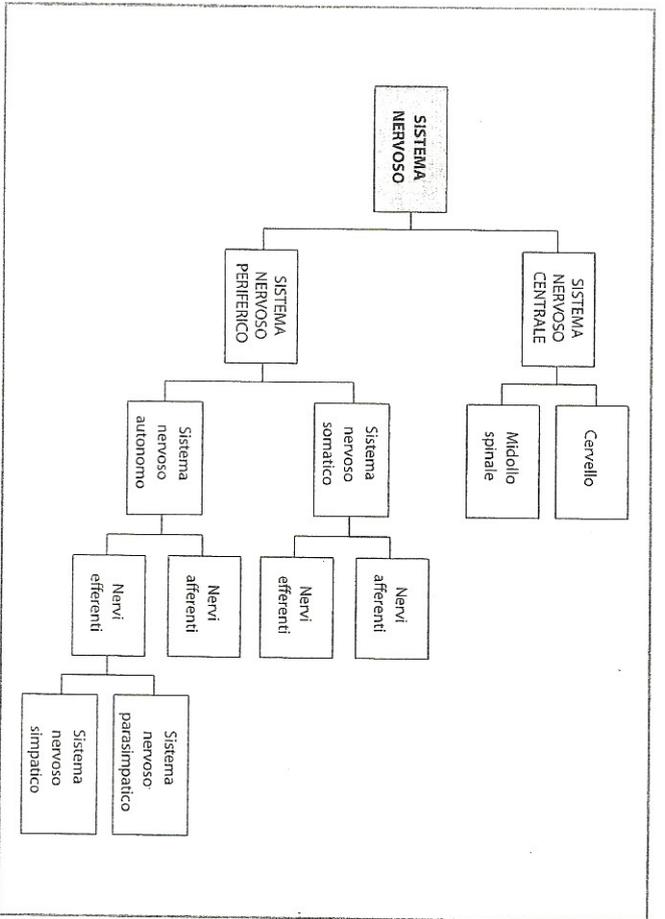


fig. 1.5. Le principali suddivisioni del sistema nervoso dell'uomo. I nervi afferenti trasmettono l'informazione al cervello dalla periferia mentre i nervi efferenti trasmettono alla periferia i comandi provenienti dal cervello.
Fonte: Pinal (2006; trad. it. 2007, 37).

presenta tre assi principali: l'asse antero-posteriore (o rostro-caudale), l'asse dorso-ventrale (o alto-basso) e l'asse medio-laterale (o centro-periferia). Anche se gli esseri umani hanno adottato la stazione eretta è possibile evitare confusioni ricordando che la convenzione è stata adattata in modo che i termini usati per localizzare le parti del sistema nervoso siano gli stessi nell'uomo e nei vertebrati non a stazione eretta. In particolare, nell'uomo, sia per la sommità del capo sia per il dorso si usa il termine «dorsale» e sia per la parte inferiore del capo sia per la parte anteriore del corpo si usa il termine «ventrale». Frequentemente nelle figure sono mostrate sezioni (fette) di cervello tagliate lungo i tre diversi piani: sezioni orizzontali, sezioni frontali (dette anche coronali) e sezioni sagittali (dette anche longitudinali).

Il sistema nervoso di tutti i vertebrati, uomo compreso, è composto di due parti principali: il sistema nervoso centrale (SNC) e il sistema nervoso periferico (SNP) (figg. 1.5 e 1.6). Il SNC è contenuto dentro protezioni ossee: la scatola cranica (che contiene l'encefalo, del quale il cervello è la parte principale) e la colonna vertebrale (che contiene il midollo spinale). Il SNP è invece posto fuori di tali contenitori ossei. Anche il SNP è divisibile in due parti: il sistema nervoso somatico (SNS) e il sistema nervoso autonomo (SNA). Il SNS è quella componente del SNP che interagisce con il mondo esterno ed è composta da

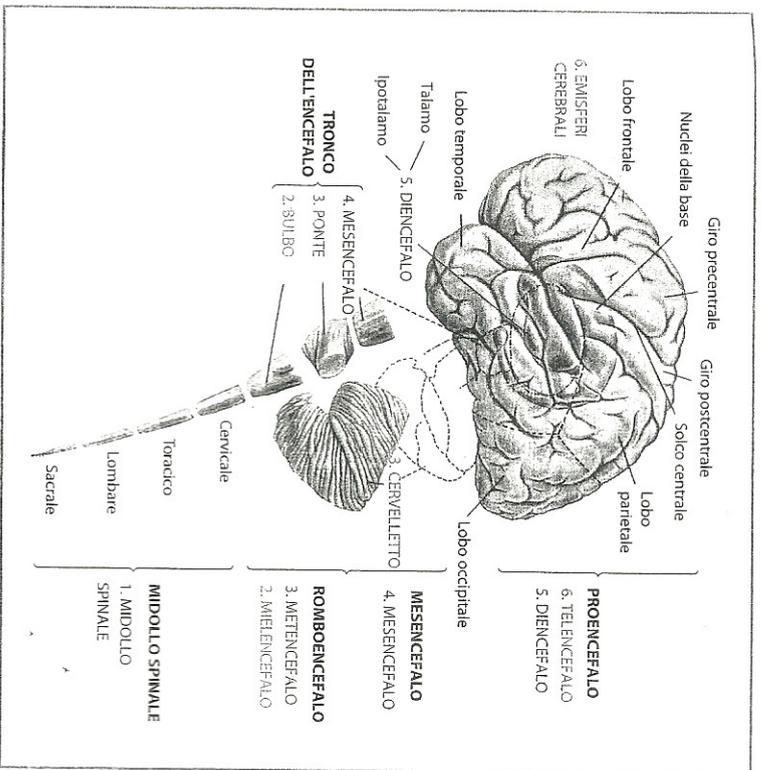


Fig. 1.6. Visione laterale del SNC di uomo. All'estremità destra sono indicate le sei parti principali nelle quali può essere suddiviso. Queste parti sono raggruppate secondo i tre principali abbozzi embrionali, oltre al midollo spinale, dai quali prendevano poi origine le strutture definitive: rombencefalo, mesencefalo e proencefalo. Nel centro sono raffigurate le principali strutture nervose dell'uomo adulto. Per esempio, il mielencefalo diventa il bulbo, il metencefalo diventa il ponte e il cervelletto e così via. Il diencefalo (talamo e ipotalamo) è mostrato in trasparenza, al centro degli emisferi cerebrali.
Fonte: Matelli e Umiltà (2007, 19).

nervi afferenti, che portano le informazioni sensitive e sensoriali al SNC, e nervi efferenti, che trasmettono i comandi del SNC ai muscoli scheletrici. Il SNA partecipa alla regolazione dell'ambiente interno dell'organismo. È costituito da nervi afferenti, che trasportano le informazioni sensitive dagli organi interni verso il SNC, e da nervi efferenti, che portano comandi dal SNC ai muscoli lisci, per i movimenti degli organi interni, e alle ghiandole esocrine ed endocrine; le ghiandole esocrine versano le sostanze che producono all'esterno, mentre le ghiandole endocrine producono ormoni e li versano direttamente nel circolo sanguigno. Il SNA presenta due tipi di nervi efferenti: i nervi simpatici sono nervi motori che originano dalla parte lombare e toracica del midollo spinale, mentre i nervi parasimpatici sono nervi motori che originano dalla regione sacrale del midollo spinale.

La concezione tradizionale delle funzioni del sistema simpatico e del sistema parasimpatico indica tre principi importanti.

1. Il sistema simpatico mobilita risorse energetiche nelle situazioni di emergenza e pericolo, mentre il sistema parasimpatico conserva energia.
2. Ogni organo interno è innervato da entrambi i sistemi, simpatico e parasimpatico, e quindi l'attività di ogni organo interno è regolata dall'attività bilanciata dei due sistemi.
3. Per semplificare, si può dire che il sistema simpatico produce tensione mentre il sistema parasimpatico produce rilassamento.

La maggior parte dei nervi che appartengono al SNS originano dal midollo spinale e sono detti nervi spinali. In tutto ci sono 31 paia di nervi spinali: dall'alto in basso, 8 nervi cervicali, 12 nervi toracici, 5 nervi lombari, 5 nervi sacrali e 1 nervo cocchigeo. I nervi spinali contengono fibre sensitive, che portano informazioni dalla periferia del corpo al SNC, e fibre motorie, che portano comandi dal SNC ai muscoli. Altri nervi (12) originano dall'encefalo e sono detti nervi cranici. Alcuni nervi cranici contengono esclusivamente fibre sensoriali: il nervo olfattivo, il nervo ottico, il nervo acustico-vestibolare. Altri contengono fibre motorie, per i movimenti oculari. Altri ancora contengono sia fibre sensitive sia motorie. Infine, il nervo vago si differenzia dagli altri nervi cranici perché appartiene al sistema parasimpatico, anche se fibre parasimpatiche sono contenute in altri nervi cranici.

10.1. L'encefalo

L'encefalo è alloggiato nella scatola cranica ed è costituito dal tronco dell'encefalo, dal cervelletto e dal cervello (fig. 1.6). A sua volta, il tronco dell'encefalo, così chiamato perché sostiene il cervello come un tronco sostiene la chioma di un albero, è costituito da tre strutture principali che si susseguono in direzione rostrale, cioè verso l'alto, verso il cervello: il bulbo (o midollo allungato), in diretta continuazione del midollo spinale (della sua porzione superiore, cervicale, per essere precisi), il ponte e il mesencefalo.

L'organizzazione anatomica del tronco dell'encefalo è piuttosto complessa, ma può essere abbastanza facilmente ricondotta a uno schema di base, valido anche per il midollo spinale: la *sostanza grigia*, che è costituita da neuroni che formano i nuclei dei nervi motori, sensitivi o sensoriali, che innervano i muscoli e la cute del cranio e del collo e gli organi di senso specifici (i nervi cranici); e la *sostanza bianca*, che è costituita da assoni che formano vie ascendenti e portano informazioni sensitive e sensoriali al cervello e da altri assoni che formano vie discendenti e portano comandi motori dal cervello ai muscoli. Nel mesencefalo, inoltre, si trovano nuclei di neuroni appartenenti al sistema parasimpatico. Il sistema parasimpatico, assieme al sistema simpatico, concorre a regolare funzioni vitali di base: battito cardiaco, ritmo respiratorio, pressione sanguigna, temperatura corporea e varie funzioni intestinali.

Nel midollo spinale i nuclei dei nervi motori, i nuclei dei nervi sensitivi e i nuclei dei nervi del sistema simpatico occupano la sostanza grigia centrale. Essi sono

in continuità anatomica tra loro, separati soltanto dalla zona intermedia, che contiene prevalentemente interneuroni. Nel tronco dell'encefalo, invece, si assiste a una chiara segregazione dei neuroni sensitivi, sensoriali, motori e vegetativi, che formano nuclei nettamente distinti: i nuclei dei nervi cranici, appunto. Tali nuclei si trovano immersi in una rete di numerosissimi interneuroni che prende il nome di formazione (o sostanza) reticolare.

La formazione reticolare possiede una struttura anatomica adatta a raccogliere e a distribuire informazioni a varie strutture cerebrali: è, cioè, un importantissimo centro d'integrazione. Attraverso vie nervose ascendenti essa controlla gli stati di attivazione del cervello (tra l'altro, ha un ruolo importante nella regolazione del sonno, della veglia e degli stati di coscienza). Grazie alle sue molteplici connessioni, svolge una funzione integrativa sia dell'attività riflessa somatica del tronco sia del controllo vegetativo della respirazione e del sistema cardiovascolare. Infine, attraverso le vie discendenti al midollo spinale, influenza il tono posturale e modula le afferenze sensitive.

Il cervelletto non appartiene al tronco dell'encefalo ma è a esso strettamente adiacente, pure occupando una posizione dorsale (fig. 1.6). È così chiamato perché presenta un'organizzazione macroscopica simile a quella del cervello, pur essendo nettamente più piccolo (il suo peso rappresenta il 10% di tutto il cervello; tuttavia contiene più della metà di tutti i neuroni). Il cervelletto svolge un ruolo importante nell'attività motoria, non, però, nella programmazione e nell'esecuzione dei movimenti; piuttosto interviene nella coordinazione dei movimenti e nell'apprendimento motorio. Le lesioni del cervelletto compromettono la coordinazione motoria in modi diversi, a seconda della sede della lesione.

Il *mielencefalo* è costituito dal solo bulbo o midollo allungato. Il *metencefalo* comprende ponte e cervelletto, il *mesencefalo* è costituito dal solo mesencefalo, il *diencefalo* comprende talamo e ipotalamo e il *telencefalo* comprende la corteccia cerebrale o emisferi cerebrali, il sistema limbico e i gangli della base.

Il cervello è il telencefalo. Il midollo spinale, il mielencefalo e il mesencefalo formano una specie di lungo tronco, sul quale, come abbiamo accennato prima, si inserisce una chioma arborea, che è il cervello o telencefalo. Va, però, tenuto presente che, solitamente, il diencefalo è incluso nella descrizione del tronco dell'encefalo, ed è così sottratto al cervello. Perciò, il tronco dell'encefalo viene a comprendere mielencefalo, metencefalo, mesencefalo e diencefalo.

In questa sede, solo il diencefalo (cfr. fig. 1.7), fra le strutture del tronco dell'encefalo, merita una menzione più particolareggiata. Le due strutture che lo compongono, talamo, sopra, e ipotalamo, sotto, hanno, infatti, un ruolo fondamentale nel comportamento, anche umano. Il talamo è una stazione di transito per tutte le informazioni che raggiungono la corteccia. Nulla arriva alla corteccia che prima non sia passato per il talamo. L'*ipotalamo* è la cabina di regia che regola la produzione degli ormoni di tutto l'organismo.

Il talamo è una struttura piuttosto grande con due lobi, uno a destra e l'altro a sinistra: è posto in continuazione del mesencefalo e può essere considerato, come si è detto, la parte più rostrale del tronco dell'encefalo. I due lobi del talamo sono posti ai due lati del terzo ventricolo. Il talamo comprende molte paia di nuclei,

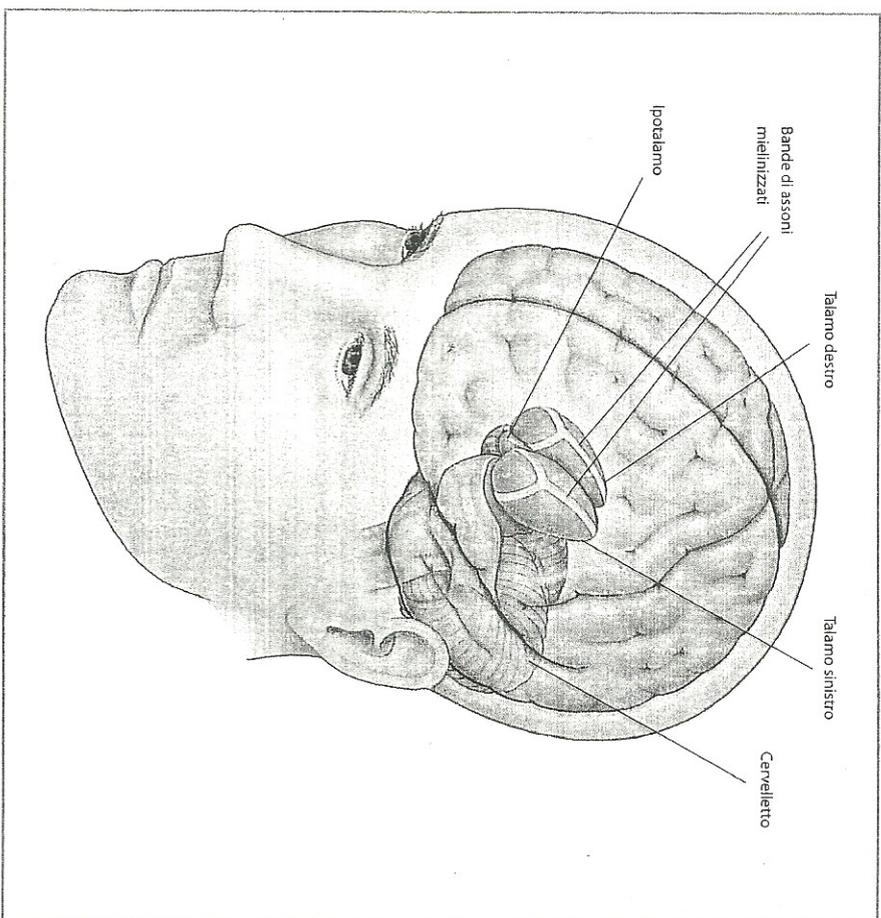


fig. 1.7. Il diencefalo umano.

Fonte: Pineda [2006; trad. it. 2007, 52].

La maggior parte dei quali contiene neuroni che inviano assoni alla corteccia. Alcuni sono stazioni di transito, cioè nuclei i cui neuroni ricevono informazioni dai recettori in contatto con il mondo esterno (vista, udito, tatto ecc.) o con gli organi interni, le elaborano e poi le inviano a specifiche aree corticali. Per esempio, il *nucleo genicolato laterale* è un'importante stazione di transito per il sistema visivo, il *nucleo genicolato mediale* lo è per il sistema uditivo e i *nuclei ventrali posteriori* lo sono per il sistema somatosensoriale.

L'ipotalamo (destro e sinistro) è posto immediatamente al di sotto del talamo. Ha un ruolo importante nel regolare gli stati motivazionali. Esercita in parte i suoi effetti controllando il rilascio di ormoni da parte della ghiandola ipofisi (detta anche ghiandola pituitaria).

10.2. L'architettura del cervello

Il cervello (telencefalo) assolve alle funzioni mentali più complesse. Controlla i movimenti volontari, decodifica ed elabora gli stimoli sensoriali e sensitivi. Media tutte le funzioni cognitive complesse.

Gli emisferi cerebrali sono ricoperti da uno strato di tessuto chiamato corteccia cerebrale. La corteccia cerebrale costituisce la gran parte della sostanza grigia e, nell'uomo, presenta profonde pieghe, o circonvoluzioni, che hanno lo scopo di aumentare la superficie della corteccia senza aumentare il volume del cervello. Le pieghe corticali più profonde prendono il nome di *scissure*, mentre quelle meno profonde sono dette *solchi*. Le zone di corteccia rilevate, poste fra due scissure o due solchi, sono dette giri o circonvoluzioni. I due emisferi cerebrali sono quasi completamente separati sulla linea mediana dalla profonda scissura longitudinale (cfr. fig. 1.8). Essi appaiono collegati da alcuni tratti di fibre trasversali, denominate *commisure cerebrali*, la più grande delle quali è il corpo calloso. I due maggiori elementi di riferimento sulla superficie laterale di ciascun emisfero sono la scissura centrale (o scissura di Rolando) e la scissura laterale (o scissura di Silvio). Queste scissure dividono ciascun emisfero in quattro lobi: lobo frontale, lobo parietale, lobo temporale e lobo occipitale. Naturalmente, ogni emisfero cerebrale possiede i quattro lobi.

Quantunque tutta la neocorteccia abbia una struttura a sei strati, le dimensioni di tali strati e la loro organizzazione variano da un'area corticale all'altra, tanto che vi si possono distinguere, sulla base delle loro caratteristiche di architettura cellulare, un gran numero di aree citoarchitettoniche (cfr. fig. 1.9). Sono state proposte molte mappe citoarchitettoniche, ma quella ancora di gran lunga più usata è quella di Korbinian Brodmann del 1909. Essa distingue circa 50 aree, designate con numeri arabi progressivi, preceduti da BA (per Brodmann Area); per esempio, BA 4 e BA 17, che, come si è visto sopra, sono rispettivamente l'area motoria primaria e l'area visiva primaria.

10.3. Le funzioni integrative

La suddivisione anatomico-funzionale ci consente di delineare il flusso delle informazioni che attraversano la corteccia cerebrale e producono i processi integrativi. Le informazioni raccolte dagli organi di senso, seguendo vie ascendenti, raggiungono, attraverso i nuclei specifici del talamo, che fungono da stazioni di transito, le regioni corticali, dove sono localizzate le aree sensoriali e sensitive primarie. Da qui, attraverso connessioni cortico-corticali, le informazioni vengono successivamente elaborate dalle aree sensoriali e sensitive di ordine superiore e da queste distribuite secondo due vie principali.

1. Il risultato dell'elaborazione viene trasmesso alle aree motorie di ordine superiore e da queste all'area motoria primaria per mediare la cosiddetta in-

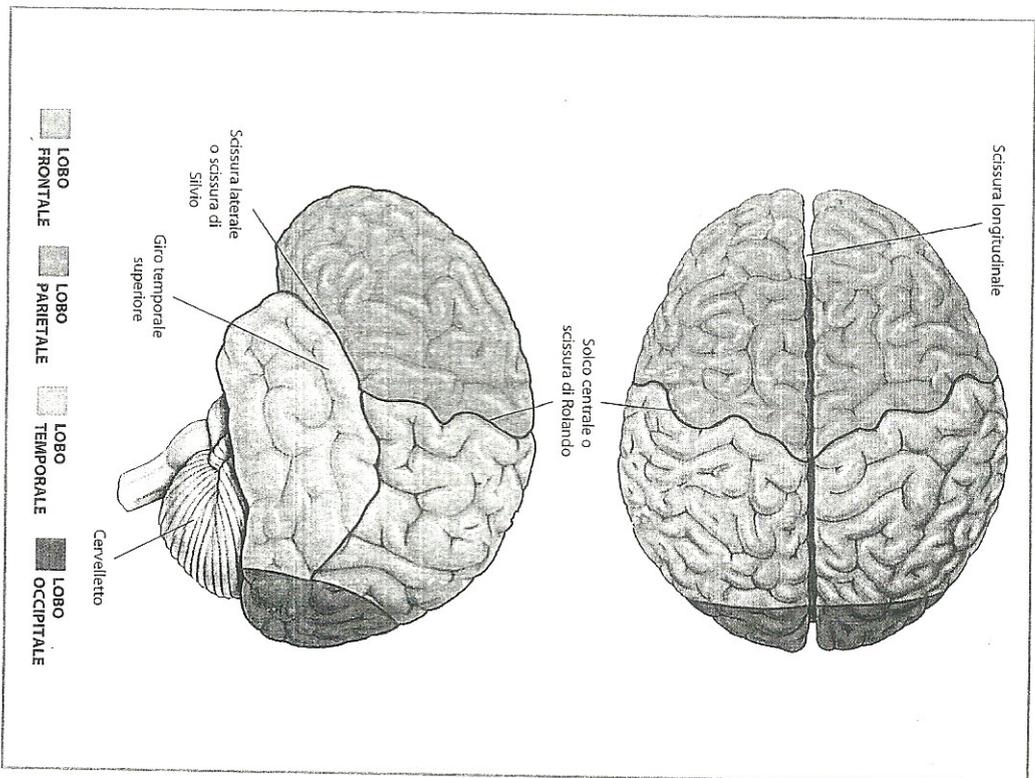


fig. 1.3. *Visione dall'alto (sopra) e dal lato sinistro degli emisferi cerebrali e loro suddivisione in lobi per mezzo delle principali scissure.*

Fonte: Adattata da Martelli e Umiltà (2007, 72).

tegrazione sensorimotoria, che porta all'esecuzione di atti motori in risposta a stimoli sensoriali o sensitivi.

2. L'informazione viene inviata alle cortece associative.

La corteccia associativa parieto-temporo-occipitale riceve informazioni dalle aree somatiche, visive e uditive, di ordine superiore. Si ritiene che sia deputata all'integrazione delle specifiche informazioni sensoriali e sensitive e dia origine

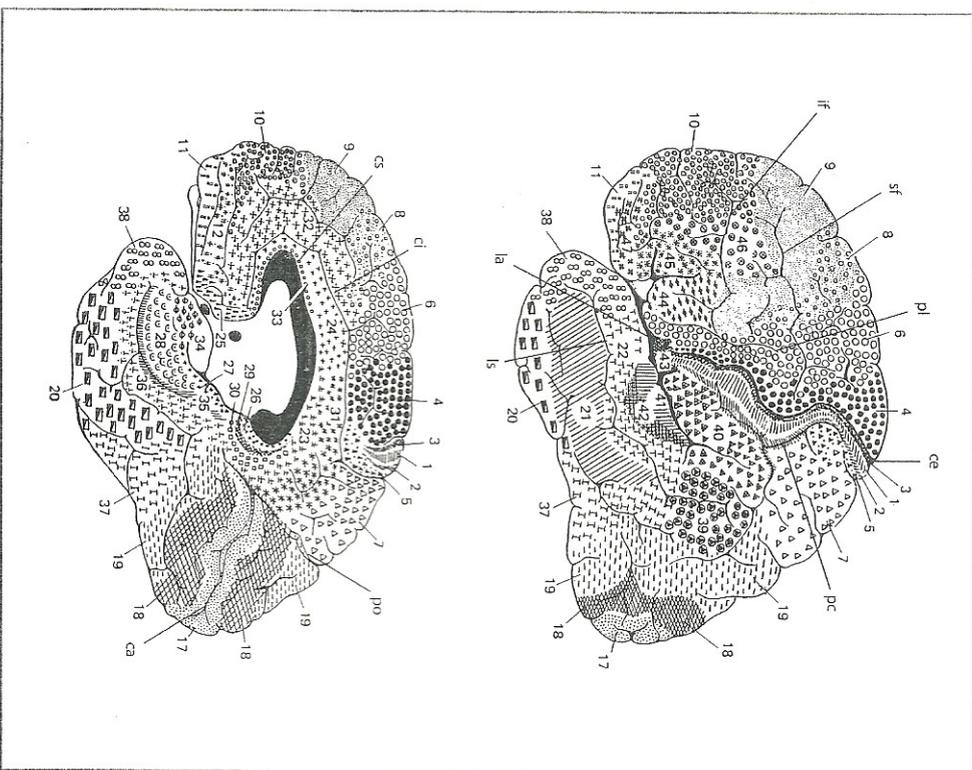


fig. 1.2. *Mappe citarchitettoniche della corteccia cerebrale dell'uomo secondo Brodmann. Nella parte superiore è mostrata la faccia laterale dell'emisfero sinistro nella parte inferiore è mostrata la faccia mediale. Ogni area è definita da un numero arabo. Abbreviazioni: ar, solco arcuato; ca, scissura calcarina; ce, solco centrale (scissura di Rolando); ci, solco cingolato; cs, solco callosale; if, solco frontale inferiore; io, solco occipitale inferiore; ip, solco intraparietale; la, solco laterale (scissura di Silvio); ls, solco lunato; pc, solco postcentrale; pl, solco precentrale; po, solco parieto-occipitale; pr, solco principale; ts, solco temporale superiore.*

Fonte: Martelli e Umiltà (2007, 84).

alla percezione. La corteccia associativa limbica (cfr. par. 10.4), integrando gli aspetti emozionali, mnestici e motivazionali delle informazioni sensoriali e sensitive, influenza sia la corteccia associativa prefrontale sia le aree motorie di ordine superiore, permettendo agli aspetti motivazionali ed emozionali di influenzare la programmazione dei movimenti. La corteccia associativa prefrontale riceve

fibre afferenti sia dalle aree sensoriali e sensitive di ordine superiore sia dalle altre aree associative. Si ritiene che svolga un ruolo importante nel selezionare la risposta motoria più adeguata, tra quelle possibili, sulla base dell'integrazione delle informazioni sensoriali e sensitive e degli aspetti motivazionali ed emozionali. Il suo intervento contribuirebbe la capacità di prevedere e valutare le conseguenze delle proprie azioni. La corteccia prefrontale programmerebbe, poi, un piano motorio generale che verrebbe trasmesso alle aree motorie di ordine superiore, dette *aree premotorie*. Da queste il piano motorio verrebbe analizzato, verrebbero definiti i singoli programmi motori che lo compongono, e il risultato dell'elaborazione verrebbe trasmesso all'*area motoria primaria*, che si farebbe carico dell'esecuzione finale dei movimenti, inviando impulsi di comando, lungo il tronco dell'encefalo e il midollo spinale, ai motoneuroni dei nervi cranici e spinali.

10.4. Nuclei sottocorticali

La sostanza bianca sottocorticale contiene fibre assonali con decorso verticale, che collegano, in entrambe le direzioni, i centri sottocorticali e corticali, e fibre assonali con decorso orizzontale, che collegano, in entrambi i sensi, centri corticali. Molti di questi assoni sono ricoperti da una guaina mielinica, che spiega il colore bianco, che a sua volta spiega il nome di sostanza bianca.

Immersi nella sostanza bianca si trovano voluminosi nuclei di sostanza grigia, formati da molti neuroni. I due principali raggruppamenti di nuclei sono il *sistema limbico* e i *gangli della base*. Il sistema limbico è detto anche da alcuni lobo limbico; dunque, è il secondo lobo, dopo quello prefrontale, che si aggiunge ai quattro lobi classici, portando a sei il totale. Un ulteriore nome con il quale si indica il sistema limbico è circuito di Papez, perché le strutture che lo compongono sono disposte in posizione mediana, ad anello, attorno al talamo (cfr. fig. 1.10). Il sistema limbico è implicato nella regolazione degli stati motivazionali e degli stati emozionali. Le sue principali strutture sono l'*ippocampo*, che ha un ruolo cruciale nei processi di memoria e l'*amigdala*, che ha un ruolo cruciale nelle emozioni.

I gangli della base (cfr. fig. 1.11) comprendono tre grandi nuclei sottocorticali: il *nucleo caudato*, il *putamen* e il *giobo pallido*. Il nucleo caudato e il putamen insieme formano il *corpo striato*. Secondo alcune classificazioni, ai gangli della base appartengono anche il *nucleo subtalamico di Lays* e la *substantia nigra*. I gangli della base svolgono un ruolo importante nell'esecuzione dei movimenti volontari. Particolarmente rilevanti sono le vie di collegamento fra il corpo striato e la sostanza nera del mesencefalo. Il morbo di Parkinson, un disturbo caratterizzato da rigidità, tremore ed estrema povertà di movimenti volontari, è associato alla compromissione della via che collega la *substantia nigra* e il corpo striato.

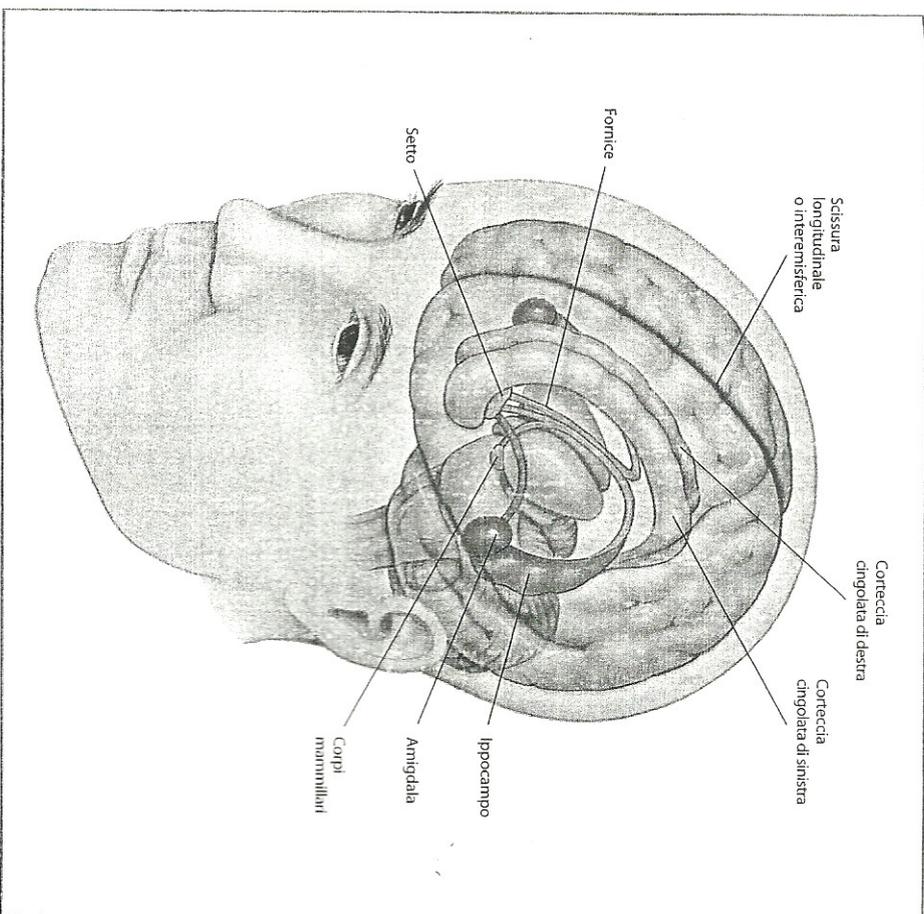


fig. 1.10. Localizzazione delle principali strutture del sistema limbico, disposte ad anello attorno al talamo.
Fonte: Pirelli [2006; trad. it. 2007, 64].

10.5. Come comunicano le due metà del cervello

Accanto alle connessioni cortico-corticali, che collegano aree corticali distanti all'interno di ciascun emisfero cerebrale, esistono dei sistemi di fibre che connettono tra loro aree omologhe dei due emisferi (fibre commissurali). Queste fibre passano da un emisfero all'altro, attraversando la scissura longitudinale o interemisferica (cfr. fig. 1.8). Il fascio più importante di *fibre commissurali* è il *corpo calloso*. Le fibre del corpo calloso sono organizzate topograficamente: le fibre che collegano i lobi frontali vanno a formare la parte più anteriore, rostrale,

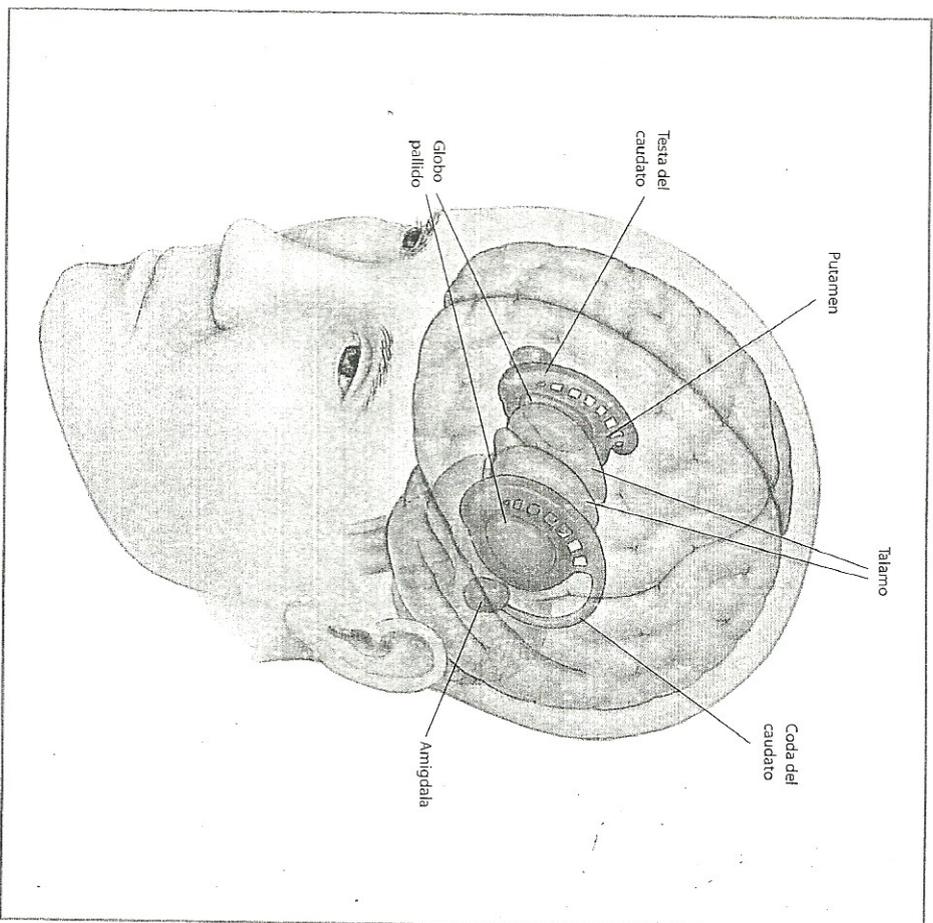


fig. 1.11. I gangli della base: corpo striato (insieme di caudato e di putamen) e globo pallido.
Fonte: Pinel [2006; trad. it. 2007, 65].

del corpo calloso, poi vengono le fibre che collegano i lobi parietali, seguite dalle fibre che collegano i lobi temporali e, infine, le fibre che collegano i lobi occipitali, le quali formano la parte più caudale del corpo calloso. La funzione delle fibre callosali è quella di permettere lo scambio d'informazioni tra i due emisferi cerebrali. A volte questa funzione viene meno, a causa della mancanza congenita del corpo calloso (agenesia del corpo calloso) o di una sua interruzione chirurgica, motivata da gravi condizioni patologiche. L'interruzione del corpo calloso, o il suo mancato sviluppo, produce la condizione nota come «cervello diviso». Quando il cervello è diviso, i due emisferi cerebrali funzionano indipendentemente l'uno dall'altro, nel senso che l'informazione che un emisfero cerebrale

riceve ed elabora non è a disposizione dell'altro. Le conseguenze di questa segregazione sono particolarmente clamorose quando un solo emisfero cerebrale è in grado di elaborare un tipo di informazione. Uno degli esempi più noti riguarda le funzioni linguistiche, che, nella maggioranza degli esseri umani, sono mediate dall'emisfero cerebrale sinistro. In seguito all'interruzione delle fibre interemisferiche callosali, le funzioni linguistiche restano a disposizione di un solo emisfero cerebrale, di solito quello sinistro.

11. I METODI DI INDAGINE

Il primo metodo che è stato usato per correlare l'attività del cervello e i processi mentali nell'uomo è stato l'elettroencefalogramma (EEG). L'EEG è una misura globale dell'attività elettrica del cervello. È registrato mediante grossi elettrodi da uno strumento denominato «elettroencefalografato» (la tecnica è detta «elettroencefalografia»). Quando si registra l'EEG nell'uomo, ogni coppia di elettrodi, collocati sul cuoio capelluto in posizioni standard, produce un tracciato (una linea continua con andamento irregolare). Quel tracciato segnala le variazioni di potenziale nel tessuto nervoso sottostante gli elettrodi. Si parla di «canale» per indicare la penna che produce il tracciato su carta o il raggio che lo produce su uno schermo catodico. Normalmente, la registrazione avviene attraverso molti elettrodi.

Il segnale EEG riflette principalmente i potenziali postsinaptici graduali (cfr. par. 9). Riflette però anche altri eventi elettrici neurali: i potenziali presinaptici graduali e i potenziali d'azione. Purtroppo il segnale EEG è anche influenzato da eventi elettrici di origine non neurale. Perciò, l'utilità del segnale EEG non risiede tanto nella possibilità di fornire informazioni chiare, precise e ben localizzate dell'attività neurale sottostante gli elettrodi, quanto nel fatto che certe onde EEG (le onde sono le variazioni di potenziale rilevate dagli elettrodi) sono associate a determinati stati di coscienza. Per esempio, le *onde alfa*, ampie e regolari, con una frequenza di 8-10 cicli per secondo, sono indice di veglia rilassata, mentre le *onde beta*, irregolari, più frequenti e meno ampie, sono indice di veglia attiva. Durante il sonno profondo, l'EEG è caratterizzato da onde lente, molto ampie, presumibilmente prodotte da cambiamenti ritmici nell'attività di grandi gruppi di neuroni. Poiché le caratteristiche dell'EEG normale sono ben stabilite e, inoltre, sono costanti nei diversi individui, l'EEG è in grado di rivelare anomalie delle funzioni cerebrali. Le onde EEG possono essere, infatti, indice di specifiche condizioni patologiche cerebrali, come l'epilessia. L'EEG riflette un'attività cerebrale spontanea, cioè non determinata da eventi prodotti dall'esaminatore.

In alcuni casi, però, l'interesse è rivolto alle onde elettriche che sono prodotte da eventi controllati dall'esaminatore e si sovrappongono alle onde EEG. Queste onde elettriche, prodotte da eventi, esterni o interni, posti sotto il controllo dell'esaminatore, sono i potenziali evento-correlati o potenziali evocati (ERPs, dall'inglese *Event-Related Potentials*); evocati, appunto, da uno stimolo fornito

dall'esaminatore. Se si applicano appropriate procedure statistiche, diventa possibile «estrarre», cioè separare dall'attività EEG di fondo, il potenziale evocato che riflette l'attività neurale specificamente collegata a un particolare evento sensoriale, motorio o cognitivo. Ogni potenziale evocato è indicato con una lettera, P oppure N, che indica se si tratta di un potenziale positivo o negativo, e con un numero, che indica la latenza rispetto all'evento che l'ha evocato. Per esempio, «P 300» o «P 3» è un potenziale positivo che si verifica circa 300 ms dopo lo stimolo. Una caratteristica importante dei potenziali evocati è che forniscono una registrazione temporale precisa della sottostante attività neurale. Il potenziale evocato fornisce, cioè, una rappresentazione fedele di come varia nel tempo l'attività neurale, mentre si svolgono funzioni mentali note. Esso si è rivelato uno strumento importante, oltre che nella ricerca, nel diagnosticare certi tipi di patologia neurologica.

L'EEG e i potenziali evocati registrano l'attività elettrica delle strutture neurali sottostanti. Una variante più recente di questi metodi è la magnetoencefalografia (MEG) che registra campi magnetici invece di campi elettrici.

Recentemente, si sono aggiunti a questi metodi di indagine classici i metodi di neuroimmagine. Essi si basano su assunzioni dirottamente riconducibili all'approccio localizzazionista: il cervello è scomponibile in strutture neurali indipendenti e isolabili; la mente è scomponibile in funzioni mentali indipendenti e isolabili; ogni funzione mentale è il prodotto dell'attività di una o più strutture neurali; è possibile identificare quali strutture neurali sono attive quando si svolge una funzione mentale. Le macchie colorate che si vedono nella figura 1.12 indicano con precisione, grazie all'applicazione di un metodo di neuroimmagine, quali strutture neurali si sono attivate mentre una certa funzione si sta svolgendo nella mente della persona che partecipa alla ricerca.

Tutti i metodi di indagine per correlare attività cerebrale e attività mentale vanno valutati sulla base di alcuni parametri: risoluzione temporale, risoluzione spaziale, eventuale invasività e costo. Per *risoluzione temporale* si intende la possibilità di attribuire tempi diversi a eventi cerebrali distinti e per *risoluzione spaziale* si intende la possibilità di individuare con precisione la struttura neurale che

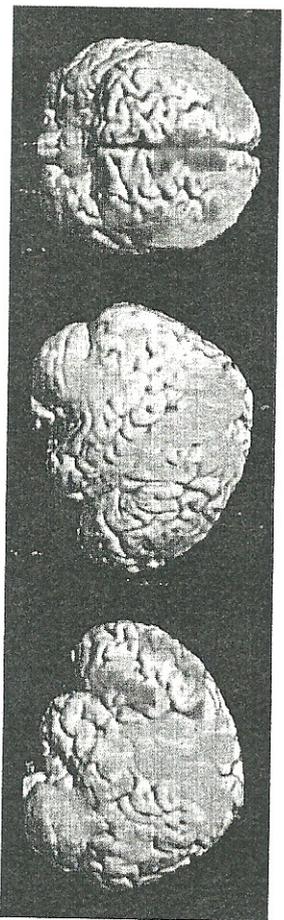


fig. 1.12. Immagini di risonanza magnetica funzionale. Le macchie colorate segnalano le aree corticali che diventano attive in modo selettivo quando il soggetto svolge il compito sperimentale.

Fonte: Baars e Gage (2013).

si è attivata. L'EEG, i potenziali evocati e la MEG posseggono una risoluzione temporale eccezionalmente buona (dell'ordine dei millesimi di secondo), non sono metodi invasivi e costano relativamente poco (fatta eccezione per la MEG). Purtroppo posseggono una risoluzione spaziale insoddisfacente (anche in questo caso la MEG fa, forse, eccezione) e perciò è difficile attribuire con precisione le risposte che si registrano a strutture neurali ben individuate.

La tomografia assiale computerizzata (TAC) e la risonanza magnetica (RM) sono molto note. Si tratta di metodi che forniscono immagini strutturali dell'organo esaminato (il cervello, oppure un altro organo). Informano sull'anatomia di quell'organo e sull'eventuale presenza di lesioni. Nulla dicono sulla funzione. I metodi che invece forniscono informazioni sulla funzione sono soprattutto la tomografia a emissione di positroni (PET, *Positron Emission Tomography*) oppure la risonanza magnetica funzionale (fMRI, *Functional Magnetic Resonance Imaging*) che fornisce dati sia sulla struttura sia sulla funzione.

Sia la PET sia l'fMRI (ma anche gli altri metodi di neuroimmagine, per esempio la spettroscopia a infrarossi: NIRS, *Near Infrared Spectroscopy*) e il tensore di diffusione: DTI, *Diffusion Tensor Imaging*) si basano sulla stima di come si distribuisce il sangue (o l'acqua contenuta nel sangue) nelle varie regioni del cervello, per risalire da qui a quali strutture neurali sono selettivamente attive mentre si stanno svolgendo funzioni mentali note. Il punto di partenza è che tutte le funzioni della mente sono accompagnate o, molto probabilmente, sono prodotte dall'attivazione di aree cerebrali specifiche. Quando una determinata funzione mentale è in atto, le aree cerebrali in essa coinvolte sono attive. Per esempio, se sto eseguendo a mente delle moltiplicazioni di numeri di una cifra, si attiveranno le aree che presiedono al recupero dei fatti aritmetici (i risultati delle moltiplicazioni; le cosiddette «tabelline»). Oltre che le aree cerebrali dalle quali dipende il recupero dei fatti aritmetici, si attiveranno aree che presiedono a funzioni mentali non specificamente coinvolte nella moltiplicazione di numeri di una cifra. Ciò avviene perché l'elaborazione visiva o acustica delle informazioni in ingresso e l'esecuzione di risposte attraverso i muscoli della fonazione sono comuni a moltissimi compiti. In base all'approccio localizzazionista (che mira ad attribuire ciascuna funzione mentale a specifiche aree cerebrali), lo scopo del ricercatore è individuare le aree cerebrali che si attivano *selettivamente* durante lo svolgimento di un compito che richiede l'intervento di funzioni mentali note. Perciò, l'attivazione simultanea di aree cerebrali specificamente coinvolte nel compito sperimentale e di aree cerebrali che si attivano in moltissimi compiti, pone, come vedremo, problemi molto seri per le ricerche basate sulle neuroimmagini.

Le aree cerebrali sono formate da moltissimi neuroni (e da ancora più numerose cellule gliali). I neuroni consumano ossigeno e glucosio in modo proporzionale al loro grado di attività: tanto più elevato è il loro livello di attivazione, tanto più elevato è il loro livello di consumo di ossigeno. L'ossigeno è portato ai neuroni, che lo consumeranno, dal sangue. Il sangue è formato, in grandissima parte, da acqua. Perciò, se si riesce a misurare la quantità di sangue (o di acqua) che in un dato momento irroria le varie aree cerebrali (il *flusso sanguigno cerebrale*

regionale: *regional Cerebral Blood Flow*, rCBF), è anche possibile stabilire il livello di attivazione raggiunto in quel momento da quelle stesse aree. Si ricrea poi, attraverso appositi sensori collocati attorno al capo del soggetto, la concentrazione dell'isotopo nelle varie aree cerebrali che interessano. Una maggiore concentrazione di isotopo segnala un maggior afflusso di sangue, un maggiore afflusso di sangue segnala un maggior consumo di ossigeno e un maggiore consumo di ossigeno segnala una maggiore attivazione dei neuroni in quell'area cerebrale. La PET permette di visualizzare, per mezzo del livello di emissione di raggi gamma, il livello di attivazione, ma non la struttura delle aree cerebrali. Per ottenere insieme una mappa strutturale e una mappa delle attivazioni, cioè una rappresentazione insieme funzionale e anatomica, è necessario combinare l'informazione ottenuta con la TAC o la RM e quella ottenuta con la PET.

La messa in circolo di un isotopo radioattivo per scopi di ricerca non è più considerata ammissibile per ragioni etiche. Si ricorre, perciò, normalmente, alla fMRI, che sfrutta l'acqua presente nel sangue. La fMRI, oltre a essere molto poco strutturale sia funzionale di ciascuna area e di essere molto meno costosa della PET. Il capo del soggetto volontario che partecipa alla ricerca è posto in un intenso campo magnetico. Il campo magnetico provoca l'allineamento degli atomi d'idrogeno delle molecole d'acqua del sangue. Quando sono colpiti da onde radio gli atomi d'idrogeno risonano, cioè emettono in risposta onde radio, in modo proporzionale al loro numero. Un maggior numero di atomi d'idrogeno segnala una maggiore quantità di acqua, una maggiore quantità di acqua segnala un maggiore afflusso di sangue, un maggiore afflusso di sangue segnala una maggiore necessità di ossigeno da parte dei neuroni, una maggiore necessità di ossigeno da parte dei neuroni segnala una loro maggiore attività.

Attualmente la fMRI è la tecnica più usata nelle ricerche che utilizzano le neuroimmagini. Infatti la fMRI, rispetto alla PET, oltre a essere non invasiva e molto meno costosa, ha una migliore risoluzione temporale (circa 1 secondo contro quasi 90 secondi) e una migliore risoluzione spaziale (2 millimetri contro 1 centimetro).

Altre tecniche offrono vantaggi e potrebbero rendere obsoleta la fMRI. Una di queste tecniche, la NIRS, si basa sul fatto che l'assorbimento della luce da parte del sangue è diverso a seconda della proporzione fra emoglobina ossigenata ed emoglobina deossigenata in esso contenuta. Come ho già detto, l'ossigeno, del quale i neuroni (come tutte le altre cellule) hanno bisogno, è portato dal sangue. Per essere trasportato, l'ossigeno si combina con una sostanza contenuta nei globuli rossi del sangue, l'emoglobina. Quando il sangue raggiunge una struttura neurale la sua emoglobina contiene molto ossigeno (nel sangue in ingresso la proporzione di emoglobina ossigenata, rispetto all'emoglobina priva di ossigeno, deossigenata, è alta). L'ossigeno viene poi ceduto ai neuroni in modo proporzionale al loro grado di attività: più elevato è il grado di attività dei neuroni, maggiore è la perdita di ossigeno (nel sangue in uscita, la proporzione di emoglobina ossigenata, rispetto all'emoglobina priva di ossigeno, deossigenata, si abbassa).

In breve, è possibile misurare il grado di attivazione dei neuroni di una struttura cerebrale misurando il rapporto fra emoglobina ossigenata ed emoglobina deossigenata. L'assorbimento della luce è diverso per l'emoglobina ossigenata e per l'emoglobina deossigenata, e su questo assorbimento differenziale della luce si basa la NIRS che confronta la luce in ingresso con quella in uscita da una struttura neurale. È importante ricordare che anche l'fMRI ha potuto migliorare di molto la sua risoluzione temporale per mezzo della registrazione del segnale BOLD (*Blood Oxygenation Level Dependent*), che pure sfrutta la differenza fra emoglobina ossigenata ed emoglobina deossigenata.

Con la DTI è possibile non solo rilevare l'attivazione di strutture neurali (la sostanza grigia del cervello) ma anche l'attivazione dei tratti di fibre (la sostanza bianca del cervello). Sarà, perciò, possibile stabilire come le varie strutture cerebrali comunicano tra loro, si scambiano informazioni per implementare una determinata funzione mentale.

Infine, è necessario menzionare una tecnica che non si basa sulla distribuzione del sangue nel cervello, come tutte quelle che ho presentato sopra (ed anche altre, delle quali non abbiamo parlato perché sono ormai obsolete o poco usate), per le quali è appropriata l'espressione di «tecniche (o metodi) di neuroimaging». Si tratta della stimolazione magnetica transcranica (TMS, *Transcranic Magnetic Stimulation*), che consiste nel produrre, con uno stimolatore a forma di spirale, un campo magnetico localizzato su una porzione delimitata del cuoio capelluto. Il campo magnetico, a sua volta, produce una breve corrente elettrica che percorre rapidamente una struttura cerebrale, la cui identità è determinata dalla posizione dello stimolatore posto sul cuoio capelluto. Se la stimolazione è ripetitiva (per esempio, 20 impulsi al secondo) e dura qualche secondo, il risultato è l'inattivazione temporanea della struttura cerebrale attraversata dalla corrente.

Si produce così un danno cerebrale temporaneo, (molto) approssimativamente equivalente al danno, permanentemente prodotto, per esempio, da un ictus. Rispetto a un ictus, i vantaggi, dal punto di vista della possibilità di acquisire conoscenze sul funzionamento del cervello, sono molti, oltre alla differente durata del danno: l'inattivazione funzionale riguarda una struttura cerebrale scelta dal ricercatore in base a considerazioni teoriche, riguarda un'area cerebrale relativamente ben delimitata, la «lesione» non è stata preceduta da alterazioni patologiche che possono produrre riorganizzazioni funzionali nelle aree cerebrali adiacenti e si verifica in un soggetto giovane e collaborativo, che funge da controllo di sé stesso. La logica che si applica nelle ricerche che utilizzano la TMS è la stessa che si usa nel caso dello studio di pazienti con lesioni cerebrali causate da una patologia. Secondo questa logica, i sintomi che si manifestano a causa della lesione permettono di risalire alla funzione, o alle funzioni, svolte dalla struttura inattivata quando, invece, funziona normalmente. Si noti che la TMS fornisce informazioni complementari a quelle fornite dalle tecniche di neuroimmagine. In generale, le tecniche di neuroimaging ci dicono quali strutture cerebrali sono attive quando un compito viene eseguito; ci dicono quali strutture cerebrali sono coinvolte nell'esecuzione di un compito. I deficit che conseguono all'uso della TMS (o a una lesione causata da una patologia) ci dicono quali di queste strutture cerebrali

coinvolte nell'esecuzione di un compito sono necessarie e quali non lo sono. Se un compito non è più svolto in seguito all'inattivazione di una struttura, allora quella struttura (o, più precisamente, la funzione mentale che da quella struttura dipende) è necessaria allo svolgimento di quel compito. Se il compito viene svolto anche dopo che una struttura è stata inattivata, allora quella struttura non è necessaria allo svolgimento di quel compito.

Percezione

Lo studio dei processi percettivi ha fatto progressi grazie all'azione congiunta del metodo sperimentale e dell'analisi delle basi neurali.

Come spesso accade in psicologia, e talvolta anche nella vita, bisogna accorgersi che ci sono dei problemi per poterli affrontare. La percezione potrebbe apparire al buonsenso una capacità ovvia e scontata. Si tende a chiedere l'aiuto dello psicologo per altre cose: capire le emozioni, il senso delle azioni nostre e altrui, le patologie, e così via.

La percezione sembra non dare particolari problemi. Una lunga tradizione filosofica ha convalidato un punto di vista chiamato «realismo ingenuo». Secondo questa concezione, fuori di noi c'è la realtà. I nostri sensi ce la restituiscono in modo che si possa osservarla, ascoltarla, e così via. La vista e l'udito avrebbero la funzione di una sorta di cinepresa che registra quel che ci circonda.

Se poi ci si riflette un po' su, ci si accorge che noi abbiamo un'altra capacità, e cioè, quella di trattenere le immagini del mondo esterno e di ricombinarle con l'aiuto dell'immaginazione. Se non l'avessimo, non potremmo riconoscere persone e cose incontrate in precedenza.

Già Cartesio aveva, per così dire, inventato una funzione, con un organo fisiologico specifico, che raccoglieva tutte le informazioni provenienti dai sensi e le metteva in un magazzino mentale. Si poteva poi attingere a questa fonte e creare, con l'immaginazione, esseri fantastici, mai visti: ad esempio un uomo con la testa di un leone. Le prime testimonianze di statuette raffiguranti divinità sono proprio esseri immaginari di questo tipo, come il corpo umano con testa di leone risalente a circa 40mila anni fa, trovato nel 1939 nell'odierna Germania.

Mentre i filosofi si sentono in dovere di sistemare le cose, i letterati sono liberi di darci una visione completa e problematica delle nostre capacità. E così William Shakespeare – nella scena I, proprio all'inizio dell'atto V del *Sogno di una notte di mezza estate* – fa dire a Teseo, duca d'Atene: