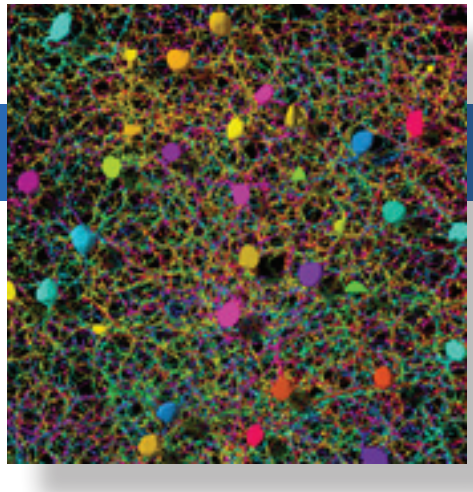
CAPITOLO 1



Neuroscienze: passato, presente e futuro

INTRODUZIONE

LE ORIGINI DELLE NEUROSCIENZE

- La concezione del cervello nell'antica Grecia
- La concezione del cervello durante l'Impero Romano
- La concezione del cervello dal Rinascimento al diciannovesimo secolo
- La concezione del cervello nel diciannovesimo secolo
  - *I nervi come fili*
  - *La localizzazione di funzioni specifiche in differenti regioni del cervello*
  - *L'evoluzione del sistema nervoso*
  - *Il neurone: l'unità funzionale fondamentale del cervello*

LE NEUROSCIENZE OGGI

- I livelli di analisi
  - *Le neuroscienze molecolari*
  - *Le neuroscienze cellulari*
  - *Le neuroscienze dei sistemi*
  - *Le neuroscienze comportamentali*
  - *Le neuroscienze cognitive*
- I neuroscienziati
- Il metodo scientifico
  - *L'osservazione*
  - *La replicazione*
  - *L'interpretazione*
  - *La verifica*
- L'impiego di animali nella ricerca neuroscientifica
  - *Gli animali*
  - *La tutela degli animali*
  - *I diritti degli animali*
- Il prezzo dell'ignoranza: i disturbi del sistema nervoso

CONCLUSIONI

Copia Segnata in Visione a Marcello Borghesi - 2021 - EUR 5.1.8

INTRODUZIONE

Gli uomini dovrebbero sapere che da nient'altro, se non dal cervello, derivano la gioia, i piaceri, il riso e gli sport, i dispiaceri e i dolori, l'angoscia, lo sconforto e il lamento. Ed è mediante il cervello, soprattutto, che noi acquisiamo saggezza e conoscenza, e che possiamo vedere e sentire e riconoscere ciò che è illecito e ciò che è giusto, ciò che è cattivo e ciò che è buono, quello che è dolce e quello che è insipido... Ed è sempre a causa dello stesso organo che noi diventiamo pazzi e deliranti, e che ci viene paura e ci assale il panico... Tutte queste cose dobbiamo sopportare da parte del nostro cervello quando questo non è in salute... In questo senso, sono del parere che sia il cervello a esercitare sull'uomo il più grande potere.

Ippocrate, *Sul male sacro* (IV secolo a.C.)

È propria della natura umana la curiosità sul modo in cui vediamo e sentiamo; sul perché alcune cose sembrano buone e altre cattive; su come ci comportiamo, come ragioniamo, impariamo, ricordiamo e dimentichiamo, sulla natura dell'ira e della pazzia. La ricerca neuroscientifica sta svelando questi misteri e le conclusioni a cui è giunta sono il tema di questo libro.

La parola "neuroscienze" è di recente origine. Lo studio del cervello, tuttavia, è antico quanto la scienza stessa. Storicamente, gli scienziati che si sono dedicati alla comprensione del sistema nervoso provenivano da diverse discipline: medicina, biologia, psicologia, fisica, chimica, matematica. La rivoluzione delle neuroscienze avvenne quando questi scienziati si resero conto che il modo migliore per tentare di capire come lavorava il cervello derivava da un approccio interdisciplinare, una combinazione di metodiche tradizionali per ottenere una nuova sintesi, una nuova prospettiva. Oggi le persone coinvolte in un'indagine scientifica sul sistema nervoso considerano se stessi neuroscienziati. Pertanto, mentre il corso che il lettore di questo libro sta frequentando presso l'università potrebbe essere organizzato sia dal dipartimento di psicologia sia da quello di biologia, è certo che il docente è un neuroscienziato.

Lontano dall'essere eccessivamente specialistico, il campo delle neuroscienze è così vasto da comprendere quasi tutta la scienza naturale, ponendo il sistema nervoso come punto focale comune. La comprensione dei modi in cui lavora il cervello richiede la conoscenza di molte nozioni, dalla struttura della molecola dell'acqua alle proprietà elettriche e chimiche del cervello, al sapere perché il suono di un campanello induceva la salivazione nel cane di Pavlov. In questo libro esploreremo il cervello secondo questa ampia prospettiva.

Inizieremo l'avventura con un breve viaggio attraverso le neuroscienze. Che cosa hanno pensato gli scienziati del cervello nelle varie epoche? Chi sono i neuroscienziati oggi, e in che modo si avvicinano allo studio del cervello?

LE ORIGINI DELLE NEUROSCIENZE

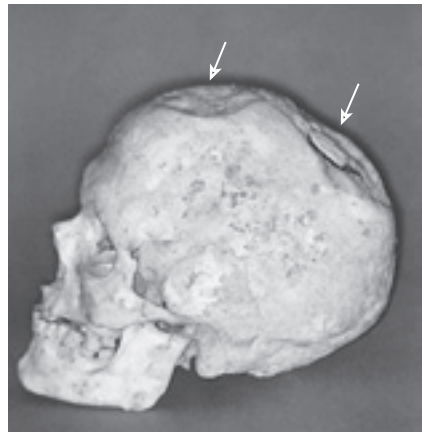
È noto che il sistema nervoso – il cervello, il midollo spinale, i nervi del corpo – riveste un'importanza cruciale per la vita e ci permette di sentire, muoverci, pensare. Come si è arrivati a questa considerazione?

Alcune testimonianze suggeriscono che persino i nostri antenati preistorici si resero conto che il cervello è "cruciale" per la vita. I documenti archeologici abbondano di testimonianze di teschi di ominidi, risalenti a un milione e più di anni fa, recanti segni di lesioni craniche fatali, presumibilmente inflitte da altri ominidi. All'incirca 7000 anni fa, quegli uomini erano in grado di praticare dei fori nei crani di altri uomini (un procedimento chia-

Copia saggio in visione a Marika Berchicci - © 2020 Edra s.p.a.

mato trapanazione), evidentemente non con l'intento di uccidere, ma per curare (Figura 1.1). Il cranio mostra segni di guarigione dopo l'operazione, a indicare che la procedura veniva eseguita sui soggetti vivi e non si trattava di un mero rituale condotto dopo la morte. Alcuni individui sopravvivevano, almeno così sembra, a più d'una operazione cranica. Che cosa sperassero di compiere quei primi chirurghi non è chiaro, benché alcuni abbiano avanzato l'ipotesi che questa procedura fosse stata adottata per il trattamento del mal di testa o dei disturbi mentali, forse per fornire una via di fuga agli spiriti del male.

Scritti dei medici dell'antico Egitto, datati almeno 5000 anni fa, sono indicativi di come già fossero ben a conoscenza dei molti sintomi di un danno cerebrale. In ogni modo, è anche accertato che il cuore, e non il cervello, era ritenuto la sede dell'anima e della memoria. Anzi, mentre il resto del corpo era attentamente preservato per la vita dopo la morte, il cranio di un defunto veniva svuotato del cervello attraverso le narici e il cervello era poi gettato via! La convinzione che il cuore fosse la sede della coscienza e del pensiero non fu sostanzialmente modificata fino al tempo di Ippocrate.



▲ FIGURA 1.1
Testimonianza di un'operazione chirurgica preistorica eseguita sul cervello. Questo cranio umano, risalente a più di 7000 anni fa, venne aperto chirurgicamente quando il soggetto era ancora vivo. Le frecce indicano i siti di trapanazione. (Fonte: Alt et al., 1997, Fig. 1a.)

La concezione del cervello nell'antica Grecia

Si consideri l'assunto secondo il quale le varie parti del nostro corpo sono diverse perché svolgono funzioni differenti. Le strutture del piede e della mano sono molto dissimili e, infatti, esse sono predisposte a funzioni diverse: noi camminiamo grazie ai nostri piedi e manipoliamo gli oggetti per mezzo delle nostre mani. Quindi, esiste una chiara *correlazione tra struttura e funzione.* Differenze nell'aspetto sono il riflesso di diversità funzionali.

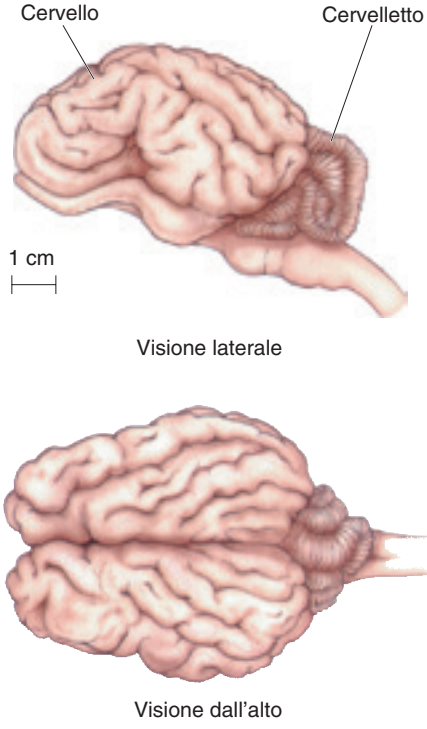
Che cosa possiamo dedurre circa la funzione del corpo dalla sua struttura? Una rapida indagine e pochi semplici esperimenti (come chiudere gli occhi) rivelano che la testa è specializzata nella percezione dell'ambiente attraverso gli occhi e le orecchie, il naso e la bocca. Anche una dissezione condotta in modo sommario mostra come sia possibile seguire il percorso dei nervi da questi organi al cranio fin dentro il cervello. Che cosa si potrebbe concludere circa il cervello da queste osservazioni?

Se la risposta è che il cervello rappresenta l'organo della percezione, ebbene, questa è la stessa conclusione a cui pervennero diversi studiosi greci del quarto secolo a.C. Il più influente fu Ippocrate (460-379 a.C.), il padre della medicina occidentale, che enunciò la sua convinzione che il cervello non fosse solo coinvolto nella sensazione, ma rappresentasse anche la sede dell'intelligenza.

Comunque, questa visione non fu accettata da tutti. Il filosofo greco Aristotele (384-322 a.C.) aderì alla credenza che fosse il cuore il centro dell'intelletto. Quale funzione riservava Aristotele al cervello? Egli propose che esso servisse per il raffreddamento del sangue surriscaldato dal cuore in ebollizione. Il temperamento razionale proprio degli uomini, quindi, veniva spiegato mediante la grande capacità di refrigerazione del cervello.

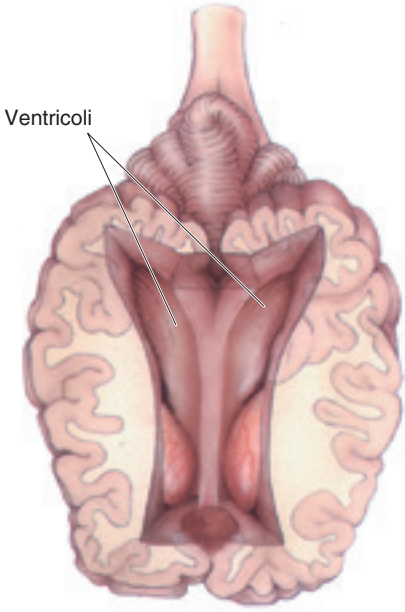
La concezione del cervello durante l'Impero Romano

La figura più importante all'interno della medicina romana fu il medico e scrittore greco Galeno (130-200 d.C.), il quale abbracciò la concezione ippocratica della funzione del cervello. In quanto medico dei gladiatori, egli dovette essere testimone delle sfortunate conseguenze di lesioni spinali e cerebrali. In ogni caso, le opinioni di Galeno sul cervello furono probabilmente influenzate più che altro dalle sue accurate dissezioni di animali. La Figura 1.2 è uno schizzo che rappresenta l'encefalo di pecora, uno dei soggetti prediletti da Galeno. Sono evidenti due porzioni di dimensioni maggiori: il *cervello* anteriormente e il *cervelletto* posteriormente. (La struttura dell'encefalo è il



▲ FIGURA 1.2
Encefalo di una pecora. Da notare la localizzazione e l'aspetto del cervello e del cervelletto.

Copia saggio in visione a Marika Berchicci - © 2020 Edra s.p.a.



▲ FIGURA 1.3
Encefalo di pecora sezionato in modo da mostrare i ventricoli.

tema affrontato nel Capitolo 7.) Proprio come noi saremmo capaci di desumere la funzione di mani e piedi a partire dalla loro costituzione, Galeno cercò di dedurre la funzione di encefalo e cervelletto dalla loro struttura. Conficcando un dito in un cervello dissezionato di recente, si rileva come il cervelletto abbia una consistenza piuttosto solida, mentre l'encefalo sia più tenero. Data quest'osservazione, Galeno suggerì che l'encefalo dovesse essere il recipiente delle sensazioni e che il cervelletto dovesse comandare i muscoli. Perché propose questa distinzione? Egli si rese conto che, per costituire la memoria, le sensazioni devono essere state impresse nel cervello. Naturalmente questo doveva avvenire nella porzione morbida del cervello: l'encefalo.

Per quanto improbabili come ragionamento, le deduzioni di Galeno non erano lontane dall'essere verosimili.

L'encefalo, infatti, si occupa principalmente della sensazione e della percezione, mentre il cervelletto è primariamente il centro di controllo del movimento. Inoltre, l'encefalo è il magazzino della memoria. Vedremo che questo non è l'unico esempio nella storia delle neuroscienze in cui conclusioni esatte in linea di principio sono state raggiunte attraverso presupposti sbagliati.

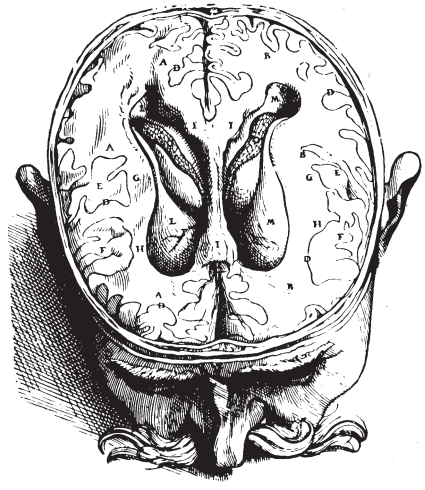
Come fa il cervello a ricevere sensazioni e a muovere gli arti? Galeno aprì il cervello e trovò che era cavo (Figura 1.3).

In questi spazi cavi, chiamati *ventricoli* (come le cavità, simili, del cuore), c'era un fluido. Per Galeno, questa scoperta concordava perfettamente con la teoria, allora dominante, che il corpo funzionava in accordo a un bilanciamento tra i quattro fluidi vitali, o umori.

Le sensazioni venivano registrate e i movimenti avviati a partire dallo spostamento degli umori da o verso i ventricoli del cervello attraverso i nervi, che si riteneva fossero tubi vuoti, come i vasi sanguigni.

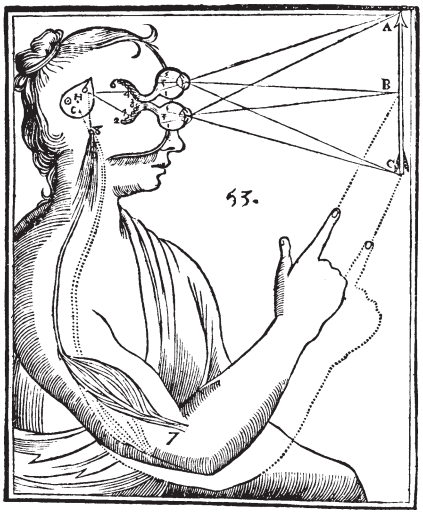
La concezione del cervello dal Rinascimento al diciannovesimo secolo

La visione del cervello di Galeno prevalse per almeno 1500 anni. Un maggior numero di dettagli venne aggiunto alla struttura del cervello dal grande anatomista Andrea Vesalio (1514-1564) durante il Rinascimento (Figura 1.4). Tuttavia, la teoria ventricolare sulla funzione del cervello rimase essenzialmente inalterata. Anzi, l'intero concetto venne rafforzato agli inizi del diciassettesimo secolo, quando degli inventori francesi iniziarono a sviluppare congegni meccanici controllati idraulicamente. Questi congegni avvalorarono la nozione che il cervello fosse simile a una macchina nelle sue funzioni: sembrava possibile che i fluidi spinti fuori dai ventricoli attraverso



▶ FIGURA 1.4
Ventricoli cerebrali umani in un disegno del Rinascimento. Questo schizzo è tratto dal *De humani corporis fabrica* di Andrea Vesalio (1543). Il soggetto era probabilmente un criminale che venne decapitato. Una notevole attenzione è stata posta nel disegnare i ventricoli in modo anatomicamente corretto. (Fonte: Finger, 1994, Fig. 2.8.)

Copia saggio in visione a Marika Berchicci - © 2020 Edra s.p.a.



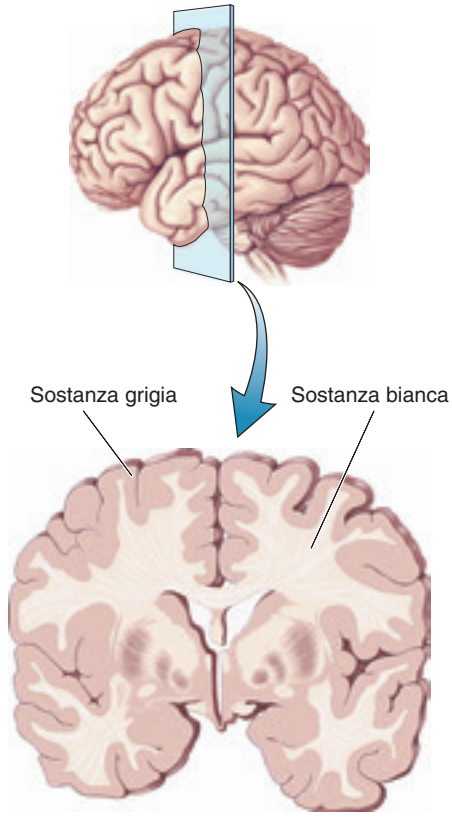
◀ FIGURA 1.5
Il cervello secondo Cartesio. Questo disegno comparve nel 1662 in una pubblicazione di Cartesio, il quale pensava che nervi cavi all'interno proiettassero dagli occhi verso i ventricoli cerebrali. La mente influenza la risposta motoria esercitando un controllo sull'epifisi o ghiandola pineale (H), che opera come una valvola per dirigere i movimenti degli spiriti animali attraverso i nervi che fanno gonfiare i muscoli. (Fonte: Finger, 1994, Fig. 2.16.)

i nervi fossero letteralmente "pompati", inducendo il movimento degli arti. Dopo tutto, i muscoli non si gonfiano quando vengono contratti?

Uno dei principali sostenitori di questa teoria fluido-meccanica per spiegare la funzione del cervello fu il filosofo e matematico francese Cartesio (1596-1650). Comunque, mentre egli credeva che questa teoria potesse offrire una spiegazione del cervello e del comportamento animale, non poteva neppure supporre che rendesse conto di tutto l'insieme dei comportamenti *umani*. Egli riteneva che, diversamente dagli altri animali, gli uomini possedessero un intelletto e un'anima donati da Dio. Pertanto, Cartesio propose che i meccanismi del cervello controllassero solo le componenti del comportamento umano che più rassomigliavano a quelle degli animali. Le capacità mentali unicamente umane esistevano all'esterno del cervello, nella "mente". Cartesio era convinto che la mente fosse un'entità spirituale che riceveva sensazioni e comandava i movimenti mediante la comunicazione con la macchina-cervello attraverso l'epifisi (ghiandola pineale) (Figura 1.5). Ancora ai giorni nostri c'è chi ritiene che esista un "dilemma mente-cervello" e che, in un modo o nell'altro, la mente umana sia qualcosa di distinto dal cervello. Diversamente, come vedremo nella Parte III, la moderna ricerca neuroscientifica avvalora un'altra conclusione: la mente gode di una base fisica, che è il cervello.

Per fortuna, durante il diciassettesimo e diciottesimo secolo altri scienziati si discostarono dalla visione di Galeno che faceva convergere le funzioni cerebrali sui ventricoli e iniziarono a esaminare la sostanza cerebrale più da vicino. Essi osservarono, per esempio, che il tessuto cerebrale era suddiviso in due parti: la *sostanza grigia* e la *sostanza bianca* (Figura 1.6). Che relazione tra struttura e funzione proposero? Essendo continua con i nervi del corpo, si dedusse correttamente che la sostanza bianca conteneva le fibre che convogliavano informazioni alla e dalla sostanza grigia.

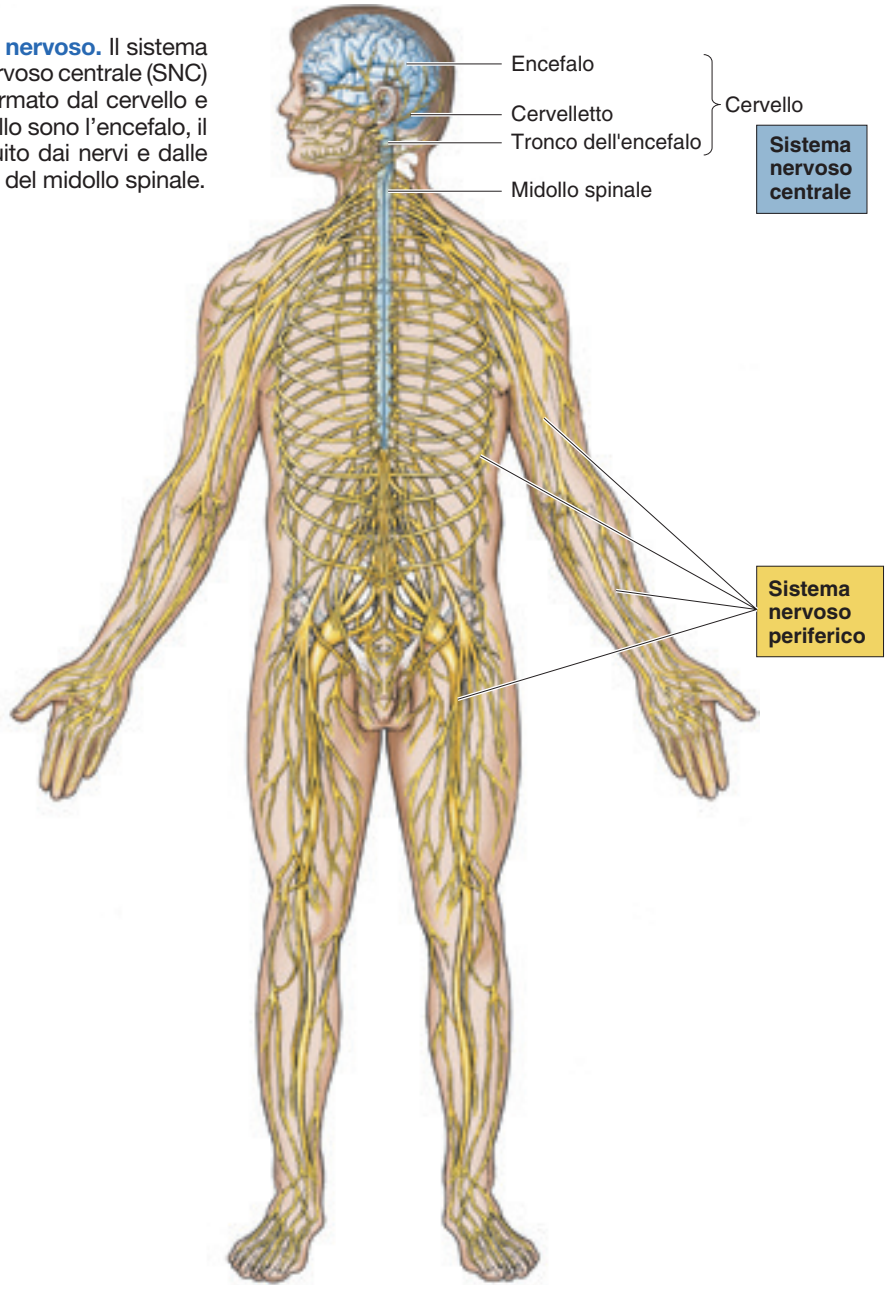
Entro la fine del diciottesimo secolo il sistema nervoso era stato dissezionato completamente e la sua anatomia macroscopica era stata descritta in dettaglio. Gli scienziati avevano riconosciuto che il sistema nervoso ha una porzione centrale, comprensiva del cervello e del midollo spinale, e una porzione periferica, formata dalla rete di nervi che decorrono attraverso il corpo (Figura 1.7). Un progresso importante in neuroanatomia è stata l'osservazione che, per qualsiasi individuo, poteva essere identificata la stessa distribuzione generale di protuberanze (dette *giri*) e avvallamenti (detti *solchi* e *fessure*) sulla superficie del cervello (Figura 1.8). Questa distribuzione, che introduceva una ripartizione del cervello in *lobi*, era la base

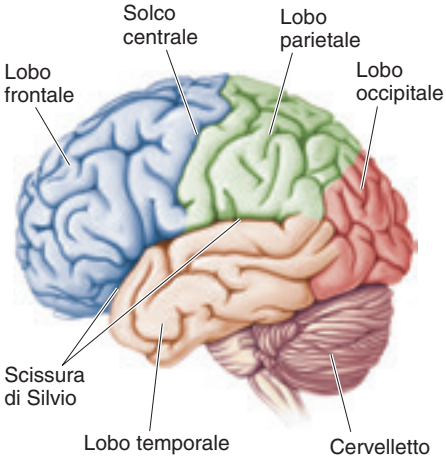


▲ FIGURA 1.6
Sostanza bianca e sostanza grigia. Un cervello umano è stato sezionato per mostrare questi due tipi di tessuti.

Copia saggio in visione a Marika Berchicci - © 2020 Edra s.p.a.

▶ FIGURA 1.7
Principali suddivisioni anatomiche del sistema nervoso. Il sistema nervoso è composto da due porzioni: il sistema nervoso centrale (SNC) e il sistema nervoso periferico (SNP). Il SNC è formato dal cervello e dal midollo spinale. Le tre parti principali del cervello sono l'encefalo, il cervelletto e il tronco encefalico. Il SNP è costituito dai nervi e dalle cellule nervose localizzate al di fuori del cervello e del midollo spinale.





▲ FIGURA 1.8
I lobi dell'encefalo. Da notare la profonda scissura di Silvio (o scissura silviana) che divide il lobo frontale da quello temporale, e il solco centrale che separa il lobo frontale da quello parietale. Il lobo occipitale si trova nella parte posteriore del cervello. Queste caratteristiche si possono ritrovare in tutti i cervelli umani.

per l'ipotesi secondo cui differenti funzioni potevano essere localizzate su diverse prominenze del cervello. Il campo era ora spianato per l'era della localizzazione cerebrale.

La concezione del cervello nel diciannovesimo secolo

Forniamo qui un riassunto dello stato di conoscenze del sistema nervoso alla fine del diciannovesimo secolo:

- lesioni al cervello possono sovvertire le sensazioni, i movimenti e il pensiero e causare la morte;
- il cervello comunica con il corpo attraverso i nervi;
- il cervello è costituito da diverse parti ben identificabili che, probabilmente, presiedono a funzioni differenti;
- il cervello opera come una macchina e segue le leggi della natura.

Copia saggio in visione a Marika Berchicci - © 2020 Edra s.p.a.

Durante i successivi cento anni si sarebbero apprese molte più cose sulla funzione del cervello di quante se ne fossero imparate nel corso della storia precedente. Questo lavoro fornì un solido fondamento su cui poggiano le moderne neuroscienze. Di seguito analizzeremo quattro concetti chiave maturati durante il diciannovesimo secolo.

I nervi come fili. Nel 1751 Benjamin Franklin pubblicò un trattato intitolato *Experiments and Observations on Electricity* (*Esperimenti e osservazioni sull'elettricità*), che annunciava un nuovo fenomeno elettrico sino ad allora incompreso. Sul volgere del secolo, lo scienziato italiano Luigi Galvani e il biologo tedesco Emilio du Bois-Reymond dimostrarono che i muscoli possono essere indotti a contrarsi in modo involontario quando i nervi vengono stimolati elettricamente, e che il cervello stesso è capace di generare elettricità. Questa scoperta rimpiazzò finalmente la concezione che i nervi comunicassero con il corpo mediante il movimento di fluidi. Il nuovo concetto era che i nervi fossero "fili" che conducevano segnali elettrici al e dal cervello.

Rimase irrisolta la questione riguardante la possibilità che i muscoli che determinavano il movimento potessero impiegare le stesse fibre che registravano le sensazioni provenienti dalla pelle. L'ipotesi di una comunicazione bidirezionale lungo gli stessi fili fu suggerita dall'osservazione che quando un nervo del corpo è reciso si verifica di solito una perdita sia della sensibilità sia della capacità di movimento nella regione danneggiata. In ogni caso, si sapeva già allora che all'interno di ogni nervo del corpo esistevano numerosi filamenti sottili, o *fibre nervose*, ognuna delle quali avrebbe potuto funzionare come un distinto filo conduttore per veicolare informazioni in diverse direzioni.

Questo problema fu risolto intorno al 1810 dal fisico scozzese Charles Bell e dal fisiologo francese François Magendie. Un aspetto anatomico curioso è che, esattamente subito prima che i nervi entrino nel midollo spinale, le fibre si dividono in due branche o radici. La radice dorsale entra attraverso la porzione posteriore del midollo spinale, mentre la radice ventrale entra da quella anteriore (Figura 1.9). Bell testò la possibilità che le due radici

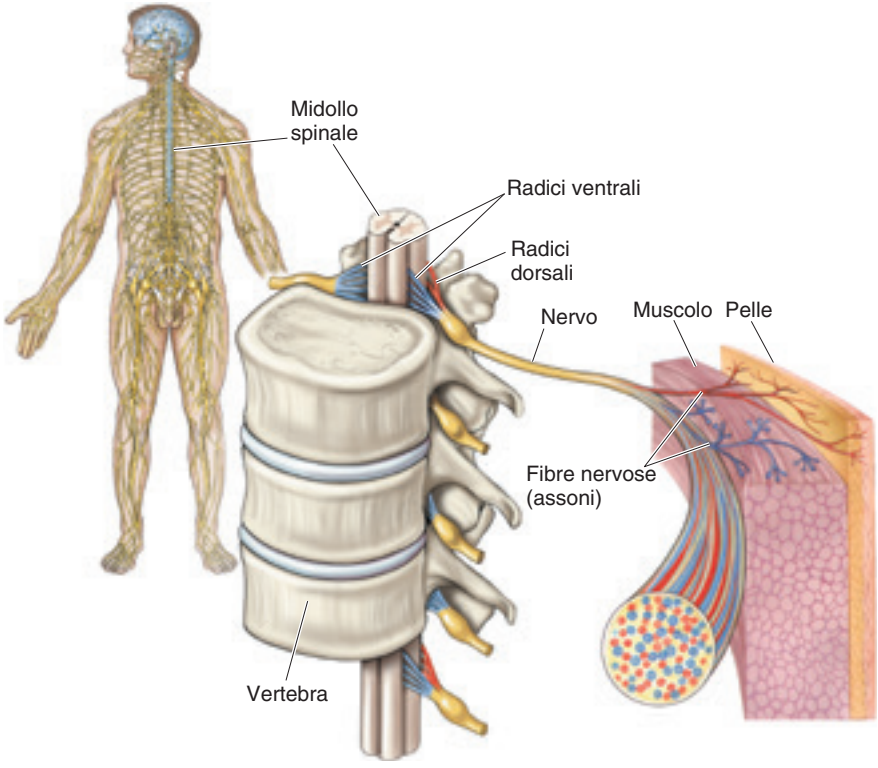


FIGURA 1.9
Nervi spinali e radici dei nervi spinali. Trentuno paia di nervi si dipartono dal midollo spinale per raggiungere la cute e i muscoli. La recisione di un nervo spinale comporta la perdita di sensibilità e della capacità di movimento nella regione del corpo coinvolta. Le fibre sensitive in entrata (*rosso*) e le fibre motorie in uscita (*blu*) si dividono in due radici spinali nel punto di connessione con il midollo spinale. Bell e Magendie scoprirono che le radici ventrali contengono solamente fibre motorie, mentre le radici dorsali contengono soltanto fibre sensitive.

Copia saggio in visione a Marika Berchicci - © 2020 Edra s.p.a.

spinali portassero informazioni differenti tagliando ogni radice separatamente e osservando le conseguenze negli animali di laboratorio. Egli trovò che solo la recisione delle radici ventrali causava una paralisi muscolare. Successivamente, Magendie fu in grado di dimostrare che le radici dorsali veicolavano informazioni sensitive al midollo spinale. Bell e Magendie conclusero che, all'interno di ogni nervo, esisteva una mescolanza di molti fili, alcuni dei quali conducevano informazioni al cervello e al midollo spinale, mentre altri inviavano informazioni verso i muscoli. In ogni fibra nervosa sensitiva e motoria la trasmissione è rigidamente unidirezionale. I due tipi di fibre sono riuniti insieme in un fascio per la maggior parte della loro lunghezza, ma si separano anatomicamente quando entrano o escono dal midollo spinale.

▲ FIGURA 1.10
Una mappa frenologica. Secondo Gall e i suoi seguaci, i diversi tratti comportamentali potevano essere messi in relazione con le dimensioni delle differenti parti del cranio. (Fonte: Clarke e O'Malley, 1968, Fig. 118.)

La localizzazione di funzioni specifiche in differenti regioni del cervello. Se funzioni differenti sono localizzate entro radici spinali diverse, allora forse è anche vero che differenti funzioni sono localizzate in differenti regioni del cervello. Nel 1811 Bell propose che l'origine delle fibre motorie fosse il cervelletto e la destinazione delle fibre sensitive fosse il cervello.

Come si potrebbe verificare quest'ipotesi? Un modo potrebbe essere di usare lo stesso approccio che Bell e Magendie avevano impiegato per identificare le funzioni del midollo spinale: distruggere quelle regioni del cervello e testare i deficit sensitivi e motori. Questo approccio, che richiedeva la sistematica distruzione delle regioni del cervello per determinarne la funzione, è detto *metodo di ablazione sperimentale*. Nel 1823 lo stimato fisiologo francese Marie-Jean-Pierre Flourens applicò questo metodo su una grande varietà di animali (in particolare uccelli) per dimostrare che il cervelletto era davvero coinvolto nella coordinazione del movimento. Egli giunse anche alla conclusione che il cervello fosse coinvolto nella sensazione e nella percezione, come Bell e Galeno avevano suggerito prima di lui. Diversamente dai suoi predecessori, comunque, Flourens fornì un solido sostegno sperimentale alle sue conclusioni.

E che dire a proposito di tutte quelle protuberanze sulla superficie del cervello? Anch'esse presiedevano a funzioni differenti? Quest'idea affascinò un giovane studente di medicina austriaco, Franz Joseph Gall. Convinto che le protuberanze sulla superficie del cranio riflettessero rigonfiamenti sulla superficie del cervello, nel 1809 Gall propose che la propensione per certi tratti della personalità – come la generosità, la riservatezza e la mania distruttiva – potesse essere correlata alle dimensioni della testa (Figura 1.10). Per avvalorare quest'ipotesi, Gall e i suoi seguaci raccolsero e misurarono con precisione i crani di centinaia di persone rappresentative dell'esteso corollario dei tipi di personalità esistenti, che andava da quello di grande talento a quello pazzo e criminale. Questa nuova "scienza", che metteva in relazione la struttura della testa con i tratti della personalità venne chiamata *frenologia*. Benché gli assunti dei frenologi non fossero mai stati presi seriamente in considerazione dalla corrente scientifica principale, essi catturarono l'immaginazione popolare del tempo. Infatti, di un libro di testo sulla frenologia edito nel 1827 furono vendute più di 100.000 copie.

▲ FIGURA 1.11
Paul Broca (1824-1880). Da attenti studi compiuti sul cervello di un uomo che aveva perso la facoltà di parlare in seguito a una lesione cerebrale (vedi Figura 1.12), Broca si convinse che funzioni differenti potevano essere localizzate in parti diverse del cervello. (Fonte: Clarke e O'Malley, 1968, Fig. 121.)

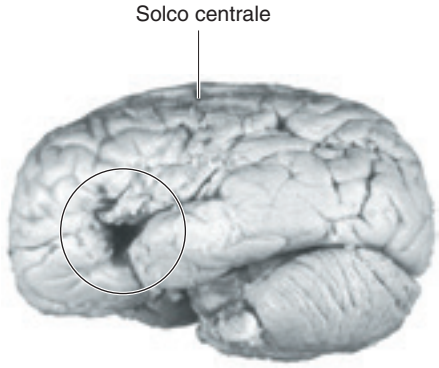
Uno dei più accaniti critici della frenologia fu Flourens, lo stesso scienziato che aveva dimostrato sperimentalmente che diverse regioni del cervello presiedono a funzioni differenti. I suoi motivi di critica erano solidi. In primo luogo, la forma del cranio non è in relazione con la forma del cervello. Per di più, Flourens dimostrò, tramite selettive ablazioni sperimentali, come particolari tratti della personalità non fossero limitati alle porzioni del cervello indicate dalla frenologia. Flourens sostenne anche che tutte le regioni del cervello partecipavano equamente a tutte le funzioni cerebrali, conclusione questa che più tardi si dimostrò errata.

Copia saggio in visione a Marika Berchicci - © 2020 Edra s.p.a.

La persona a cui si attribuisce tradizionalmente il ribaltamento dei parametri dell'opinione scientifica verso la localizzazione delle funzioni nel cervello è il neurologo francese Paul Broca (Figura 1.11). A Broca venne presentato un paziente che era in grado di comprendere il linguaggio ma non riusciva a parlare. Dopo la morte dell'uomo, nel 1861, Broca esaminò attentamente il suo cervello e trovò una lesione nel lobo frontale sinistro (Figura 1.12). Basandosi su questo caso e su diversi altri casi simili a questo, Broca concluse che questa regione del cervello umano fosse specificamente responsabile della produzione del linguaggio parlato.

Rapidamente seguirono degli esperimenti eseguiti su animali che offrirono un solido supporto sperimentale alla localizzazione cerebrale. I fisiologi tedeschi Gustav Fritsch ed Eduard Hitzig, nel 1870, dimostrarono che l'applicazione di piccole correnti elettriche alla superficie esterna del cervello di un cane poteva sollecitare dei singoli movimenti. Il neurologo scozzese David Ferrier ripeté questi esperimenti sulle scimmie e, nel 1881, dimostrò che la rimozione della stessa regione del cervello causava la paralisi dei muscoli. Analogamente, il fisiologo tedesco Hermann Munk, utilizzando l'ablazione sperimentale, provò che il lobo occipitale del cervello era specificamente necessario per la visione.

Come si vedrà nella Parte II di questo libro, noi oggi sappiamo che nel cervello esiste una suddivisione dei compiti molto chiara, per cui aree differenti presiedono a funzioni differenti. Le attuali mappe delle divisioni funzionali del cervello sono in competizione anche con le più elaborate tra quelle delineate dai frenologi. La grande differenza consiste nel fatto che, diversamente dai frenologi, gli scienziati odierni necessitano di una solida evidenza sperimentale prima di attribuire una funzione specifica a una porzione del cervello. Comunque, sembra che Gall abbia avuto, almeno in parte, la giusta intuizione. Viene naturale chiedersi perché Flourens, il pioniere della localizzazione delle funzioni cerebrali, abbia commesso l'errore di credere che il cervello agisse come un tutt'uno e non potesse essere suddiviso. Questo sperimentatore così ricco di ingegno può aver mancato di riconoscere la localizzazione cerebrale per diversi motivi, ma è evidente che uno di questi consisteva nella sua viscerale opposizione a Gall e alla frenologia. Flourens non poteva assolutamente essere d'accordo con Gall che, ai suoi occhi, era un folle. Questo ci ricorda che la scienza, nella buona e nella cattiva sorte, era ed è soggetta sia alle qualità sia alle debolezze della natura umana.



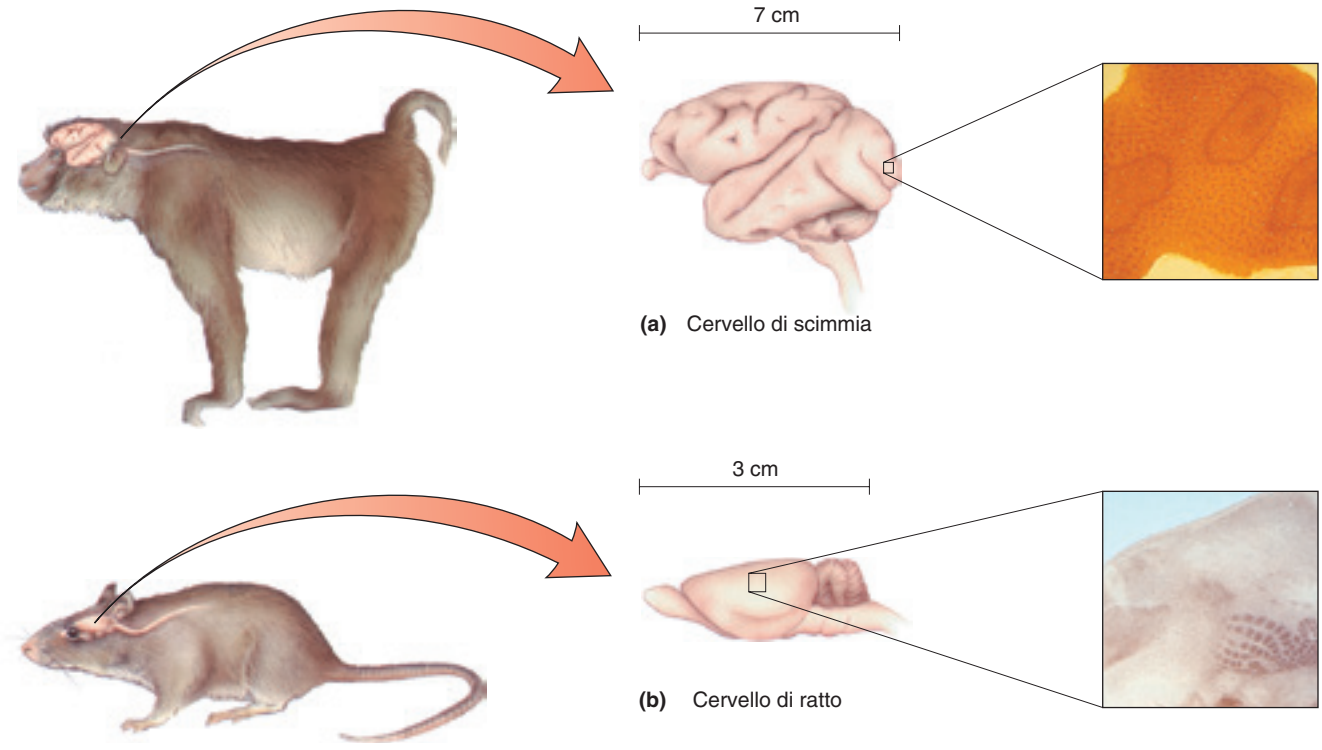
▲ FIGURA 1.12
Il cervello che convinse Broca della localizzazione delle funzioni cerebrali. Questo è il cervello conservato del paziente che aveva perso la capacità di parlare, prima di morire nel 1861. Nel cerchio è evidenziata l'area lesa responsabile del danno. (Fonte: Corsi, 1991, Fig. III, 4.)

L'evoluzione del sistema nervoso. Nel 1859, il biologo inglese Charles Darwin (Figura 1.13) pubblicò *On the Origins of Species* (*L'origine delle specie*). In quest'opera fondamentale egli articolò la teoria dell'evoluzione, secondo cui le specie dei vari organismi si sono evolute da un antenato comune. Secondo la sua teoria, le differenze tra le specie nascono da un processo che Darwin denominò *selezione naturale.* Come risultato dei meccanismi di riproduzione, i tratti fisici della prole risultano talvolta diversi da quelli dei genitori. Se questi tratti rappresentano un vantaggio per la sopravvivenza, sarà più probabile che la prole stessa riesca a sopravvivere e a riprodursi, aumentando così la probabilità che i tratti vantaggiosi vengano trasmessi alla generazione successiva. Nel corso di molte generazioni, questo processo ha condotto allo sviluppo delle caratteristiche che distinguono le specie attuali: le pinne nelle foche, le zampe nei cani, le mani nei procioni e così via. Questa semplice intuizione rivoluzionò la biologia. Al giorno d'oggi, l'evidenza scientifica che si estende dall'archeologia alla genetica molecolare conferma in modo schiacciante la teoria dell'evoluzione attraverso la selezione naturale.

Darwin incluse il comportamento tra le caratteristiche ereditabili suscettibili di evoluzione. Per esempio, egli notò che molte specie di mammiferi mostrano la stessa reazione quando sono spaventati: le pupille si dilatano,

▲ FIGURA 1.13
Charles Darwin (1809-1882). Darwin propose la sua teoria dell'evoluzione, spiegando in che modo le specie si evolvono secondo il processo della selezione naturale. (Fonte: The Bettman Archive.)

Copia saggio in visione a Marika Berchicci - © 2020 Edra s.p.a.



▲ FIGURA 1.14
Specializzazioni cerebrali differenti nella scimmia e nel ratto. **(a)** Il cervello del macaco ha il senso della vista altamente evoluto. La regione ingrandita riceve informazioni dagli occhi. Se questa regione viene sezionata e colorata per evidenziarne il tessuto metabolicamente attivo, viene alla luce un mosaico di "blob". I neuroni dei blob sono altamente specializzati nell'analisi del colore. **(b)** Il cervello del ratto ha il senso del tatto altamente evoluto, localizzato nel muso. La regione ingrandita riceve informazioni dalle vibrisse. Se questa regione viene sezionata e colorata per evidenziarne i neuroni, viene alla luce un mosaico di cilindri. Ciascun cilindro è specializzato nella ricezione di informazioni da una singola vibrissa del muso del ratto. (Microfotografie gentilmente concesse dal dottor S.H.C. Hendry.)

il battito cardiaco accelera, i peli si rizzano. Questo accade tanto per gli uomini quanto per i cani. Secondo Darwin, le somiglianze tra questi modelli di risposta indicano che queste specie differenti si sono evolute da un antenato comune che possedeva lo stesso tratto comportamentale (presumibilmente vantaggioso, in quanto facilitava la fuga dai predatori). Dal momento che il comportamento riflette l'attività del sistema nervoso, possiamo inferire che i meccanismi cerebrali che sono alla base di questa reazione di paura appaiono simili, se non identici, in tutte queste specie.

L'ipotesi che il sistema nervoso di specie diverse si sia evoluto da progenitori comuni e possa avere simili meccanismi di funzionamento è il fondamento logico necessario per correlare agli esseri umani gli esperimenti condotti sugli animali. In effetti, giusto per citare un esempio, numerosi particolari sulla conduzione di uno stimolo elettrico lungo le fibre nervose vennero compresi inizialmente nel calamaro, ma oggi sappiamo che essi possono essere parimenti applicati agli esseri umani. Attualmente la maggior parte dei neuroscienziati impiega *modelli animali* per cercare di comprendere i processi nell'uomo. I roditori, per esempio, mostrano chiari segni di dipendenza se viene data loro la possibilità di assumere ripetutamente cocaina. Di conseguenza, i roditori sono modelli animali preziosi per la ricerca incentrata sulla comprensione del modo in cui i farmaci psicoattivi esercitano il loro controllo sul sistema nervoso.

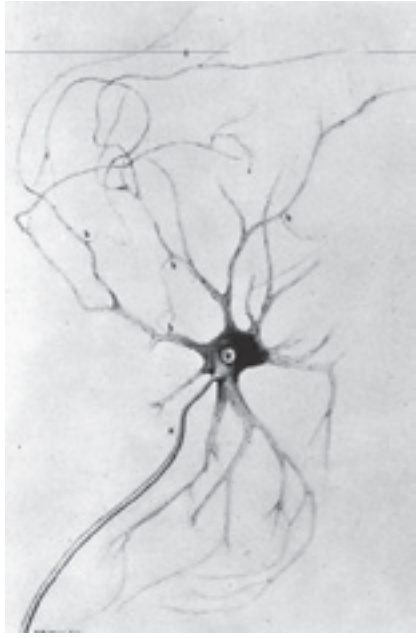
D'altra parte, molti tratti comportamentali sono altamente specifici per l'ambiente (o nicchia) normalmente occupata da una specie. Per esempio, le scimmie che si dondolano da un ramo all'altro sono dotate di una vista molto acuta, mentre i ratti che si aggirano furtivamente nelle gallerie sotterranee hanno un senso della vista alquanto scarso ma presentano un senso del tatto ben sviluppato, che si avvale dei baffi sul muso. Gli adattamenti all'ambiente si riflettono nelle modificazioni della struttura e delle funzioni del cervello di ciascuna specie. Confrontando le specializzazioni del cervello in specie differenti, i neuroscienziati sono stati in grado di identificare quali parti del cervello sono specializzate per funzioni comportamentali diverse. La Figura 1.14 fornisce degli esempi per scimmie e ratti.

Copia saggio in visione a Marika Berchicci - © 2020 Edra s.p.a.

Il neurone: l'unità funzionale fondamentale del cervello. I miglioramenti apportati al microscopio agli inizi del 1800 offrirono agli scienziati una prima opportunità per esaminare i tessuti animali ad alto ingrandimento. Nel 1839 lo zoologo tedesco Theodor Schwann enunciò quella che sarebbe stata battezzata *teoria cellulare*: tutti i tessuti sono costituiti da unità microscopiche chiamate cellule.

Benché le cellule del cervello fossero già state identificate e descritte, era rimasta ancora irrisolta la controversia riguardante la possibilità che una singola "cellula nervosa" fosse effettivamente l'unità funzionale di base del cervello. Le cellule nervose, normalmente, sono dotate di un certo numero di sottili prolungamenti, o processi, che si estendono dal corpo cellulare centrale (Figura 1.15). Inizialmente gli scienziati non furono in grado di stabilire se i prolungamenti provenienti da differenti cellule fossero comunicanti come i vasi sanguigni all'interno del sistema circolatorio. Se questo fosse stato vero, allora la "rete nervosa" che connette tra loro le varie cellule nervose avrebbe potuto rappresentare l'unità elementare delle funzioni cerebrali.

Nel Capitolo 2 è riportato un breve riassunto del modo in cui venne risolto questo dilemma; per ora è sufficiente dire che la cellula nervosa, oggi denominata "neurone", venne riconosciuta quale unità funzionale fondamentale del sistema nervoso.



▲ FIGURA 1.15
Prima descrizione di una cellula nervosa. Pubblicato nel 1865, questo disegno eseguito dall'anatomista tedesco Otto Deiters mostra una cellula nervosa, o neurone, e le sue numerose proiezioni, dette *neuriti*. Un tempo si pensava che i neuriti provenienti da neuroni diversi potessero fondersi insieme come i capillari sanguigni del sistema circolatorio. Oggi sappiamo che i neuroni sono entità distinte che comunicano mediante segnali chimici. (Fonte: Clarke e O'Malley 1968, Fig. 16.)

LE NEUROSCIENZE OGGI

La storia delle moderne neuroscienze non è ancora stata scritta per intero, e i risultati ottenuti sinora sono alla base di questo libro. Nei prossimi capitoli verranno discussi gli sviluppi più recenti. Prima, però, diamo un'occhiata a come viene condotta attualmente la ricerca sul cervello e quali sono i motivi che la rendono così importante per la società.

I livelli di analisi

La storia ha dimostrato in modo evidente che capire come funziona il cervello è una grossa sfida. Per ridurre la complessità del problema, i neuroscienziati lo hanno suddiviso in piccole parti, dato che questo consente un'analisi sperimentale sistematica: è ciò che viene chiamato *approccio riduzionistico*. La dimensione dell'unità oggetto di studio definisce il *livello di analisi*. In un ordine di complessità crescente, questi livelli sono: molecolare, cellulare, dei sistemi, comportamentale e cognitivo.

Le neuroscienze molecolari. Il cervello è stato denominato "il pezzo di materia più complesso dell'universo". La materia cerebrale consiste di un'eccezionale varietà di molecole, molte delle quali sono specifiche del sistema nervoso. Queste diverse molecole svolgono molti ruoli differenti, cruciali per il funzionamento del cervello: messaggeri che permettono ai neuroni di comunicare tra loro, sentinelle che controllano che tipo di materiali possono entrare o uscire dal neurone, conduttori che orchestrano la crescita del neurone, archivisti di esperienze passate. Lo studio del cervello a questo livello più elementare viene chiamato *neuroscienza molecolare*.

Le neuroscienze cellulari. Il livello di analisi successivo è costituito dalla *neuroscienza cellulare*, che focalizza l'attenzione sullo studio del modo in cui tutte queste molecole operano insieme per conferire al neurone le sue speciali proprietà. Tra le domande che vengono poste a questo livello vi sono: quanti tipi differenti di neuroni esistono, e in che cosa differisce la loro

Copia saggio in visione a Marika Berchicci - © 2020 Edra s.p.a.

funzione? In che modo i neuroni influenzano altri neuroni? In che modo, durante lo sviluppo fetale, vengono creati i legami tra neuroni? In che modo i neuroni eseguono computazioni?

Le neuroscienze dei sistemi. Costellazioni di neuroni formano complessi circuiti che eseguono funzioni semplici: la visione, per esempio, o il movimento volontario. Perciò, possiamo parlare di "sistema visivo" e di "sistema motorio", ciascuno dei quali possiede il suo distinto circuito nel cervello. A questo livello di analisi, chiamato *neuroscienza dei sistemi*, i neuroscienziati studiano come circuiti neurali differenti analizzano le informazioni sensoriali, come formano la percezione del mondo esterno, come prendono decisioni ed eseguono movimenti.

Le neuroscienze comportamentali. In che modo i sistemi neurali lavorano insieme per produrre comportamenti integrati? Per esempio, rappresentazioni mnemoniche diverse sono elaborate da circuiti cerebrali differenti?d? Dove agiscono, nel cervello, le droghe che "alterano la mente", e qual è il normale contributo di questi sistemi alla regolazione dell'umore e del comportamento? Quali sistemi neurali spiegano i comportamenti legati al sesso? Dove si formano i sogni nel cervello e cosa rivelano? Questi problemi vengono studiati dalla *neuroscienza comportamentale*.

Le neuroscienze cognitive. Forse la sfida più grande delle neuroscienze riguarda la comprensione dei meccanismi neurali responsabili dei livelli più elevati dell'attività mentale umana, quali l'autocoscienza, le immagini mentali e il linguaggio. La ricerca a questo livello, chiamata *neuroscienza cognitiva*, studia in che modo l'attività del cervello crea la mente.

I neuroscienziati

"Neuroscienziato" è un termine affascinante, come "scienziato spaziale". Ma tutti siamo stati studenti. Per qualche ragione – forse la nostra vista era debole e volevamo scoprire perché, o forse un membro della famiglia ha perduto la possibilità di parlare in seguito a un ictus e volevamo conoscerne il motivo – siamo accomunati da una sete di conoscenza circa il funzionamento del cervello.

Essere un neuroscienziato è appagante, ma non è semplice. Vengono richiesti molti anni di studio. Si può cominciare dando una mano in un laboratorio di ricerca durante le lauree triennali e magistrali e in seguito frequentando un corso di dottorato per ottenere un dottorato di ricerca. A questo seguono solitamente molti anni di ricerca post-dottorato per imparare nuove tecniche o modi di pensare sotto la supervisione di un affermato neuroscienziato. Infine, il "giovane" neuroscienziato è pronto per essere assunto da un'università, un istituto di ricerca o un ospedale.

In generale si possono distinguere tre tipi di ricerca nelle neuroscienze (così come tre tipi di neuroscienziati): *clinica, sperimentale* e *teorica*. La ricerca clinica viene condotta principalmente da medici specializzati. Tra le specializzazioni mediche concernenti il sistema nervoso umano vi sono la neurologia, la psichiatria, la neurochirurgia e la neuropatologia (Tabella 1.1). Molti di coloro che conducono ricerche cliniche continuano nella tradizione di Broca, tentando di dedurre dagli effetti comportamentali di una lesione cerebrale le funzioni di diverse parti del cervello. Altri conducono studi per valutare rischi e benefici di nuovi tipi di trattamento.

Nonostante l'ovvia importanza della ricerca clinica, le fondamenta di tutti i trattamenti medici del sistema nervoso continuano a essere gettate dai neuroscienziati sperimentali. Gli approcci sperimentali utilizzabili per lo studio del cervello sono così numerosi da includere quasi ogni forma di metodologia

Copia saggio in visione a Marika Berchicci - © 2020 Edra s.p.a.

TABELLA 1.1 **Medici specializzati che hanno a che fare con il sistema nervoso**

Specializzazione	Descrizione
Neurologo	Medico specializzato addestrato alla diagnosi e al trattamento di malattie del sistema nervoso
Psichiatra	Medico specializzato addestrato alla diagnosi e al trattamento dei disturbi dell'umore e del comportamento
Neurochirurgo	Medico specializzato addestrato alla chirurgia del cervello e del midollo spinale
Neuropatologo	Medico specializzato o dottore di ricerca addestrato al riconoscimento dei cambiamenti del tessuto nervoso dovuti a una malattia

TABELLA 1.2 **Tipi di neuroscienziati sperimentali**

Tipo	Descrizione
Neuroanatomista	Studia la struttura del sistema nervoso
Neurobiologo dello sviluppo	Analizza lo sviluppo e la maturazione del cervello
Neurobiologo molecolare	Utilizza il materiale genetico dei neuroni per comprendere la struttura e la funzione delle molecole del cervello
Neurochimico	Studia la chimica del sistema nervoso
Neuroetologo	Studia le basi neurali dei comportamenti animali specie-specifici in ambiente naturale
Neurofarmacologo	Esamina gli effetti dei farmaci sul sistema nervoso
Neurofisiologo	Misura l'attività elettrica del sistema nervoso
Psicofisico	Misura quantitativamente le abilità percettive
Psicologo fisiologico (psicologo biologico, psicobiologo)	Studia le basi neurali del comportamento umano

concepibile. Le neuroscienze sono fortemente interdisciplinari; tuttavia si può distinguere un neuroscienziato da un altro in base alle competenze in particolari metodologie. Dunque, vi sono i *neuroanatomisti*, che utilizzano sofisticati microscopi per scoprire connessioni nel cervello, i *neurofisiologi*, che usano elettrodi per misurare l'attività elettrica del cervello, i *neurofarmacologi*, che utilizzano modelli farmacologici per studiare la chimica delle funzioni del cervello, i *neurobiologi molecolari*, che esplorano la genetica dei neuroni per trovare risposte circa la struttura delle molecole del cervello, e così via. La Tabella 1.2 elenca alcuni tipi di neuroscienziati sperimentali.

Le neuroscienze teoriche sono una disciplina relativamente giovane, in cui i ricercatori utilizzano metodi matematici e computazionali per comprendere il funzionamento del cervello ai diversi livelli di analisi. Seguendo la tradizione della fisica, le neuroscienze teoriche cercano di comprendere il significato dell'enorme quantità o di dati generati dagli sperimentatori, con lo scopo di aiutare a focalizzare gli esperimenti sui problemi di maggiore importanza e di stabilire i principi matematici dell'organizzazione del sistema nervoso.

Il metodo scientifico

Tutti i neuroscienziati tentano di stabilire quale sia la verità riguardo al sistema nervoso. Indipendentemente dal livello di analisi prescelto, essi lavorano tutti seguendo il metodo scientifico, che consiste in quattro fasi essenziali: osservazione, replicazione, interpretazione e verifica.

Copia saggio in visione a Marika Berchicci - © 2020 Edra s.p.a.

L'osservazione. Le osservazioni vengono compiute tipicamente durante esperimenti progettati per testare una particolare ipotesi. Per esempio, Bell aveva ipotizzato che le radici ventrali contenessero le fibre nervose che controllano i muscoli. Per verificare quest'idea, egli eseguì un esperimento in cui queste fibre venivano recise, quindi osservò se da questo risultasse o meno una paralisi muscolare. Altri tipi di osservazioni provengono da un esame attento del mondo circostante, o dall'introspezione, oppure da casi clinici. Per esempio, le accurate osservazioni di Broca lo hanno portato a correlare la lesione del lobo frontale sinistro con la perdita della capacità di parlare.

La replicazione. Indipendentemente dal fatto che l'osservazione sia sperimentale o clinica, è essenziale che venga replicata. Replicare significa semplicemente ripetere l'esperimento su soggetti differenti, o fare osservazioni simili su pazienti differenti, per un numero di volte sufficiente a escludere che l'osservazione sia stata fatta per caso.

L'interpretazione. Una volta che lo scienziato crede che l'osservazione sia corretta, cerca di interpretarla. Le interpretazioni dipendono dal livello di conoscenza (o di ignoranza) del momento e dalle idee dello scienziato (la sua "predisposizione mentale"). Le interpretazioni, pertanto, non sempre resistono alla verifica del tempo. Per esempio, al tempo in cui fece le sue osservazioni, Flourens non era a conoscenza del fatto che l'encefalo di un uccello è fondamentalmente diverso da quello di un mammifero. Di conseguenza, a partire da determinate ablazioni sperimentali operate sugli uccelli, egli concluse erroneamente che non esisteva una localizzazione specifica di certe funzioni nel cervello dei mammiferi. Inoltre, come si è già accennato, la sua profonda disistima per Gall ha sicuramente accentuato la sua interpretazione. Il punto è che la corretta interpretazione spesso non viene effettuata che molto tempo dopo le osservazioni originarie. Infatti, scoperte importanti vengono talvolta compiute quando vecchie osservazioni sono reinterpretate sotto una nuova luce.

La verifica. Il passo finale del metodo scientifico è la verifica. Questo processo è distinto dalla replicazione eseguita dall'osservatore originario. Verifica significa che l'osservazione è sufficientemente "robusta" da poter essere replicata da qualunque scienziato competente che segua in modo accurato il protocollo dell'osservatore originario. Il successo della verifica porta generalmente a un'accettazione di fatto dell'osservazione. Tuttavia non tutte le osservazioni possono essere verificate, talora per le spiegazioni metodologiche non sufficientemente accurate fornite nel lavoro originale o per un'insufficiente replicazione. Il fallimento della verifica, però, di solito deriva dal fatto che variabili addizionali, quali la temperatura o l'ora del giorno, hanno contribuito al risultato originario. Quindi se il processo della verifica è affermativo stabilisce nuovi fatti scientifici , mentre se è negativo suggerisce nuove interpretazioni dell'osservazione originaria.

Talvolta si legge sulla stampa popolare di casi di "frode scientifica". I ricercatori si trovano a fronteggiare dure competizioni per fondi di ricerca limitati e sono provati da una grande pressione riassunta dal motto "*publish or perish*" ("pubblica o muori") . Per questioni di convenienza o di opportunità, alcuni hanno davvero pubblicato "osservazioni" che non avevano mai fatto. Per fortuna, grazie al metodo scientifico, questi casi di frode sono rari. Entro breve tempo altri scienziati scoprono di non riuscire a verificare le osservazioni fraudolente e cominciano a chiedere come tali osservazioni siano state ottenute in origine. Il fatto che questo libro sia così ricco di informazioni sul sistema nervoso è una testimonianza del valore del metodo scientifico.

Copia saggio in visione a Marika Berchicci - © 2020 Edra s.p.a.

L'impiego di animali nella ricerca neuroscientifica

La maggior parte di ciò che sappiamo sul sistema nervoso deriva da esperimenti su animali. Nella maggior parte dei casi gli animali vengono uccisi, così che i loro cervelli possano essere esaminati dal punto di vista neuroanatomico, neurofisiologico e/o neurochimico. Il fatto che gli animali vengano sacrificati per perseguire l'evolversi della conoscenza umana fa sorgere problemi circa l'etica della ricerca sugli animali.

Gli animali. Cominciamo ponendo la questione in prospettiva. Nel corso della storia gli uomini hanno considerato gli animali e i loro prodotti come risorse naturali sempre disponibili da utilizzare come cibo, vestiario, trasporto, svago, sport e compagnia. Gli animali utilizzati per la ricerca e l'acquisizione di nuove informazioni sono sempre stati una piccola frazione rispetto al totale utilizzato per altri scopi. Per esempio, al giorno d'oggi negli Stati Uniti il numero di animali utilizzati per tutti i tipi di ricerca biomedica è molto limitato se paragonato al numero di animali che vengono uccisi solo per essere utilizzati come cibo. Il numero impiegato specificamente per la ricerca nell'ambito delle neuroscienze è ancora più piccolo.

Gli esperimenti in neuroscienze vengono condotti utilizzando molte specie differenti, che vanno dalle lumache alle scimmie. La scelta delle specie generalmente dipende dal problema che si vuole investigare, dal livello di analisi e dalla misura in cui la conoscenza ottenuta può essere rapportata agli esseri umani. Di norma, più i processi che si vogliono investigare sono di base, maggiore può essere la distanza, in termini evoluzionistici, con l'uomo. Perciò, gli esperimenti utilizzati per investigare le basi molecolari della conduzione dell'impulso nervoso possono essere eseguiti su specie evolutivamente lontane, come per esempio il calamaro. D'altra parte, la comprensione delle basi neurali del movimento e dei disturbi percettivi negli esseri umani richiede esperimenti su specie evolutivamente più vicine, quali il macaco. Attualmente, più della metà degli animali utilizzati per la ricerca in neuroscienze è costituita da roditori – topi e ratti – che vengono allevati per questo scopo.

La tutela degli animali. Nel mondo progredito di oggi, la maggior parte degli adulti colti è interessata alla tutela degli animali. I neuroscienziati condividono questa preoccupazione e cercano di assicurare che agli animali sia riservato un buon trattamento. La società non si è sempre interessata della tutela degli animali, come rivelato da alcune pratiche scientifiche del passato. Per esempio, nei suoi esperimenti all'inizio del diciannovesimo secolo Magendie ha utilizzato cuccioli non anestetizzati (ragion per cui, in seguito, è stato criticato dal suo rivale Bell). Fortunatamente, l'accresciuta attenzione al benessere degli animali ha determinato significativi miglioramenti nella loro cura nell'ambito della ricerca biomedica.

Al giorno d'oggi i neuroscienziati accettano alcune responsabilità morali nei confronti degli animali da esperimento che utilizzano:

1. gli animali vengono usati solo per esperimenti utili all'avanzamento delle conoscenze sul sistema nervoso;
2. vengono prese tutte le misure necessarie per minimizzare il dolore e le esperienze spiacevoli agli animali da esperimento (uso di anestetici, analgesici ecc.);
3. vengono considerate tutte le alternative possibili all'uso di animali.

L'adesione a questo codice etico viene controllata in maniera diversa a seconda dello Stato o Nazione in cui vengono svolti gli esperimenti. Negli Stati Uniti, per esempio, le proposte di ricerca devono essere vagliate dall'Insti-

Copia saggio in visione a Marika Berchicci - © 2020 Edra s.p.a.

tutional Animal Care and Use Committee (IACUC), come imposto dalla legge federale.. Di questo comitato fanno parte un veterinario, scienziati di altre discipline e rappresentanti della comunità non scientifica. In seguito al vaglio dello IACUC, le proposte vengono valutate per il valore scientifico da un gruppo di neuroscienziati esperti. Questa selezione assicura che solo i progetti più utili e interessanti vengano portati avanti. Quando poi i neuroscienziati inviano le loro osservazioni per la pubblicazione su giornali specialistici, i loro articoli vengono esaminati attentamente da altri neuroscienziati riguardo al valore scientifico e alle misure attuate per la tutela degli animali. Riserve su l'una o l'altra di tali questioni può portare al rifiuto dell'articolo, il che di conseguenza porta alla perdita di fondi di ricerca. Oltre a queste procedure di controllo, la legge federale impone rigidi standard per la custodia e la cura degli animali da laboratorio.*

I diritti degli animali. La maggior parte delle persone accetta la necessità della sperimentazione animale per l'avanzamento delle conoscenze, purché venga eseguita con umanità e con il debito rispetto per la tutela degli animali. A ogni modo, una minoranza rumorosa e sempre più violenta lotta per l'abolizione totale dell'uso di animali a beneficio dell'uomo, compresa la sperimentazione. Queste persone aderiscono a una posizione teorica detta dei "diritti degli animali". Secondo questo modo di pensare, gli animali godono degli stessi diritti legali e morali dell'uomo.

Un amante degli animali che simpatizzi con questa posizione dovrebbe riflettere su alcuni punti. Sarebbe disposto a rinunciare per sé e per la propria famiglia alle tecniche mediche sviluppate sugli animali? La morte di un topo può essere equivalente a quella di un uomo? Tenere un animale domestico è l'equivalente morale dell'avere uno schiavo? Mangiare carne è, dal punto di vista morale, equivalente a uccidere un uomo? Non è etico uccidere un maiale per salvare la vita di un bambino? Il controllo della popolazione dei topi nelle fogne o della popolazione degli scarafaggi nelle case ha l'equivalenza morale dell'Olocausto? Se la risposta a una qualunque di queste domande è no, allora non aderiamo alla filosofia dei "diritti degli animali". La tutela degli animali – un punto di vista condiviso da ogni persona responsabile – non deve essere confusa con la filosofia dei "diritti degli animali".

I sostenitori dei diritti degli animali hanno vigorosamente continuato la loro battaglia contro la ricerca sugli animali, talvolta con un successo allarmante. Essi hanno manipolato l'opinione pubblica attraverso ripetute asserzioni di crudeltà negli esperimenti con animali, che sono pesantemente distorte o manifestamente false. Hanno compiuto atti vandalici ai danni di laboratori, distruggendo anni di dati scientifici duramente acquisiti e attrezzature costosissime (pagate dai contribuenti). Con minacce di violenza, hanno indotto alcuni scienziati ad abbandonare completamente il loro lavoro.

Per fortuna si sta verificando un cambiamento di tendenza. Grazie agli sforzi di molte persone, scienziati e non scienziati, sono state smascherate le false rivendicazioni degli estremisti, e sono stati riconosciuti i grandi vantaggi della ricerca sugli animali per il genere umano (Figura 1.16). Considerando il costo sbalorditivo, in termini di sofferenza umana, che deriva dai disturbi del sistema nervoso, i neuroscienziati assumono la posizione secondo cui è nostra responsabilità utilizzare saggiamente tutte le risorse di cui la natura ci ha provvisto per arrivare alla comprensione di come il cervello funzioni in condizioni di salute e di malattia.

*In Italia la sperimentazione animale è regolata dal decreto legislativo 116/92, in attuazione della direttiva CEE 86/609 in materia di protezione degli animali. [*N.d.C.*]

Copia saggio in visione a Marika Berchicci - © 2020 Edra s.p.a.

▲ FIGURA 1.16
Il nostro debito verso la ricerca sugli animali. Questo poster replica alle contestazioni degli attivisti per i diritti degli animali, richiamando la pubblica attenzione sui benefici della ricerca sugli animali. (Fonte: National Foundation for Biomedical Research.)

Il prezzo dell'ignoranza: i disturbi del sistema nervoso

La moderna ricerca nel campo delle neuroscienze è costosa, ma il costo dell'ignoranza sul cervello è assai maggiore. La Tabella 1.3 elenca alcuni dei disturbi che colpiscono il sistema nervoso. Consideriamone alcuni ed esaminiamone l'impatto sulla società.

La malattia di Alzheimer e la malattia di Parkinson sono entrambe caratterizzate da una degenerazione progressiva di specifici neuroni del cervello. La malattia di Parkinson determina un grave deterioramento dei movimenti volontari e attualmente colpisce oltre 500.000 americani.[1] La malattia di Alzheimer porta alla demenza, uno stato di confusione caratterizzato dalla perdita della capacità di apprendere nuove informazioni e di rievocare conoscenze precedentemente apprese. La demenza colpisce circa il 18% della popolazione di età superiore a 85 anni.[2] Il numero degli ame-

[1]National Institute of Neurological Disorders and Stroke. "Parkinson Disease Backgrounder." October 18, 2004.

[2]U.S. Department of Health and Human Services, Agency for Healthcare Research and Quality. "Approximately 5 Percent of Seniors Report One or More Cognitive Disorders." March 2011.

Copia saggio in visione a Marika Berchicci - © 2020 Edra s.p.a.

TABELLA 1.3 **Alcuni dei principali disturbi del sistema nervoso**

Disturbo	Descrizione
Autismo	Disturbo che si sviluppa in giovane età, caratterizzato da deficit comunicativi e nelle interazioni sociali e da comportamenti limitati e ripetitivi
Depressione	Grave disturbo dell'umore caratterizzato da insonnia, mancanza di appetito e sentimenti di scoraggiamento
Epilessia	Condizione caratterizzata da disturbi periodici dell'attività elettrica del cervello che può portare ad attacchi, perdita di coscienza e disturbi sensoriali
Infarto cerebreale	Perdita delle funzioni cerebrali dovuta all'interruzione del rifornimento di sangue, che di solito conduce a deficit sensitivi, motori o cognitivi permanenti
Malattia di Alzheimer	Malattia degenerativa progressiva del cervello caratterizzata da demenza e sempre fatale
Malattia di Parkinson	Malattia cerebrale progressiva che causa difficoltà nell'iniziare i movimenti volontari
Paralisi cerebrale	Disturbo motorio dei bambini causato da una lesione cerebrale al momento del parto
Paralisi spinale	Perdita della sensibilità e della capacità di movimento causata da una lesione traumatica del midollo spinale
Schizofrenia	Grave malattia psicotica caratterizzata da illusioni, allucinazioni e disturbi di comportamento
Sclerosi multipla	Malattia progressiva che colpisce la conduzione nervosa, caratterizzata da episodi di debolezza, mancanza di coordinazione e disturbi della produzione del linguaggio parlato

ricani affetti da demenza è ben oltre i 4 milioni.* In effetti, viene ora riconosciuto che la demenza non è un risultato inevitabile dell'invecchiamento, come si credeva una volta, ma un segno di malattia cerebrale. La malattia di Alzheimer progredisce spietatamente, derubando le sue vittime prima della loro mente, poi del controllo delle funzioni corporee basilari e, infine, della loro vita; questa patologia è sempre fatale. Negli Stati Uniti il costo annuale per la cura delle persone affette da demenza è superiore a 100 miliardi di dollari e sta aumentando in maniera allarmante.

Depressione e schizofrenia sono disturbi dell'umore e del pensiero. La depressione è caratterizzata da sensazioni opprimenti di sconforto, inutilità e colpa. Oltre 30 milioni di americani presentano un episodio depressivo maggiore in qualche periodo della loro vita** e la depressione porta al suicidio più di 30.000 persone all'anno negli Stati Uniti.[3]

La schizofrenia è un grave disturbo psichiatrico caratterizzato da illusioni, allucinazioni e comportamento bizzarro. Questa patologia ha spesso un esordio precoce – nell'adolescenza o all'inizio dell'età adulta – e può durare per tutta la vita. Oltre 2 milioni di americani soffrono di schizofrenia. Il National Institute of Mental Health stima che i disturbi mentali, tra cui la depressione e la schizofrenia, costino agli Stati Uniti oltre 150 miliardi di dollari all'anno.

[3]National Institute of Mental Health. "Suicide in the U.S.: Statistics and Prevention." September 27, 2010.

*In Italia la prevalenza percentuale della malattia di Alzheimer nella popolazione italiana, nella fascia di età dai 65 agli 84 anni, è del 2,5; quella della malattia di Parkinson è del 2,1. I dati sono standardizzati sulla base del censimento 1991 e riportati da uno studio longitudinale sull'invecchiamento del CNR (1998). [*N.d.C.*]

**La prevalenza percentuale della sintomatologia depressiva nella popolazione italiana, nella fascia di età dai 65 agli 84 anni, è del 28,1 (CNR, 1998). [*N.d.C.*]

Copia saggio in visione a Marika Berchicci - © 2020 Edra s.p.a.

L'ictus è la quarta causa di morte negli Stati Uniti.* Le persone che sopravvivono, oltre mezzo milione ogni anno, hanno alte probabilità di restare permanentemente invalide. La spesa annuale per questa patologia è di 54 miliardi di dollari.[4]

La dipendenza da alcool o da droghe colpisce virtualmente ogni famiglia degli Stati Uniti. La spesa, in termini di trattamento, salari persi e altre conseguenze supera i 600 miliardi di dollari all'anno.[5]

Questi pochi esempi danno solo una vaga idea delle dimensioni del problema. *Vengono ricoverati più americani per disturbi neurologici e mentali che per qualunque altro gruppo di patologie, inclusi i disturbi cardiaci e il cancro.*

I costi economici dei disturbi a carico del cervello sono enormi, ma non sono nulla in confronto all'impressionante costo emotivo pagato dalle vittime e dalle loro famiglie. La prevenzione e il trattamento dei disturbi cerebrali richiede la comprensione del normale funzionamento del cervello, e questa comprensione basilare costituisce l'obiettivo delle neuroscienze. La ricerca neuroscientifica ha già contribuito allo sviluppo di trattamenti sempre più efficaci della malattia di Parkinson, della depressione e della schizofrenia. Nuove strategie per il recupero di neuroni morenti, in persone affette dalla malattia di Alzheimer e in soggetti colpiti da ictus, sono in via di sperimentazione. Notevoli progressi sono stati compiuti nella comprensione di come le droghe e l'alcol colpiscano il cervello e di come conducano a dipendenza. Questo libro dimostra che conosciamo molto circa il funzionamento del cervello, sebbene ciò che sappiamo sia insignificante rispetto a quanto rimane ancora da scoprire.

CONCLUSIONI

I fondamenti delle neuroscienze si sono sviluppati attraverso molte generazioni. Uomini e donne oggi stanno lavorando a ogni livello di analisi e utilizzando ogni tipo di metodologia per far luce sui meccanismi utilizzati dal cervello. I frutti di questo lavoro sono le basi di questo libro di testo.

L'obiettivo delle neuroscienze è la comprensione del funzionamento del sistema nervoso. Molte intuizioni importanti possono essere ottenute attraverso metodologie non invasive e, poiché l'attività del cervello si riflette sul comportamento, misure comportamentali accurate ci informano sulle capacità e sulle limitazioni del funzionamento del cervello. I modelli informatici che riproducono le proprietà computazionali del cervello possono aiutarci a capire l'origine di tali proprietà. Dal cuoio capelluto possiamo misurare le onde cerebrali, che ci possono fornire informazioni riguardo all'attività elettrica delle diverse parti del cervello durante differenti stati comportamentali. Le nuove tecniche di *imaging* computer-assistite permettono ai ricercatori di esaminare la struttura del cervello vivente all'interno del cranio. Inoltre, utilizzando metodi di imaging ancora più sofisticati si comincia a osservare quali parti del cervello umano vengono attivate in condizioni differenti. Tuttavia, nessuno di questi metodi non invasivi, vecchi o nuovi, può interamente sostituire la sperimentazione con tessuti cerebrali ottenuti da organismi viventi. Non possiamo capire il senso dei segnali remoti

[4]American Heart Association/American Stroke Association. "Impact of Stroke (Stroke Statistics)." May 1, 2012.

[5]National Institutes of Health, National Institute of Drug Abuse. "DrugFacts: Understanding Drug Abuse and Addiction." March 2011.

*La prevalenza percentuale dell'ictus cerebrale nella popolazione italiana, nella fascia di età dai 65 agli 84 anni, è del 6,5 (CNR, 1998). [*N.d.C.*]

Copia saggio in visione a Marika Berchicci - © 2020 Edra s.p.a.

rilevati senza essere in grado di vedere come essi vengono generati e qual è il loro significato. Per capire *come* il cervello lavora, dobbiamo aprire la testa ed esaminare che cosa c'è dentro – dai punti di vista neuroanatomico, neurofisiologico e neurochimico.

Lo sviluppo delle neuroscienze oggi lascia davvero senza fiato e fa nascere la speranza di avere presto a disposizione nuovi trattamenti per la vasta gamma di disturbi del sistema nervoso che ogni anno provocano danni e menomazioni a milioni di uomini. Nonostante i progressi compiuti negli ultimi decenni e nei secoli che li hanno preceduti, abbiamo ancora una lunga strada da percorrere prima di giungere alla piena comprensione di come il cervello metta in atto tutte le sue stupefacenti imprese. Ma è questo il bello dell'essere un neuroscienziato: benché la nostra ignoranza sul funzionamento del cervello sia così vasta, nuove sorprendenti scoperte ci aspettano praticamente dietro ogni angolo.

0 Edra s.p.a.