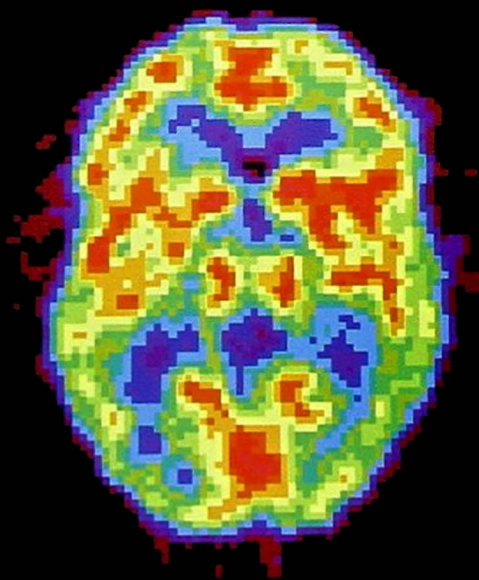
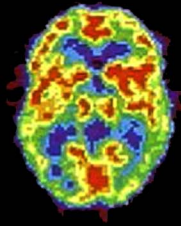


50 grandi idee cervello



Moheb Costandi

edizioni Dedalo



- Il sistema nervoso
- La teoria del neurone
- Le cellule gliali
- L'impulso nervoso
- La trasmissione sinaptica
- La percezione sensoriale
- Il movimento
- La mappa del cervello
- La specializzazione delle regioni cerebrali
- L'asimmetria cerebrale
- Neuroni specchio
- Il connettoma
- La filosofia del corpo
- La consapevolezza corporea
- Il libero arbitrio
- Le differenze di genere
- La personalità
- I pazienti con danni cerebrali
- Il teatro della coscienza
- I disturbi della coscienza
- L'attenzione
- La memoria di lavoro
- Apprendimento e memoria
- Viaggiare nel tempo
- Il (ri)consolidamento della memoria
- I processi decisionali
- Ricompensa e motivazione
- L'elaborazione linguistica
- Le funzioni esecutive
- Il viaggio di cellule e assoni
- La morte cellulare
- L'eliminazione sinaptica
- La neuroplasticità
- L'adolescenza
- Lo stress e il cervello
- Il cervello che invecchia
- La neurodegenerazione
- La neurogenesi nell'adulto
- L'epigenetica
- La modalità di default
- I ritmi cerebrali
- Predire l'errore
- Le cellule staminali neurali
- La stimolazione cerebrale
- Il potenziamento cognitivo
- L'imaging cerebrale
- La decodificazione
- Interfaccia uomo-macchina
- Neuroscienze e diritto
- La neuroetica

ISBN 978-88-220-6848-4

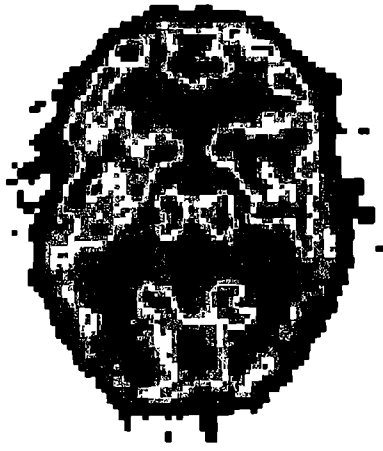
€ 18,00 (i.i.)



9 788822 068484

Questo prezioso compendio riunisce i più importanti e significativi risultati delle scienze del cervello dell'ultimo secolo. Un'intricata e strabiliante rete di fibre nervose mette in connessione fra loro 100 miliardi di cellule, creando l'organo più complesso e affascinante del corpo umano. L'autore riassume in modo completo e brillante gli aspetti più rappresentativi di un campo ai confini tra biologia e psicologia: dalla biochimica del neurone all'origine del pensiero, al rapporto tra neuroscienze e diritto, passando per la scoperta del connettoma e l'esplorazione degli emisferi cerebrali. Il rapporto mente-cervello ha ancora numerosi punti oscuri e quesiti irrisolti: le 50 idee qui raccolte e presentate con rigore scientifico guidano il lettore profano attraverso i punti saldi della ricerca e le domande ancora aperte, alla scoperta dell'universo della mente.

50
grandi idee
cervello



Moheb Costandi

edizioni Dedalo

© 2013 Moheb Costandi

Pubblicato su licenza Quercus Editions Ltd, London

Titolo originale: *50 ideas you really need to know: the human brain*

Traduzione di Chiara Barattieri di San Pietro

Editing scientifico di Giovanni Giri e Mariella Favale

Crediti fotografici

Tutte le illustrazioni sono di Patrick Nugent, tranne quella di p. 34 (Natural History Museum, London/Science Photo Library).

© 2014 Edizioni Dedalo

divisione della Dedalo Litostampa srl

Viale Luigi Jacobini 5, 70132 Bari - www.edizionidedalo.it

Volume di pagine 208, carta naturale di alta qualità, senza legno, Bianco offset, 120 gr.

Finito di stampare nel febbraio 2014 dalla Dedalo litostampa srl, Bari

Tutti i diritti sono riservati.

Riproduzione vietata ai sensi di legge (art. 171 della legge 22 aprile 1941, n. 633)

Introduzione

Possiamo far risalire l'origine delle moderne neuroscienze alla fine dell'Ottocento, quando per la prima volta i ricercatori stabilirono che il sistema nervoso era costituito, come gli organi di tutte le creature viventi, da cellule. Facciamo un balzo in avanti di un secolo: il Presidente degli Stati Uniti George W. Bush dichiara gli anni '90 il «decennio del cervello». Da allora, la ricerca sul funzionamento di questo complesso organo ha fatto passi da gigante. Qualcuno sostiene che ciò che abbiamo imparato sul cervello negli ultimi dieci anni sorpassi tutto quel che è stato fatto nei cento precedenti: anche se fosse vero, stiamo solo iniziando a scalfirne la superficie, e molto ancora rimane da scoprire.

In questo breve lasso di tempo, molte sono le teorie salite alla ribalta sul funzionamento del cervello e sulla sua capacità di generare pensieri e comportamenti. Alcune delle prime, come la frenologia, che nel XIX secolo tentava di correlare i tratti di personalità con la forma del cranio, hanno avuto grande influenza ma sono state in seguito messe da parte ed etichettate come pseudoscienze. Altre, come la teoria del neurone, secondo cui il cervello è costituito da cellule, continuano a occupare un posto centrale nelle neuroscienze moderne.

Con il progredire della tecnologia e il miglioramento delle conoscenze sul cervello, è cresciuta l'attenzione per le neuroscienze e per il significato delle sue scoperte. Questo tipo di ricerca, tuttavia, è circondato da grande sensazionalismo e da una plethora di informazioni errate: i miti sul cervello abbondano, e alcuni dei più popolari – come l'idea che l'emisfero sinistro sia «logico» e il destro «creativo» – sembrano prendere sempre più piede, specialmente in campi come l'istruzione e l'economia.

Questo libro tenta di distillare più di cento anni di riflessioni sul cervello, riunendo le idee più influenti, aggiornando vecchi concetti alla luce di nuove prove e introducendone altri emersi di recente. Cercherò di spiegare queste idee in maniera accurata e facilmente comprensibile, di separare il grano dal loglio e rimuovere quel velo di mistero che avvolge ciò che abbiamo nelle nostre teste. Dove possibile, spiegherò in che modo sono stati realizzati gli studi e quali tecniche sono state usate, e come i ricercatori ridefiniscono un'idea all'affiorare di nuove prove.

Qualcuno è convinto che comprendere meglio il funzionamento del cervello ci aiuterà a trovare le risposte alle grandi domande della vita. Non è così: la ricerca non può essere la soluzione di ogni cosa, né può spiegare cosa significhi essere uomini, ma ci offre la possibilità di trovare una cura per numerose condizioni debilitanti come le dipendenze, la malattia di Alzheimer, l'ictus e la paralisi. Il volume affronta anche queste speranze, con cauto ottimismo.

01 Il sistema nervoso

Due sono i principali componenti del sistema nervoso: il sistema nervoso centrale (cervello e midollo spinale), che riceve e integra le informazioni sensoriali, e il sistema nervoso periferico, composto dalle fibre nervose che trasportano le informazioni da e verso il corpo.

Il cervello dell'uomo contiene centinaia di miliardi di cellule, disposte in maniera altamente organizzata, ed è spesso stato definito la struttura più complessa dell'Universo conosciuto, pur pesando solo 1,5 kg circa. È costituito da due emisferi, ciascuno dei quali controlla e riceve informazioni dalla parte opposta del corpo. La corteccia cerebrale che li ricopre è divisa in quattro lobi specializzati che svolgono funzioni differenti, separati da profonde incisure chiamate solchi.

Il **lobo frontale** esegue funzioni mentali complesse quali il ragionamento e i processi decisionali; contiene le aree motorie che pianificano ed eseguono i movimenti volontari.

Il **lobo parietale** comprende le aree somatosensoriali, adibite all'elaborazione delle informazioni sensoriali provenienti dal corpo. Tale elaborazione genera la cosiddetta consapevolezza spaziale, ovvero la coscienza dell'orientamento del corpo rispetto all'ambiente circostante.

Il **lobo temporale** riceve le informazioni che provengono dalle orecchie: la superficie esterna contiene aree specializzate nella comprensione del lin-

linea del tempo

1700 a.c.

Datazione del papiro Edwin Smith, che riporta la prima descrizione del sistema nervoso

900

Al-Razi descrive i nervi del cranio nel *Kitab al-Hawi Fi al-tibb*

1543

Pubblicazione del *De humani corporis fabrica* di Andrea Vesalio

Una complessità stratificata

La corteccia è quel tessuto ripiegato in numerosissime circonvoluzioni che rappresenta la parte esterna del cervello. Nell'uomo ha una superficie totale pari a 0,2 m², molto maggiore rispetto a quella degli altri animali. Questo ripiegamento le dona il caratteristico aspetto, caratterizzato da numerosi giri (protuberanze) e solchi. Il suo spessore è pari a qualche millimetro ed è composta da sei strati, in ciascuno dei quali le cellule sono disposte in maniera uniforme; contiene un gran numero di aree distinte, ciascuna specializzata nello svolgimento di una particolare funzione.

guaggio, mentre all'interno troviamo l'ippocampo, una struttura importantissima per la formazione della memoria che, assieme all'area circostante, gioca un ruolo essenziale nell'orientamento spaziale.

Il lobo occipitale si trova nella parte posteriore del cervello: contiene diverse regioni distinte, ognuna specializzata nell'elaborazione e nell'interpretazione delle informazioni visive.

Il cervello «senza veli» Al di sotto della corteccia i neuroni sono raggruppati in grandi ammassi. Il talamo (dal greco «stanza celata») si trova proprio al centro del cervello e la sua funzione è quella di trasmettere le informazioni che provengono dagli organi di senso alle diverse regioni cerebrali. Attorno al talamo troviamo i gangli basali, un gruppo di strutture nervose coinvolte principalmente nel controllo del movimento volontario. Il sistema limbico è un altro complesso subcorticale localizzato tra i gangli basali e la corteccia: questo, talvolta chiamato anche «cervello rettile», è antichissimo dal punto di vista evolutivo e controlla le emozioni, i processi di

1641

Franciscus de le Boë Sylvius descrive i solchi sul lato del cervello

1664

Thomas Willis pubblica *Cerebri Anatomie*

1695

Pubblicazione di *The Anatomy of the Brain* di Humphrey Ridley

6 Il cervello dell'uomo... è l'organizzazione più complessa che conosciamo. 9

Isaac Asimov, 1986

gratificazione e la motivazione. Include anche l'ippocampo e l'amigdala, entrambi importanti per le funzioni mnemoniche.

Il mesencefalo è una piccola area in cima al tronco encefalico; contiene aggregati di neuroni che controllano il movimento degli occhi ed è la principale fonte di dopamina, un neurotrasmettitore. I neuroni dopaminergici producono, inoltre, un pigmento chiamato melatonina, dando al me-

sencefalo una colorazione nera, motivo per cui questa parte è chiamata anche *substantia nigra* (sostanza nera).

Il romboencefalo comprende tre strutture poste alla sommità del midollo spinale. La porzione inferiore, il midollo allungato, controlla le funzioni vitali involontarie, quali il respiro e la frequenza cardiaca, ed è strettamente associato all'eccitazione, così come il ponte, che si trova al di sopra del midollo allungato e connette la corteccia cerebrale al midollo spinale. Il terzo componente del romboencefalo, il cervelletto, controlla l'equilibrio e la coordinazione motoria. È essenziale per l'apprendimento di abilità motorie come andare in bicicletta, ma è anche associato alle emozioni e ai processi mentali.

Traffico di punta Il midollo spinale, il cuore della più importante via di comunicazione nervosa nell'uomo, è un enorme fascio di milioni di fibre nervose che veicola le informazioni tra corpo e cervello. Protetto dalla colonna vertebrale, questa fragilissima struttura può svolgere alcune funzioni in autonomia, ovvero senza il coinvolgimento del cervello, come ad esempio l'esecuzione del riflesso patellare (del ginocchio). Ha un aspetto segmentato (in sezione trasversale assomiglia a una farfalla) e da qui partono e arrivano i nervi, disposti a intervalli regolari e ordinati.

Le fibre dei neuroni motori si diramano dalla parte anteriore del midollo spinale e si estendono fino ai muscoli del corpo, ai quali trasferiscono le informazioni provenienti dal cervello per l'esecuzione dei movimenti volontari. Gli assoni dei neuroni sensoriali trasportano le informazioni provenienti dal corpo fino alla parte posteriore del midollo spinale e, tramite i neuroni di secondo livello, formano connessioni che inoltrano l'in-

formazione fino al cervello. Gli assoni dei neuroni motori e sensoriali sono raccolti in fasci all'interno dei nervi periferici.

Messaggeri Le fibre nervose provenienti dal cervello e dal midollo spinale costituiscono il sistema nervoso periferico. Questo si distingue in due elementi: il sistema nervoso somatico – composto da fibre nervose sensoriali e motorie che veicolano le informazioni tra corpo e midollo spinale e che sono coinvolte nella comunicazione delle sensazioni e nel controllo del movimento volontario – e il sistema nervoso autonomo, che controlla la frequenza cardiaca, le ghiandole e la muscolatura liscia dei vasi sanguigni, nonché il movimento degli occhi e l'intestino, di cui non abbiamo il controllo volontario.

Il sistema nervoso autonomo può essere ulteriormente suddiviso in sistema nervoso simpatico e parasimpatico, che svolgono funzioni opposte. Il primo usa il neurotrasmettitore noradrenalina per accelerare il battito cardiaco, dilatare le pupille e le vie respiratorie, e dirottare il sangue dal sistema digerente verso altri organi. Questi effetti preparano il corpo all'azione, in quella che viene chiamata la risposta «combatti o fuggi». Il secondo usa, invece, il neurotrasmettitore acetilcolina per restringere le pupille e le vie respiratorie, rallentare il battito cardiaco e accelerare i processi digestivi.

Anche i nervi del cranio sono parte del sistema nervoso periferico. Questi partono dal tronco cerebrale e veicolano le informazioni tra cervello e organi sensoriali. Il nervo vago, o decimo nervo craniale, è il più lungo di tutti e si ramifica fino al cuore, al torace e all'addome.

**«La mente,
una materia
misteriosa secreta
dal cervello.»**

Ambrose Bierce, 1911

idea chiave

Il sistema nervoso
è estremamente complesso
e altamente organizzato

02 La teoria del neurone

Le neuroscienze moderne si basano in larga parte sull'idea che il cervello sia costituito da cellule. Si stima che nell'uomo ci sia una sbalorditiva quantità di neuroni, tra gli 80 e i 120 miliardi, organizzati in un'intricata rete per l'elaborazione delle informazioni. I neuroni (le cellule nervose), uno dei due tipi di cellule presenti nel cervello, sono specializzati nella produzione di segnali elettrici e nella comunicazione.

Negli anni '30 dell'Ottocento, due scienziati tedeschi formularono la teoria cellulare, ovvero l'idea che la cellula sia l'unità base di tutti gli esseri viventi. All'epoca la risoluzione dei microscopi non era sufficiente a mostrare con precisione la struttura del sistema nervoso, e quindi non era chiaro se questa teoria fosse estendibile anche al tessuto nervoso. Ciò divenne oggetto di lungo dibattito: alcuni ricercatori credevano che il sistema nervoso, come il resto del corpo, dovesse essere costituito da cellule, mentre altri sostenevano che fosse composto da un tessuto compatto.

Man mano che i microscopi divennero più potenti e le tecniche di colorazione migliorarono, fu possibile osservare il tessuto nervoso con una quantità di dettagli sempre maggiore. Un importante passo avanti fu fatto da Camillo Golgi con la scoperta della cosiddetta «reazione nera», una tecnica di colorazione che implica il fissaggio del tessuto con bicarbonato di potassio e ammoniaca e la sua successiva immersione in nitrato d'argento. La reazione nera colora a caso un piccolo numero di neuroni nel campione di tessuto: in questo modo le cellule diventano completamente nere rendendo visibile la loro forma.

linea del tempo

1665

Robert Hooke scopre la cellula

1838

Robert Remak ipotizza la connessione tra fibre nervose e cellule nervose

1839

Theodor Schwann e Matthias Schleiden propongono la teoria cellulare

1865

Pubblicazione postuma della descrizione degli assoni e dei dendriti ad opera di Otto Deiter

Negli anni '80 dell'Ottocento, l'istopatologo spagnolo Santiago Ramón y Cajal iniziò a usare il metodo di Golgi per esaminare e comparare il tessuto proveniente da varie regioni cerebrali di diverse specie animali. Cajal migliorò la tecnica immergendo due volte i campioni nella soluzione: in questo modo i neuroni assumevano una colorazione più intensa, permettendo uno studio più dettagliato.

Cajal giunse alla conclusione che il cervello era costituito da cellule e nel 1889, durante una conferenza, convinse i colleghi della bontà della sua tesi contribuendo alla nascita della teoria del neurone (secondo la quale i neuroni sono le unità strutturali e funzionali fondamentali del sistema nervoso). Grazie ai loro contributi, Cajal e Golgi ricevettero il premio Nobel per la Medicina nel 1906. Nonostante avesse inventato il metodo che portò alla scoperta del neurone, Golgi, curiosamente, rimase dell'idea che il sistema nervoso fosse composto da un tessuto continuo. Fu quindi Cajal ad essere ampiamente riconosciuto come padre delle neuroscienze moderne.

I messaggeri del corpo Il cervello dell'uomo contiene almeno diverse centinaia, o forse migliaia, di neuroni diversi, con dimensioni e forme differenti, classificabili in tre tipi a seconda della funzione. I neuroni sensoriali trasportano l'informazione dagli organi di senso al cervello; i neuroni motori inviano i comandi ai muscoli e agli organi; e gli interneuroni trasmettono l'informazione tra neuroni all'interno di uno stesso circuito, o tra neuroni in diverse regioni del cervello.

Nonostante la stupefacente diversità, la grande maggioranza dei neuroni condivide un numero di caratteristiche basilari. Tradizionalmente, i neuroni sono suddivisi in tre «comparti», ognuno dei quali ha una funzione distinta:

«Come l'entomologo a caccia di farfalle dai colori brillanti, la mia attenzione fu attratta dal giardino fiorito della sostanza grigia, che contiene cellule dalle forme delicate ed eleganti, le misteriose farfalle dell'anima.»

Santiago Ramón y Cajal, 1894

1873

Camillo Golgi scopre la «reazione nera»

1889

Santiago Ramón y Cajal propone la teoria cellulare del sistema nervoso

2005

Itzhak Fried e colleghi scoprono i «neuroni di Jennifer Aniston»

I neuroni di Jennifer Aniston

Nell'esaminare il cervello di alcuni pazienti epilettici in procinto di sottoporsi a un'operazione di neurochirurgia, alcuni ricercatori hanno scoperto l'esistenza di neuroni che rispondono in maniera molto specifica alle immagini di volti famosi (come quello di Jennifer Aniston) o di monumenti (la Torre Eiffel o la Casa Bianca). Questi neuroni sono situati in una parte del cervello che contiene strutture note per il ruolo che svolgono nei processi mnemonici. In seguito è stato scoperto che queste cellule si attivano

non solo quando i pazienti osservano le immagini di star e monumenti, ma anche semplicemente quando pensano ad essi. Questi fatti hanno indotto alcuni scienziati a ipotizzare che la codifica dei concetti astratti potrebbe avvenire a livello delle singole cellule. Molto più probabilmente, ciascuna cellula è parte di una rete diffusa, composta da diversi milioni di neuroni, che codifica il ricordo di una celebrità o di un monumento. Ciascuna cellula è parte di milioni di altre reti, ognuna delle quali codifica un diverso ricordo o concetto.

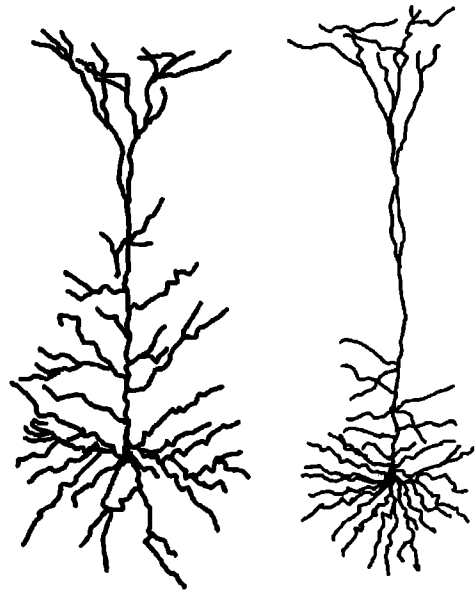
Dendrite: dalla parola greca *dendron*, che significa «albero». Si tratta di una proiezione ramificata che parte dal corpo della cellula e rappresenta il comparto dei «segnali in ingresso» del neurone: riceve ed elabora i segnali provenienti dagli altri neuroni, prima di trasmetterli al corpo cellulare.

Corpo cellulare: elabora i diversi tipi di segnali provenienti dai dendriti e produce un segnale in uscita. Racchiude anche il nucleo che ospita il DNA, una lunga molecola contenente le informazioni necessarie per sintetizzare le migliaia di proteine che controllano le funzioni cellulari. Ogni tipo di neurone esprime un'unica combinazione di geni che ne determina le specifiche caratteristiche.

Assone: fibra che parte dal neurone e rappresenta il comparto dei «segnali in uscita». I segnali elettrici sono generati a livello del suo segmento iniziale e poi trasportati dal corpo cellulare per essere trasmessi alle altre cellule. La parte finale dell'assone forma la terminazione nervosa, che si ramifica e trasmette il segnale in uscita verso le varie cellule «bersaglio». Ora sappiamo, comunque, che gli impulsi possono essere generati in qualsiasi parte del neurone e che possono viaggiare in entrambe le direzioni.

Una buona organizzazione La grande maggioranza dei neuroni, circa l'80%, si trova nel cervelletto. Le cellule della sua corteccia (il rivestimento esterno) sono disposte in piani ordinati. Le due tipologie di cellule contenute in quest'area ci mostrano l'ampia diversità dei neuroni. I neuroni di Purkinje sono le cellule più grandi del cervello: sono ampi, piatti e molto elaborati. Al contrario, le cellule granulari sono le più piccole: possiedono un'unica fibra che si ramifica appena fuori dal corpo cellulare e si sviluppano perpendicolarmente ai dendriti delle cellule di Purkinje. Ciascuna cellula di Purkinje forma connessioni con circa 250 000 fibre delle cellule granulari.

Anche la corteccia cerebrale è stratificata, e ciascun livello contiene neuroni ben ordinati. Le cellule principali sono quelle piramidali: esse sono contenute ovunque tranne che nello strato più esterno e si riuniscono in ammassi regolari che si ripetono trentamila volte ogni millimetro. La loro struttura varia tra i diversi strati e le diverse regioni cerebrali, pur avendo tutte un corpo cellulare a forma di piramide, un'estesa rete di dendriti e un assone che raggiunge le cellule degli altri strati della corteccia e delle altre regioni del cervello.



Neuroni piramidali in diverse parti della corteccia cerebrale.

idea chiave

Il neuroni sono i componenti fondamentali del sistema nervoso

03 Le cellule gliali

Oltre ai neuroni, il cervello contiene anche altre cellule, chiamate cellule gliali. Per gran parte della storia delle neuroscienze moderne si è pensato che queste cellule svolgessero solo una funzione di supporto. Ora però sappiamo che, in aggiunta a questa importante funzione, le cellule gliali giocano un ruolo primario nello sviluppo del cervello, nel suo funzionamento e nel quadro di processi patologici.

Per più di centocinquant'anni, le cellule gliali sono state considerate necessarie solo per sostenere, proteggere e nutrire i neuroni. Tuttavia, la ricerca moderna ha dimostrato l'importanza del loro contributo all'elaborazione delle informazioni.

Pur essendo più numerose dei neuroni, fin dalla loro scoperta le cellule gliali sono state ampiamente trascurate. Oggi è evidente, però, che se desideriamo comprendere il funzionamento del cervello dobbiamo necessariamente prenderle in considerazione. Ben lontana dall'essere un semplice attore secondario, la glia svolge un ruolo importante sul palco delle funzioni cerebrali, e potrebbe addirittura rivelarsi la vera stella dello spettacolo.

Conosciamo le cellule gliali Il cervello contiene diversi tipi di cellule gliali, ciascuna delle quali svolge funzioni diverse:

Gli **astrociti** sono cellule a forma di stella, densamente raggruppate attorno ai neuroni. Forniscono a questi ultimi le sostanze nutritive e ne regolano la composizione chimica, ma svolgono anche un ruolo importante nell'elaborazione delle informazioni.

linea del tempo

1839

Theodor Schwann descrive la struttura dei nervi periferici e osserva le cellule di Schwann

1856

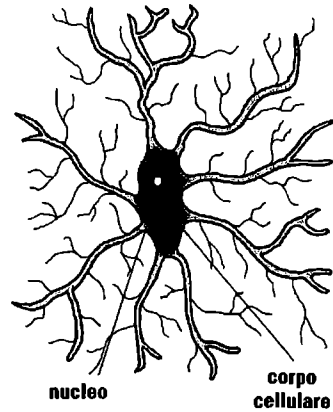
Rudolph Virchow chiama le cellule gliali *nervenkitt*, ovvero «colla dei nervi»

1896

Gheorghe Marinescu scopre che la glia distrugge i neuroni per fagocitosi

I soccorritori del cervello

Le cellule della microglia si formano nel midollo osseo; sono le cellule immunitarie del cervello e lo pattugliano per mezzo di protuberanze a forma di dita che si estendono e si ritraggono per rilevare i segnali di un'infezione, di una lesione o di una malattia. Quando identificano dei microbi, strisciano lentamente verso gli invasori e li inglobano tramite un processo chiamato fagocitosi: durante questo processo, la cellula microgliale usa la propria membrana cellulare per formare un involucro attorno al microbo, incorporando l'invasore e distruggendolo. La microglia interviene anche in caso di trauma: essa rileva un segnale chimico emesso dai neuroni danneggiati e morenti, e risponde portandosi verso il sito della lesione. Quando arriva, ripulisce il sito dalle cellule morte e dagli altri materiali di scarto.



Una cellula della microglia

Le **cellule endoteliali** si trovano lungo le pareti dei ventricoli cerebrali e svolgono un ruolo importante nella produzione del liquido cerebrospinale. Possiedono protuberanze chiamate ciglia che sporgono all'interno dei ventricoli per facilitare la circolazione del liquido.

Le cellule della **microglia** rappresentano l'unità di soccorso del cervello: sono in prima linea nella difesa contro i microbi e ripuliscono i residui dei neuroni morenti (si vedano le pagine 126 e 127).

Gli **oligodendrociti** producono un tessuto adiposo chiamato mielina, che avvolge gli assoni e permette agli impulsi nervosi di viaggiare in maniera più efficiente (le cellule di Schwann svolgono la stessa funzione nel sistema nervoso periferico).

1920

Pío del Río Hortega classifica quattro diversi tipi di glia

1966

Stephen Kuffler e colleghi dimostrano che la glia risponde ai segnali provenienti dai neuroni

1970

Pasko Rakic descrive la migrazione dei neuroni più giovani lungo le fibre radiali della glia

Le cellule della **glia radiale** sono presenti solo durante le prime fasi dello sviluppo cerebrale (si veda più avanti). Producono gran parte dei neuroni e guidano la loro migrazione nella corteccia cerebrale.

Una super colla Tradotto dal greco, la parola glia significa «colla», un termine che in passato rifletteva il presunto ruolo di queste cellule. Tuttavia, le ricerche pubblicate negli ultimi dieci anni mostrano che le cellule della glia sono in realtà necessarie a tutti gli aspetti della funzione cerebrale.

Gli astrociti, ad esempio, sono molto più che un semplice involucro in grado di tenere i neuroni in posizione. Essi formano reti funzionanti tra loro, e comunicano per mezzo di segnali chimici gli uni con gli altri e con i neuroni, aggiungendo un ulteriore livello di complessità ai meccanismi di elaborazione delle informazioni. Essi contribuiscono anche alla formazione delle sinapsi (le connessioni tra i neuroni) durante lo sviluppo cerebrale.

Queste cellule a forma di stella controllano la comunicazione tra i neuroni e sono perciò indispensabili nella definizione delle funzioni sinaptiche del cervello maturo. Esse si trovano a stretto contatto con le sinapsi, racchiuse dalle loro protuberanze digitiformi, e possono stringere o allentare la presa regolando il flusso dei segnali chimici tra i neuroni. Gli astrociti, inoltre, presentano altre protuberanze chiamate bottoni terminali

che avvolgono i vasi capillari e controllano il flusso sanguigno che alimenta il cervello.

Infine, gli astrociti regolano la plasticità sinaptica, ovvero il processo mediante il quale le connessioni nervose diventano più o meno forti in funzione dell'esperienza. Questa loro funzione, scoperta di recente, ha portato alcuni ricercatori a rivalutare il ruolo degli astrociti, una volta considerati semplici sottoposti, in quanto elementi critici in processi come la memoria.

Non è tutto: le cellule della glia radiale sono fondamentali per lo sviluppo cerebrale. Nelle prime fasi della vita, il sistema nervoso è un tubo cavo, a un'estremità del quale si va formando il cervello mentre all'altra si estende il midollo spinale. La glia radiale possiede una singola fibra che attraversa l'intero spessore del tubo e si divide vicino alla superficie interna, producendo neuroni immaturi.

6 Le cellule gliali sono gli attori principali di tutti gli aspetti più importanti dello sviluppo, della funzione e della malattia cerebrale. 9

Ben Barres, neurobiologo americano, 2008

In seguito, questi giovani neuroni risalgono lungo le fibre della cellula gliale che li ha prodotti e strisciano fino alla superficie esterna del tubo. Questa «migrazione radiale» avviene per ondate successive, e produce i caratteristici strati della corteccia cerebrale, che si forma «dall'interno all'esterno»: la prima migrazione forma gli strati più interni, e ciascuna ondata successiva attraversa quella precedente, creando uno strato più vicino alla superficie esterna del tubo.

Errore di pulitura Le cellule gliali sono coinvolte in diversi disturbi neurologici. Nella sclerosi multipla, ad esempio, il sistema immunitario attacca per errore gli oligodendrociti, distruggendo la guaina mielinica isolante che producono. Questo impedisce alle fibre nervose di condurre gli impulsi e causa i sintomi della malattia. Nei casi peggiori, un danno alla mielina che isola i nervi periferici può portare alla paralisi, mentre un danno al nervo ottico può portare alla cecità.

Le cellule gliali sono coinvolte anche in malattie neurodegenerative come l'Alzheimer e il Parkinson, caratterizzate dalla presenza di proteine ripiegate in maniera anomala che si depositano all'interno o attorno ai neuroni in forma di grumi insolubili. Normalmente le cellule della microglia sorvegliano e ripuliscono il materiale di scarto, ma nuove prove rivelano che nel cervello della persona affetta da una malattia neurodegenerativa esse non sono in grado di eliminare i grumi proteici accumulati. Recentemente alcuni ricercatori hanno scoperto che nelle persone affette da sclerosi laterale amiotrofica, una condizione che colpisce i neuroni motori, un tipo particolare di astrocita mutante rilascia un segnale tossico che uccide i neuroni motori.

Questo materiale di connessione... è una specie di colla in cui sono fissati gli elementi nervosi.

Rudolph Virchow, 1858

idea chiave

Le cellule gliali hanno un ruolo importante nel funzionamento del cervello

04 L'impulso nervoso

I neuroni sono cellule specializzate nella produzione di segnali elettrici che viaggiano lungo le loro fibre. Questi segnali, chiamati impulsi nervosi o «potenziali d'azione», nascono dal movimento di minuscole correnti elettriche attraverso la membrana della cellula nervosa. Ogni secondo un neurone produce fino a un migliaio di potenziali d'azione codificando le informazioni nello schema degli impulsi emessi.

Gli impulsi nervosi sono segnali elettrici che viaggiano lungo le fibre nervose, permettendo ai neuroni di comunicare tra di loro e con il resto del corpo. La membrana cellulare dei neuroni, che consiste in due strati separati da un piccolo gap, ne determina le proprietà elettriche. Essa agisce come un condensatore, immagazzinando la carica elettrica sotto forma di ioni (atomi carichi positivamente o negativamente), e come una resistenza, capace di bloccare il flusso di corrente. Quando il neurone è a riposo, gli ioni negativi si ammassano sulla superficie interna della sua membrana, mentre quelli positivi sul lato esterno. Questa «distribuzione di carica» rende l'interno della membrana carico negativamente rispetto all'esterno.

Quando un neurone si attiva diciamo che spara, scarica o genera un impulso nervoso. Questo si verifica in risposta a segnali provenienti da altre cellule e implica una breve inversione del voltaggio della membrana: per un attimo l'interno possiede una carica positiva, prima di tornare rapidamente al suo stato di riposo. Durante un impulso nervoso, la membrana permette l'ingresso ad alcuni tipi di ioni, che la percorrono tutta avanti e indietro. Dal momento

linea del tempo

1791

Luigi Galvani studia la bioelettricità nelle zampe di rana

1848

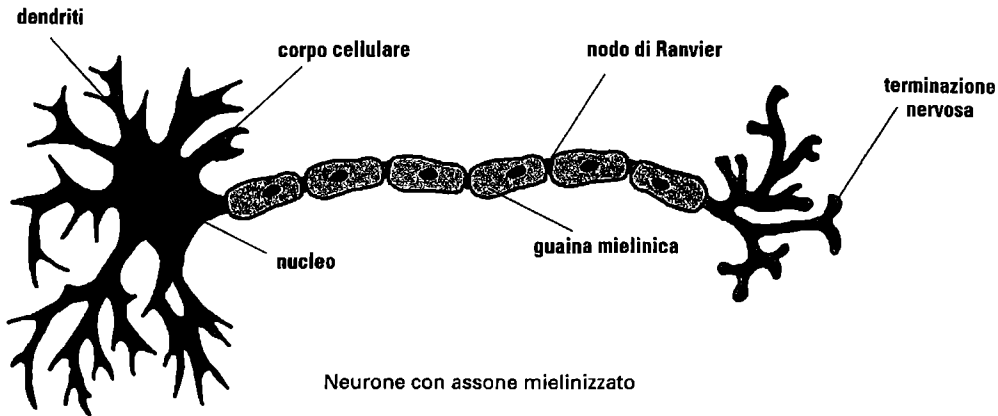
Emil du Bois-Reymond scopre l'impulso nervoso

1850

Hermann von Helmholtz misura la velocità di conduzione degli impulsi nei nervi della rana

1878

Louis-Antoine Ranvier descrive i nodi nella guaina mielinica



Neurone con assone mielinizzato

che questi sono carichi elettricamente, il loro movimento genera una corrente elettrica nella membrana.

Neuroni a riposo I neuroni contengono ioni (atomi carichi elettricamente) e sono immersi in una soluzione contenente gli stessi ioni a diverse concentrazioni. Tali ioni tendono a muoversi da un'area in cui sono molto concentrati a una dove la loro concentrazione è più bassa, per raggiungere un equilibrio. Tuttavia, la membrana della cellula nervosa, essendo per loro impermeabile, ne impedisce il passaggio.

Ciò fa sì che alcuni ioni si raccolgano sulla superficie esterna della membrana, mentre altri su quella interna. La distribuzione disomogenea delle cariche elettriche fa in modo che la membrana interna sia carica negativamente e quella esterna positivamente. Per questo motivo la membrana si dice *polarizzata*.

Tutto ebbe inizio con un calamaro Il meccanismo del potenziale d'azione fu individuato all'inizio degli anni '50 grazie ad alcuni esperimenti, divenuti classici, condotti inserendo dei microelettrodi nell'assone gigante del calamaro. Essi mostrarono che il potenziale d'azione è generato dai movimenti in sequenza degli ioni lungo la membrana.

“ Non sembrerà essere lontano dal vero il congetturare... che il nervo abbia la funzione di conduttore. ”

Luigi Galvani, 1791

1893

Paul Flechsig descrive lo sviluppo delle guaine mieliniche nel cervello

1952

Alan Hodgkin e Andrew Huxley descrivono il meccanismo dell'impulso nervoso nel calamaro gigante

1998

Roderick MacKinnon e colleghi determinano la struttura del canale del potassio voltaggio-dipendente