



Cristina Limatola

IL SISTEMA NERVOSO

Dalle cellule
al comportamento



Cristina Limatola

IL SISTEMA NERVOSO

Dalle cellule
al comportamento

© copyright 2017 by Percorsi Editoriali di Carocci editore, Roma

Finito di stampare nel mese di settembre 2017
da Eurolit, Roma

Progetto grafico di Ulderico Iorillo e Valentina Pochesci

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

Senza regolare autorizzazione, è vietato riprodurre questo volume
anche parzialmente e con qualsiasi mezzo, compresa la fotocopia,
anche per uso interno o didattico.

Indice

06	Prefazione
07	Introduzione
11	PARTE PRIMA Il sistema nervoso
12	Perché abbiamo un sistema nervoso?
16	I neuroni, i protagonisti di una squadra molto numerosa
17	Come sono fatti i neuroni e come comunicano tra loro
20	Il linguaggio comune dei neuroni
23	Le sinapsi
26	Gli “assistenti personali” dei neuroni: le cellule della glia
30	Le “guardie del corpo” dei neuroni: le cellule della microglia
31	Gli “agenti operativi”: le strutture che obbediscono ai comandi dei neuroni
34	So cosa stai facendo: i neuroni specchio
36	Quando il nostro sistema nervoso si mette in standby: l'importanza del sonno
37	La plasticità del sistema nervoso: l'importanza delle esperienze
39	Le neurotrofine: la grande scoperta di Rita Levi Montalcini
40	Conclusioni
43	PARTE SECONDA Il viaggio al limite del possibile
57	Glossario

Prefazione

Già da alcuni anni l'Istituto Pasteur Italia ha avviato con successo nelle scuole secondarie di I e II grado un originale progetto di divulgazione scientifica: una serie di incontri durante i quali i laboratori vengono aperti agli studenti per insegnare la scienza attraverso l'apprendimento sul campo.

Il metodo scientifico è fatto di osservazione e comprensione, ma la vera gioia intellettuale è data dalla *conversazione*. E proprio attraverso le conversazioni scientifiche con i ragazzi, accompagnate dagli esperimenti, si è capito che si poteva aggiungere ancora qualcosa: imparare la scienza divertendosi!

Nasce da qui l'idea di una collana, "I ragazzi di Pasteur", realizzata grazie alla felice collaborazione dell'Istituto Pasteur Italia con la IBSA Foundation for scientific research, uniti nella stessa *mission*: promuovere la ricerca e la conoscenza scientifica.

In ogni volume della collana, accanto al tema scientifico trattato da uno studioso e scritto appositamente per un pubblico di ragazzi, troveremo un fumetto sullo stesso tema. La grande novità è che la sceneggiatura del fumetto è elaborata dai ragazzi che partecipano all'esperienza del laboratorio e affidata alle mani esperte dei disegnatori della "Scuola Romana dei Fumetti".

Siamo certi che questi libri saranno per i ragazzi una buona lettura ma, soprattutto, un esempio di buona scienza!

Luigi Frati

Presidente

Istituto Pasteur Italia

Silvia Misiti


Direttore IBSA Foundation


for scientific research

Introduzione

Il sistema nervoso ha il compito di ricevere, elaborare e trasmettere informazioni per consentire una risposta integrata ai segnali che provengono dal nostro corpo, ma anche dall'ambiente che ci circonda.

Lo studio del sistema nervoso ha da sempre affascinato l'uomo. Già gli antichi egizi, nel papiro di Edwin Smith (1500 a.C.), avevano descritto i sintomi riscontrati in pazienti con traumi a carico del sistema nervoso o con altre malattie neurologiche. È questo il primo documento della storia dell'uomo in cui viene usato il termine "cervello", anche se per gli antichi egizi non era il cervello bensì il cuore l'organo deputato alla conoscenza e la sede dell'anima.

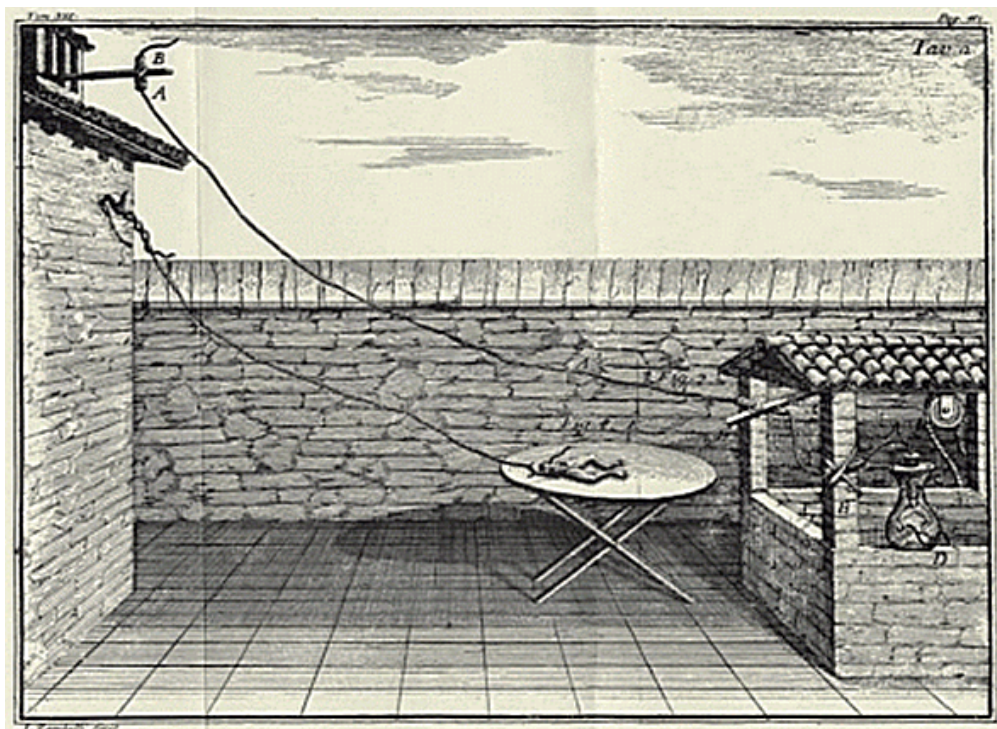
Ma la prima indicazione di quale fosse il fattore responsabile dell'"impulso" in grado di produrre una scarica di "elettricità animale" venne dagli esperimenti pionieristici di Luigi Galvani, uno scienziato vissuto verso la fine del XVIII secolo (L. Galvani, *Memorie ed esperimenti inediti*). Con il famoso esperimento della scintilla, e poi con quello dell'elettricità naturale sviluppata da un temporale, Galvani dimostrò, usando una rana, che la corrente elettrica poteva essere trasferita ai nervi e di lì ai muscoli, inducendo la loro contrazione  *figura 1*.

Questi esperimenti iniziali, e altri che seguirono, portarono all'idea (errata!!!) che si potesse trasferire la vita a un corpo inanimato per mezzo della corrente, ispirando la famosa figura letteraria di Frankenstein, corpo a cui viene data vita attraverso l'elettricità  *figura 2*.

Da allora sono stati fatti grandi passi avanti e oggi sono ben noti i meccanismi che generano gli impulsi di natura elettrica nel nostro sistema nervoso e quelli che controllano il movimento, così come sono noti i meccanismi alla base dei diversi tipi di memoria di cui disponiamo:



Figura 1. Disegno di un esperimento di Galvani con la rana



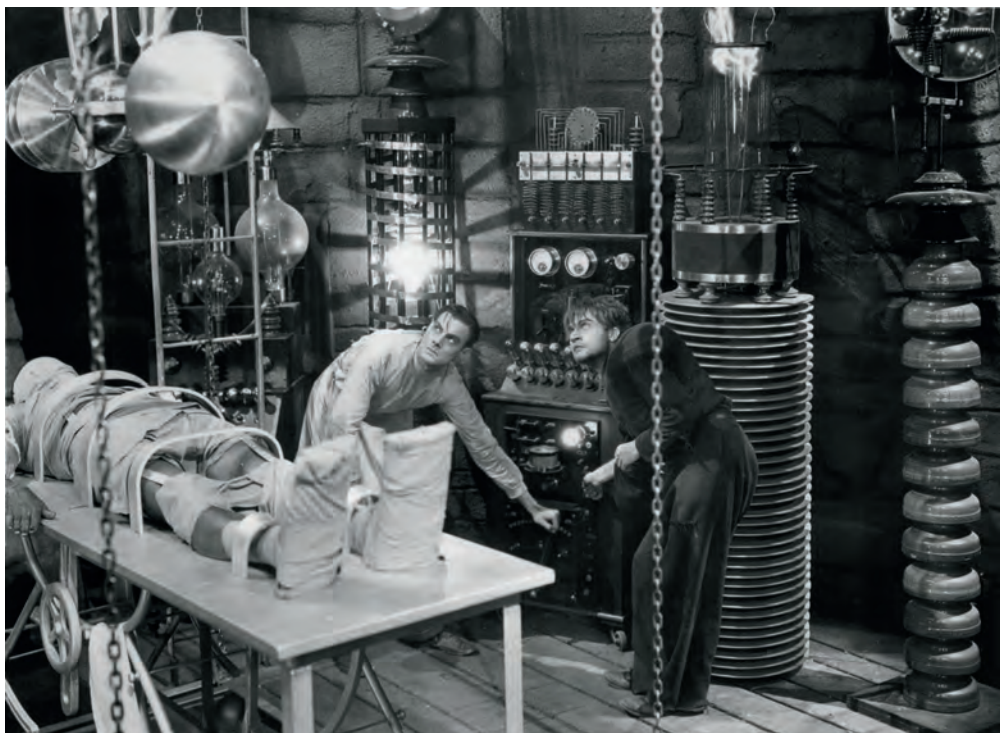
quella a breve termine, che ci fa ricordare per poco tempo dove abbiamo parcheggiato la macchina prima di entrare al cinema, o quella a lungo termine, che anche in vecchiaia ci consente di ricordare il nostro primo giorno di scuola, o la tabellina del 7.

Oggi sappiamo quali sono le regioni coinvolte nella generazione delle emozioni e stiamo capendo anche da dove hanno origine, nel nostro sistema nervoso, concetti difficili da definire, come quello della coscienza.

Tuttavia, sapere come funzionano le cellule e i circuiti nervosi non significa necessariamente avere una completa comprensione della sequenza dei meccanismi e dei circuiti coinvolti, e dell'effetto dell'integrazione delle informazioni nervose con quelle di altri sistemi, come



Figura 2. La creazione della Creatura (dal film *Frankenstein* di James Whale, 1931)



quello dei microbi che popolano il nostro intestino, o del sistema immunitario, o dell'ambiente in cui viviamo.

Le frontiere ancora da attraversare sono molte... Il nostro auspicio è che siano le generazioni di ragazzi che oggi apriranno questo libro ad aver voglia di esplorarle!

Proprio per mantenere viva questa voglia il volume è stato volutamente articolato in capitoli più semplici e altri più ricchi di informazioni e dettagli tecnici, per fornire una varietà di lettura e di approccio alla tematica, sia agli studenti che agli insegnanti.

Cristina Limatola

PARTE PRIMA

Il sistema nervoso



Perché abbiamo un sistema nervoso?

Nel corso dell'evoluzione, gli organismi animali hanno sviluppato un sistema nervoso sempre più complesso, che ha conferito loro un vantaggio evolutivo sempre maggiore. Le spugne, tra gli organismi animali più antichi, non hanno un sistema nervoso. I primi animali in cui compare, circa 600 milioni di anni fa, sono i celenterati, come gli anemoni di mare e le meduse.


Qual è stato il vantaggio, per l'organismo, apportato dallo sviluppo del sistema nervoso? La risposta più credibile che ci offrono oggi gli scienziati è che si sia sviluppato per consentire agli organismi animali di **muoversi**.

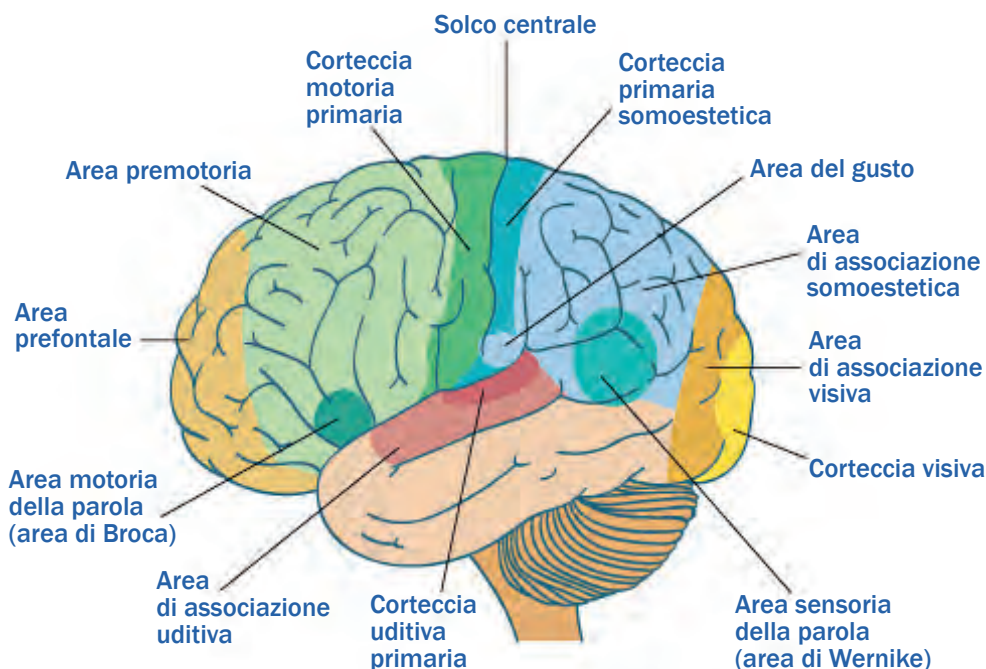
Gli organismi vegetali sono privi di un sistema nervoso: i lenti movimenti che vediamo compiere alle piante, come per esempio la rotazione del fusto verso una fonte di luce, non sono dei veri movimenti, ma il risultato di un diverso accrescimento di una parte della pianta, in questo caso quella più lontana dalla luce.

Al contrario, anche organismi animali semplici come i vermi, dotati di un sistema nervoso estremamente elementare, sono in grado di effettuare movimenti rapidi in risposta a uno stimolo.

Nei vermi, il sistema nervoso è organizzato in gruppi di cellule (i **gangli**) che mettono l'animale in condizione di rispondere a stimoli luminosi, chimici e tattili. Salendo nella scala evolutiva, passando agli animali dotati di colonna vertebrale (**vertebrati**), il sistema nervoso aumenta di complessità anatomica e funzionale, il movimento viene controllato da specifici neuroni organizzati nella colonna vertebrale e vengono acquisite nuove sensibilità di tipo visivo, uditivo, gustativo e olfattivo.


Tra i vertebrati, il sistema nervoso umano è sicuramente il più complesso: l'uomo è dotato, infatti, rispetto ad altri animali, delle cosiddette **funzioni superiori**, cioè di capacità mentali astratte e complesse

 **Figura 3.** La corteccia cerebrale



come la coscienza, il linguaggio, la memoria, l'ideazione, il comportamento. Queste sono possibili grazie allo sviluppo di una specifica struttura a livello del cervello, la **neocorteccia**, che costituisce la parte filogeneticamente (ovvero, che riguarda la storia evolutiva di un gruppo di organismi) più recente della **corteccia cerebrale**

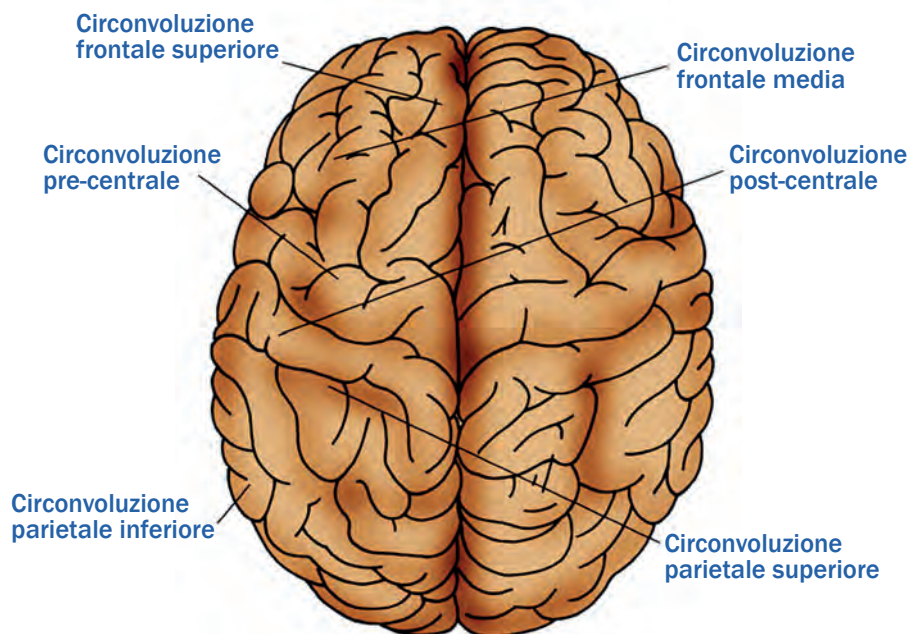
 **figura 3.**

La corteccia cerebrale rappresenta lo strato più esterno del cervello; per aumentare la propria superficie, la corteccia si ripiega verso l'interno diverse volte, con veri e propri solchi che delimitano delle sottoregioni, anatomicamente e funzionalmente distinte, chiamate **circonvoluzioni**  **figura 4.**

Una delle caratteristiche più importanti del sistema nervoso è la sua capacità di inviare **segnali istantanei** a regioni del corpo anche molto distanti.



Figura 4. Le circonvoluzioni cerebrali




Nel momento in cui decidiamo di muovere un dito del piede, lo facciamo immediatamente, senza riuscire a misurare il tempo che separa la decisione dal movimento.

Ma quali sono i meccanismi che consentono, in un tempo così breve, il trasferimento dell'informazione "muovi l'alluce" dalla regione della corteccia cerebrale in cui viene pianificato il movimento fino al muscolo responsabile del movimento dell'alluce?

Per rispondere a questa domanda dobbiamo conoscere il funzionamento del sistema nervoso, degli elementi che lo costituiscono e di come avviene la comunicazione con uno dei più importanti sistemi effettori (che hanno il compito di trasmettere gli impulsi) del sistema nervoso: il tessuto muscolare scheletrico.



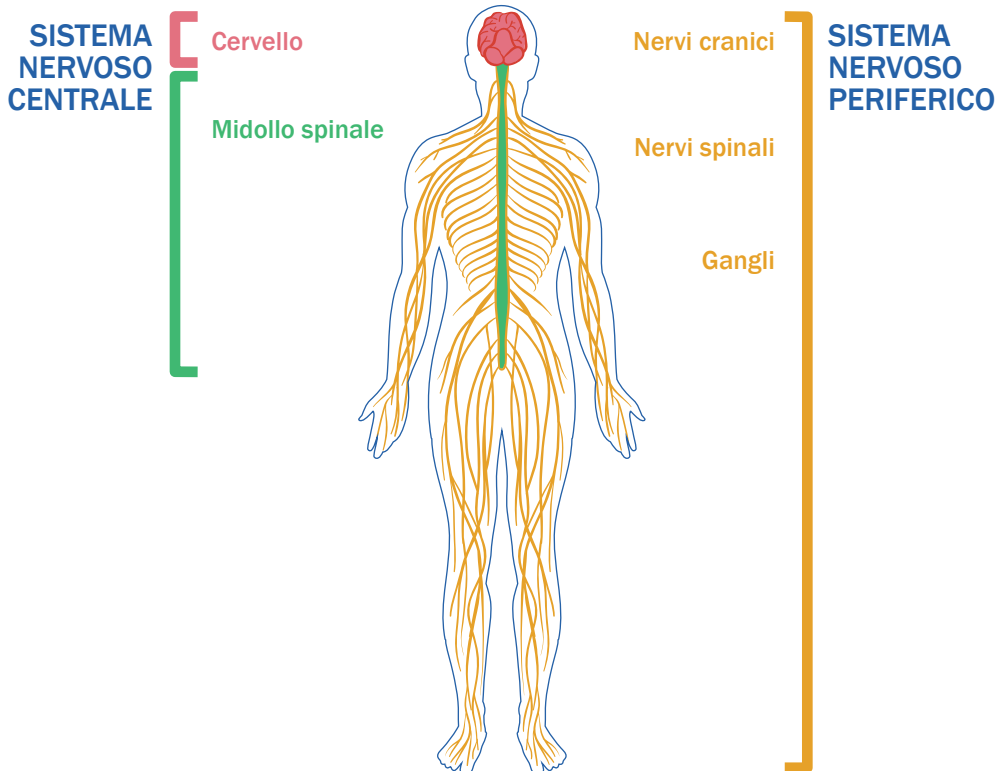
I neuroni, i protagonisti di una squadra molto numerosa

Il sistema nervoso nell'uomo è composto da due strutture principali: il **sistema nervoso centrale** e il **sistema nervoso periferico**. Il primo comprende il cervello e il midollo spinale, mentre il secondo i nervi cranici, i nervi spinali e i gangli  *figura 5*.

Entrambi i sistemi possiedono cellule molto particolari, i **neuroni**, che sono i protagonisti di questa storia ma sono, soprattutto, gli artefici principali della nostra capacità di avere idee geniali, risolvere complicati giochi matematici, saper suonare la nona sinfonia di Beethoven o andare in bicicletta senza mani.



Figura 5. Il sistema nervoso centrale e il sistema nervoso periferico



Queste capacità incredibili dei neuroni — che ancora devono essere spiegate in tutta la loro complessità — richiedono la continua collaborazione di altre cellule, chiamate cellule della glia, e una perfetta comunicazione con altre strutture del corpo — come ad esempio le ghiandole, che producono gli ormoni, e il sistema cardiocircolatorio —, per integrare le informazioni in arrivo dall'interno e dall'esterno del corpo ed elaborare risposte complesse.

I neuroni, infatti, come tutti i grandi personaggi, non lavorano da soli, ma hanno bisogno di un team molto numeroso, costituito da alcuni elementi che supportino la loro attività (assistenti personali), altri impegnati nella protezione da possibili danni (guardie del corpo), e altri, infine, in grado di tradurre in azioni i loro comandi (agenti operativi).

Gli stessi neuroni non sono tutti uguali, ma hanno diverse abilità: alcuni sono specializzati per ricevere informazioni sensoriali (neuroni sensoriali), altri per inviare comandi motori (neuroni motori), altri ancora per mediare la comunicazione tra neuroni diversi (interneuroni).

 **Tabella 1.** Neuroni presenti nel sistema nervoso

NEURONI	FUNZIONE
SENSORIALI	Trasportano al sistema nervoso le informazioni necessarie per la percezione sensoriale e per il coordinamento delle risposte motorie.
MOTORI	Conducono l'informazione per il movimento dal sistema nervoso fino ai muscoli e alle ghiandole.
INTERNEURONI	Ricevono l'informazione nervosa e la ritrasmettono ad altri neuroni, per distanze molto brevi (interneuroni locali) o lunghe (interneuroni di proiezione).

Recentemente, sono stati scoperti nel cervello, a livello della corteccia, dei neuroni molto particolari dotati di una doppia specializzazione: i neuroni **sensorimotori** (o **neuroni specchio**), di cui parleremo più avanti.

Appare chiaro, quindi, come l'attività del sistema nervoso sia un lavoro di squadra, dove possono essere ottenuti risultati eccellenti solo se ogni componente della squadra svolge alla perfezione il suo compito senza ignorare ciò che stanno facendo i compagni, anzi, comunicando incessantemente con loro, pronto a modificare la sua attività al variare delle condizioni o delle richieste in arrivo.

Per fare questo, il sistema di comunicazione deve funzionare in modo molto efficiente, le informazioni devono essere scambiate velocemente e viaggiare nelle due direzioni.



Come sono fatti i neuroni e come comunicano tra loro


Abbiamo già osservato che, nel momento stesso in cui decidiamo di compiere un movimento, lo stiamo già effettuando: come è possibile? Cosa rende così veloce il trasferimento di informazioni?

Le risposte a queste domande si possono trovare nella descrizione morfologica e funzionale dei neuroni. I neuroni sono infatti delle cellule molto particolari, specializzate per trasferire informazioni anche molto diverse, dalla sensazione di sete attraverso gli osmocettori dell'ipotalamo all'accelerazione del battito cardiaco attraverso il sistema nervoso autonomo "ortosimpatico"; questo vuol dire che non tutti i neuroni sono in grado di capirsi fra di loro perché non parlano tutti lo stesso linguaggio, anche se usano tutti lo stesso meccanismo di comunicazione.

I neuroni sono delle cellule polarizzate, hanno cioè forma e funzione diverse a due estremità cellulari: da una parte abbiamo gli **assoni**, che rappresentano il punto della cellula da cui sono inviati i messaggi; in un altro punto abbiamo i **dendriti**, terminazioni ramificate specializzate per ricevere e tradurre i messaggi inviati dagli altri neuroni. In mezzo a

**Come si
trasformano
i pensieri
in azioni?**

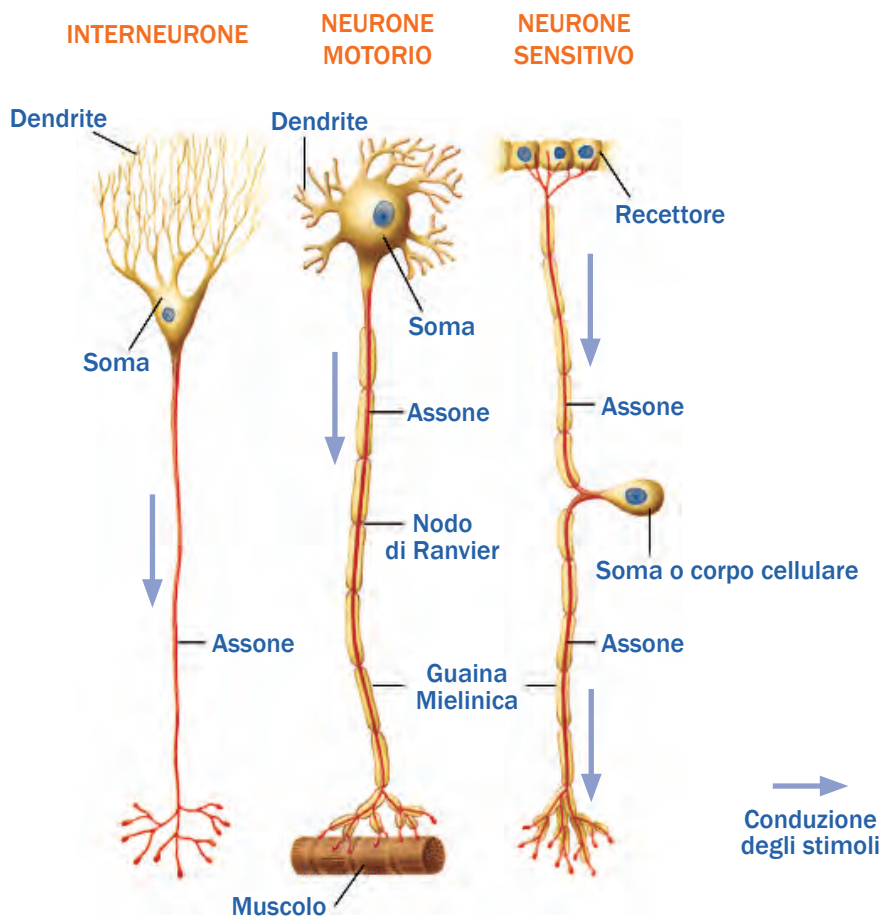
Che tipo di messaggi si scambiano tra di loro i neuroni?

queste due regioni abbiamo il corpo cellulare, il **pirenoforo** o **soma**, la zona dove si trova il nucleo. A causa di questa specializzazione, all'interno del neurone, la comunicazione viaggia in una sola direzione, e cioè dai dendriti verso l'assone, e così via da una cellula a un'altra. I neuroni si scambiano dei messaggi formando una rete di cellule che riceve e invia segnali in modo veloce e ordinato  *figura 6*.

I messaggi sono costituiti, nella maggior parte dei casi, da molecole di **neurotrasmettitori**, sostanze chimiche



Figura 6. La struttura dei neuroni



anche molto diverse tra di loro, come il glutammato, l'acetilcolina, la glicina, il GABA eccetera.

Il sistema nervoso dei mammiferi usa circa una dozzina di neurotrasmettitori a basso peso molecolare  *tabella 2*, i quali a loro volta possono agire su circa un centinaio di recettori, e diversi neuropeptidi.



Tabella 2. I neurotrasmettitori più importanti

NEUROTRASMETTITORI A BASSO PESO MOLECOLARE	
AMINOACIDI E DERIVATI	glutammato, aspartato, acido gamma-aminobutirrico (GABA), glicina
AMINE	monoamine: acetilcolina, serotonina, istamina catecolamine: adrenalina, noradrenalina, dopamina
PURINE E DERIVATI	ATP, adenosina
NEUROTRASMETTITORI AD ALTO PESO MOLECOLARE	
NEUROPEPTIDI	somatostatina, endorfine, neuropeptidi ipotalamici e enterici

Ognuna di queste molecole trasporta un messaggio in una lingua diversa che, per essere compreso, dovrà essere tradotto nel linguaggio comune a tutti i neuroni. Come avviene la traduzione — o, più correttamente, la **trasduzione** — del messaggio?

Sulla **membrana** delle cellule, in prossimità dei dendriti, sono presenti delle proteine specializzate per la traduzione del messaggio, i **recettori**. Questi sono specifici per un solo tipo di neurotrasmettitore e lo riconosceranno fra i molti altri che potrebbero essere presenti. Il riconoscimento implica un **legame** tra il neurotrasmettitore e il suo recettore, che li farà rimanere attaccati per un tempo variabile, ma sufficiente a far cambiare forma al recettore.


Questa variazione di forma (variazione conformazionale) dà inizio al meccanismo della traduzione del messaggio, che può avvenire in

diversi modi. I **recettori** sono spesso delle proteine a forma di canale che, in assenza del neurotrasmettitore, hanno il canale chiuso. Quando il neurotrasmettitore si lega al recettore, il canale si apre e permette il passaggio di ioni carichi positivamente o negativamente. Nel primo caso avremo, ad esempio, il movimento attraverso il canale di ioni sodio (Na^+), potassio (K^+) o calcio (Ca^{2+}) e il neurotrasmettitore si definisce **eccitatorio**; nel secondo caso avremo il movimento di ioni come il cloro (Cl^-) e il neurotrasmettitore si definisce **inibitorio**.

Per altri tipi di recettori, invece, il legame tra neurotrasmettitore e recettore provoca una variazione di forma che, a sua volta, induce la generazione di altri messaggi all'interno del neurone: sono i **secondi messaggeri** (che arrivano cioè dopo il primo messaggero, costituito dal neurotrasmettitore). I secondi messaggeri contribuiscono alla traduzione dell'informazione portata dal neurotrasmettitore, andando a regolare l'apertura o la chiusura di altri canali proteici. Anche in questo caso entreranno o usciranno dalla cellula, attraverso il canale aperto, degli ioni carichi positivamente o negativamente.



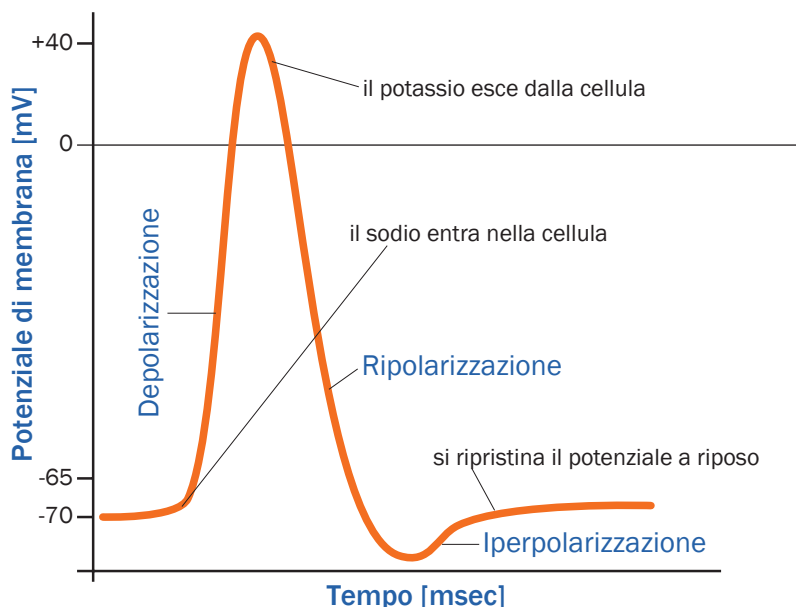
Il linguaggio comune dei neuroni

La base del linguaggio comune a tutti i neuroni è proprio il movimento degli ioni attraverso i canali, espressi sulla superficie della membrana cellulare. I neuroni sono delle cellule **eccitabili**, in quanto il movimento degli ioni attraverso la loro membrana cellulare determina delle variazioni elettriche del loro potenziale di membrana (**potenziali d'azione**) che si propagano istantaneamente (pochi millisecondi) lungo la cellula  *figura 7*.

È proprio la possibilità di generare potenziali d'azione che consente alle cellule nervose di trasformare un pensiero in azione in pochissimo tempo; questa capacità è comune solo a pochi altri tipi di cellule nel nostro corpo, come ad esempio le cellule del muscolo scheletrico e del muscolo cardiaco.




Figura 7. Il potenziale d'azione



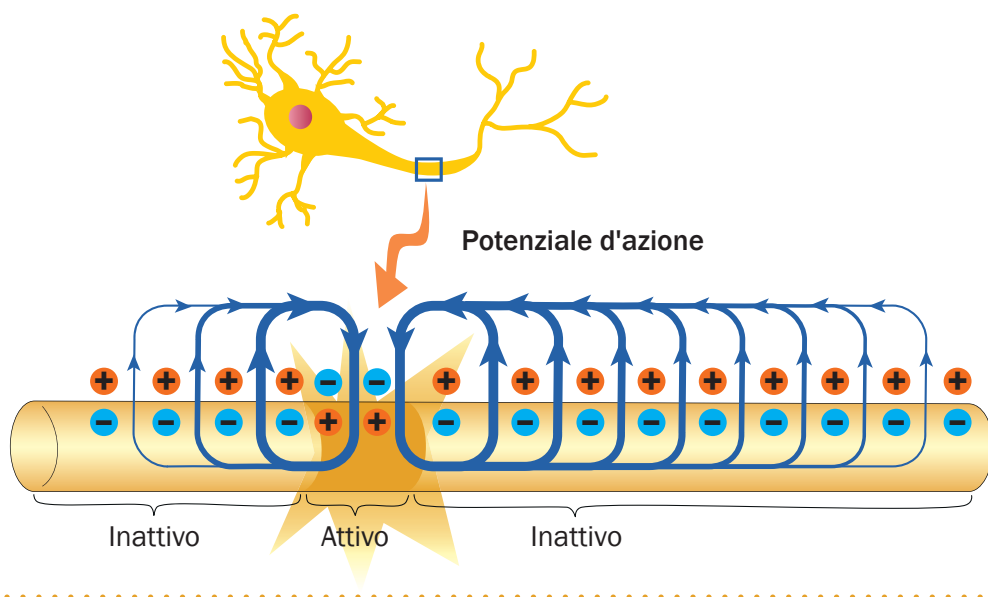
Un potenziale d'azione è una rapida variazione del **potenziale di membrana**, provocato dall'apertura di **canali voltaggio-dipendenti** presenti a livello delle terminazioni dendritiche, che si rigenera propagandosi lungo la membrana neuronale.

Può essere generato quando un neurotrasmettitore "eccitatorio", come il glutammato, si lega a un recettore canale; questo legame provoca l'apertura del canale stesso e gli ioni carichi positivamente possono passare attraverso il canale, muovendosi dalla zona in cui sono maggiormente concentrati alla zona in cui lo sono di meno. A seconda della quantità di ioni positivi presenti all'interno e all'esterno della membrana cellulare, avremo un movimento in entrata o in uscita. Nel nostro caso entreranno principalmente ioni Na^+ . Se si è attivato un numero sufficiente di recettori, questo movimento di cariche elettriche determinerà una variazione del potenziale elettrico della membrana cellulare che può provocare

**Cos'è un
potenziale
d'azione?**

l'ulteriore apertura di altri canali specifici per il Na^+ (voltaggio-dipendenti), che si apriranno molto velocemente, provocando il movimento di un gran numero di ioni sodio dall'esterno verso l'interno, generando il potenziale d'azione che si trasmetterà in pochi millisecondi a tutto il neurone  *figura 8*.

 *Figura 8.* La propagazione dell'impulso nervoso



Quando il potenziale d'azione, attraversando il neurone in tutta la sua lunghezza, arriva a livello della terminazione assonale, innesca un altro meccanismo, fondamentale per continuare a propagare il segnale ad altre cellule neuronali: la **liberazione del neurotrasmettitore**.


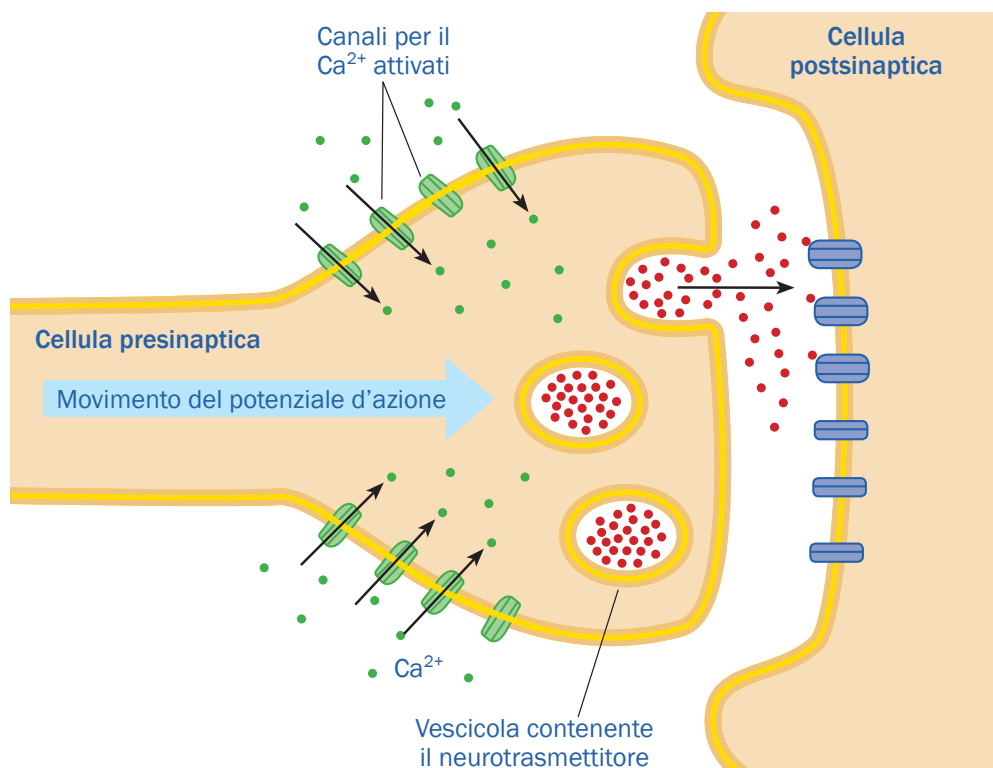

I neurotrasmettitori sono contenuti nella parte terminale dell'assone, all'interno di vescicole  *figura 8*. Questi piccoli palloncini pieni di molecole di neurotrasmettitori aspettano solo di ricevere il segnale giusto per trasportare queste molecole all'esterno del neurone. Il



Figura 9. La trasmissione sinaptica



segnale è rappresentato dall'arrivo del potenziale d'azione che provoca l'apertura di altri canali, questa volta specifici per lo ione calcio, che entra rapidamente nella cellula e fa sì che le vescicole rilascino il loro contenuto di neurotrasmettitori all'esterno  *figura 9.*



Le sinapsi

La zona in cui un neurone libera il neurotrasmettitore si trova in contatto strettissimo con la regione di un altro neurone, che dovrà ricevere e trasportare a sua volta l'informazione. Questa zona di contatto prende il nome di **sinapsi**.

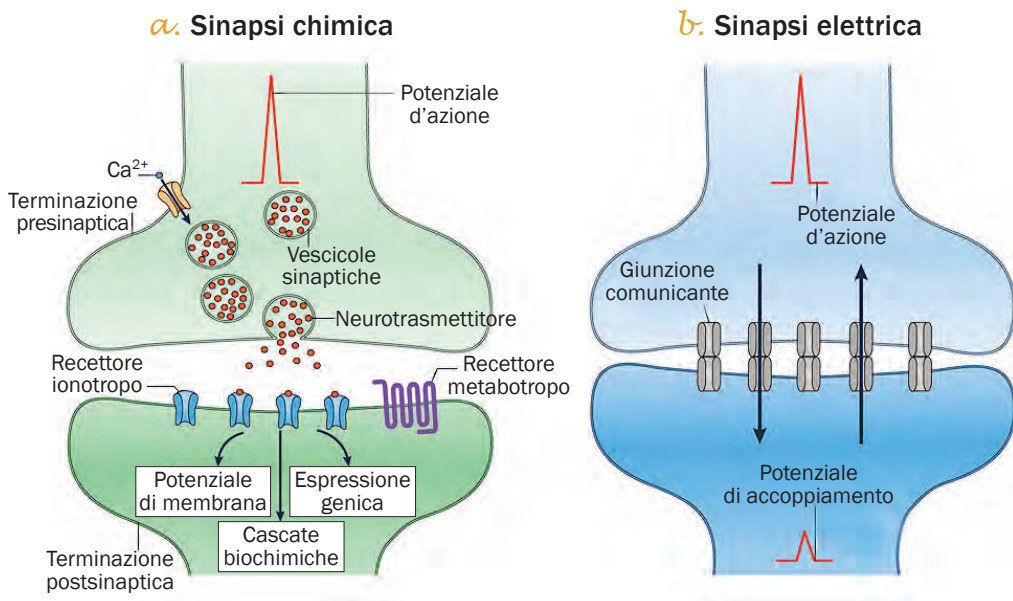
Le sinapsi (dal greco *synapsis*, giunzione, connessione) sono delle regioni in cui due elementi cellulari vengono a contatto. Oggi sappiamo che esistono **sinapsi chimiche**, le più diffuse nel nostro sistema nervoso, e **sinapsi elettriche**, presenti solo in alcune specifiche regioni.

Nelle sinapsi chimiche l'elemento cellulare **presinaptico** presenta al suo interno delle vescicole rivestite di membrana contenenti **neurotrasmettitori**, cioè delle molecole di segnalazione che possono avere una funzione eccitatoria o inibitoria.


In seguito a uno stimolo specifico, che culmina con l'aumento della concentrazione degli ioni calcio nella terminazione presinaptica, le vescicole si fondono con la membrana cellulare e liberano il loro contenuto nello spazio intersinaptico (largo solo 20 nm) che le separa dall'elemento **postsinaptico**, dove si trovano specifiche strutture, i **recettori**, in grado di riconoscere e legare con elevata specificità i neurotrasmettitori.




Figura 10. La struttura della sinapsi chimica e della sinapsi elettrica



Il neurotrasmettitore rilasciato viene poi rapidamente degradato, oppure ricaptato nella terminazione presinaptica o in altri elementi cellulari adiacenti, per interrompere la trasmissione dell'impulso nervoso ed evitare un'attivazione cellulare eccessiva.

Un classico esempio di **sinapsi chimica** è costituito dalla **giunzione neuromuscolare**, in cui il neurone motore rilascia **acetilcolina**, un neurotrasmettitore eccitatorio che si lega a specifici recettori muscolari (detti nicotinici, perché attivabili anche dalla nicotina, una molecola presente nelle foglie di tabacco), la cui attivazione rappresenta il primo passo per arrivare alla contrazione muscolare  *figura 10a.*

Le **sinapsi elettriche**, invece, sono dei punti di contatto tra cellule nervose, dove la trasmissione delle informazioni avviene attraverso delle proteine di membrana che costituiscono un vero e proprio tunnel per il trasferimento di informazioni (connessoni).

Le sinapsi elettriche, quindi, consentono lo scambio diretto di corrente da una cellula a un'altra, trasmettendo rapidamente il segnale elettrico, questa volta in modo bidirezionale  *figura 10b.*

Attraverso le sinapsi, quindi, i neuroni prendono contatto tra di loro e con le strutture da essi controllate, formando dei veri e propri “circuiti” elettrici, attraverso i quali viaggiano le informazioni: una rete di comunicazione ad alta velocità!



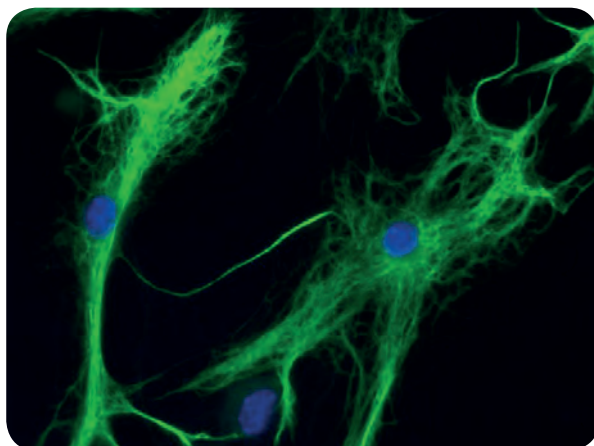
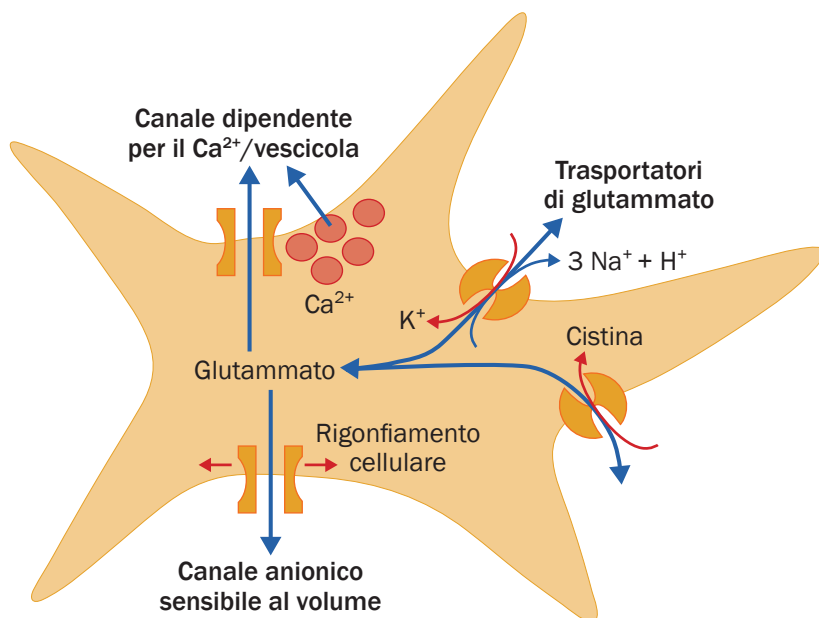
Gli “assistenti personali” dei neuroni: le cellule della glia



Nel loro lavoro di trasferimento di informazioni da una parte all'altra del corpo, i neuroni hanno bisogno di assistenti validi su cui poter contare. Le cellule della glia costituiscono eccellenti elementi di supporto all'attività neuronale. Contrariamente a quanto si è pensato per diversi anni, le cellule gliali (dal greco *glía*, colla) non sono passivi elementi di supporto per i neuroni, una specie di impalcatura su cui i neuroni si

possono sviluppare e organizzare formando connessioni funzionali. In realtà, esse svolgono diversi ruoli attivi senza i quali il nostro sistema nervoso non sarebbe in grado di funzionare normalmente. In queste pagine descriveremo principalmente l'attività di due tipi di cellule della glia che, nel sistema nervoso centrale, consentono alle funzioni appena descritte di svolgersi senza errori: gli astrociti e gli oligodendrociti.



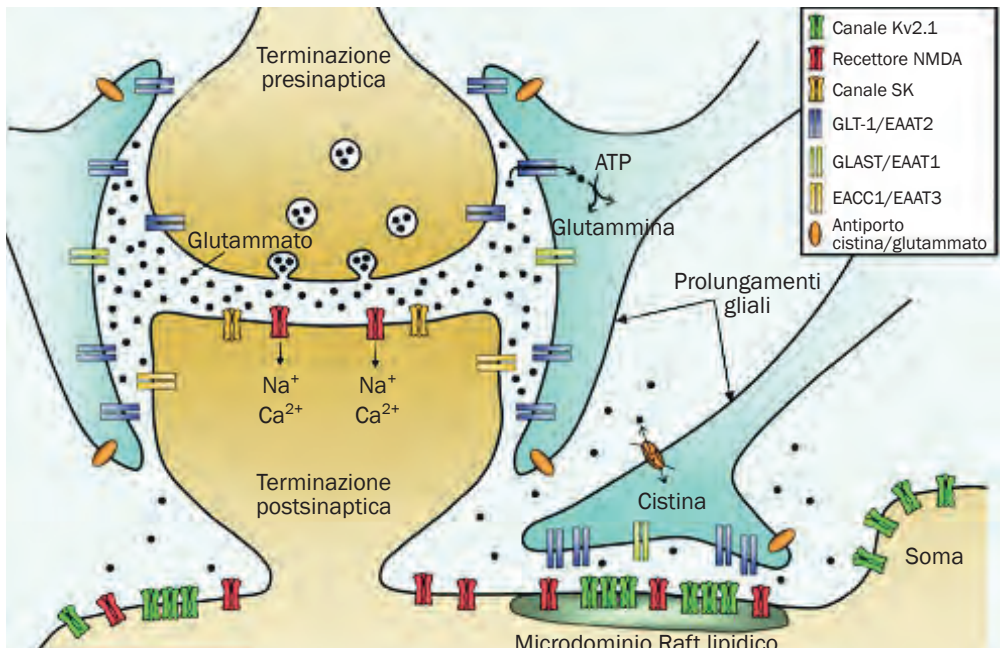
Figura 11. Astrocita



Gli **astrociti** ( *figura 11*) sono delle cellule a forma di stella che, per svolgere bene il loro lavoro di assistenti, si dispongono in modo ordinato attorno al punto di contatto tra i neuroni, cioè alle sinapsi. Gli astrociti compongono il terzo elemento cellulare che costituisce la sinapsi, insieme alle terminazioni pre- e postsinaptiche. Questa struttura, nel suo complesso, prende il nome di **sinapsi tripartita**  *figura 12*.

Per comprendere il rapporto tra la sinapsi e gli astrociti, si può immaginare la sinapsi tra due neuroni come i volti di due persone, una che parla nell'orecchio dell'altra, tenendo le mani attorno alla bocca. In questo esempio, la bocca rappresenta la porzione presinaptica, che manda un messaggio, l'orecchio la terminazione postsinaptica, che riceve il messaggio, e le mani le terminazioni degli astrociti, che controllano che il trasferimento di informazioni avvenga senza problemi.

 *Figura 12.* Sinapsi tripartita



**Qual è
il compito
degli
astrociti?**

Cosa fanno gli astrociti in questa regione strategica per la trasmissione dell'informazione? Prima di tutto hanno l'importante funzione di eliminare dall'ambiente extracellulare quelle sostanze che fuoriescono dai neuroni durante la loro attivazione, come gli ioni potassio, che escono dalle cellule nervose alla fine del potenziale d'azione (fase di ripolarizzazione). Gli astrociti sono anche coinvolti nel recupero dei neurotrasmettitori rilasciati dalla terminazione nervosa presinaptica, per evitare un'eccessiva stimolazione neuronale.


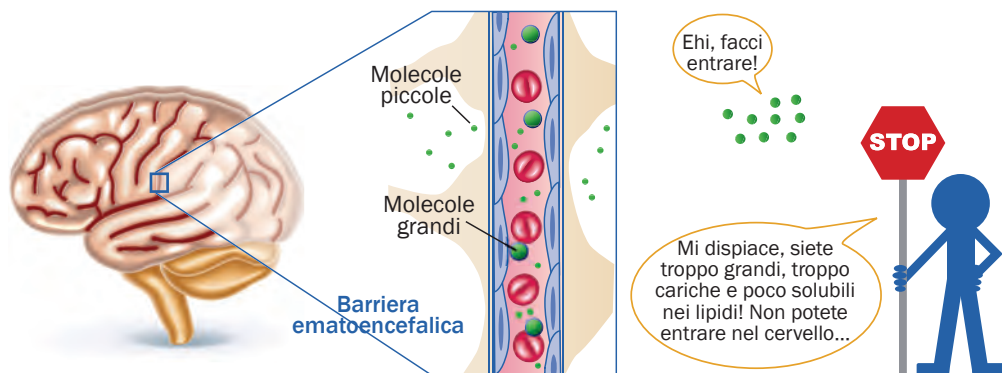
Un'altra funzione importante degli astrociti è quella di contribuire alla formazione della **barriera ematoencefalica**, una struttura che separa il sistema nervoso centrale dal contatto con il sangue, per impedire (o meglio limitare) l'ingresso di cellule del sistema immunitario, che potrebbero danneggiare i neuroni  *figura 13*.



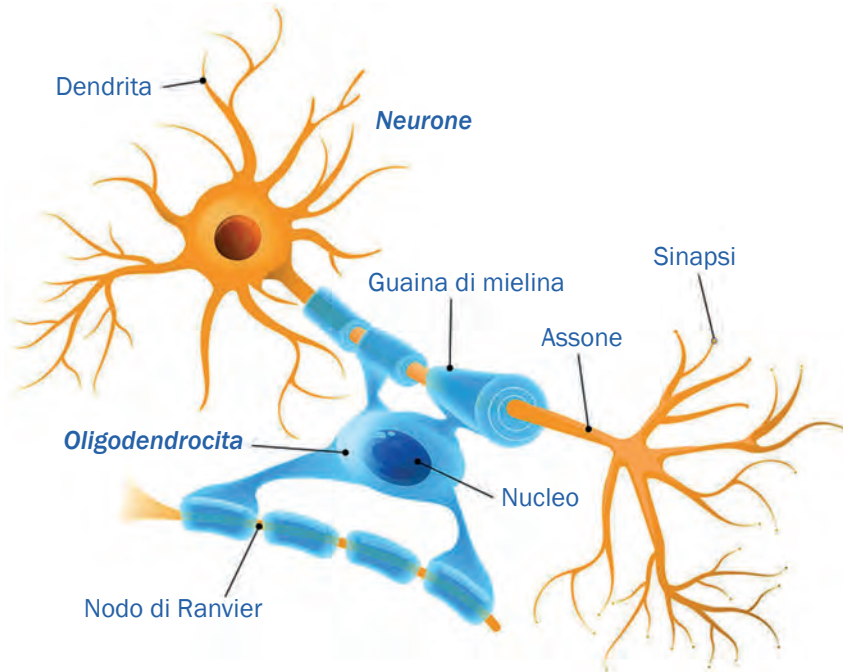
Figura 13. La barriera ematoencefalica




Gli **oligodendrociti** (e, nel sistema nervoso periferico, le **cellule di Schwann**) sono cellule fondamentali che consentono ai neuroni di inviare segnali elettrici lungo gli assoni – a velocità che possono arrivare fino a 120 metri al secondo – nelle fibre nervose più grandi. Per fare questo, gli oligodendrociti si avvolgono attorno agli assoni delle



Figura 14. Oligodendrocita



cellule neuronali, formando uno strato di **mielina**  *figura 14*, un vero e proprio manicotto isolante che impedisce di disperdere la corrente elettrica che viaggia con il potenziale d'azione, velocizzando la trasmissione dell'informazione. Per certi versi, la funzione degli oligodendrociti è simile a quella dello strato di guaina isolante che viene avvolta attorno ai fili elettrici utilizzati nelle nostre case, che impedisce la dispersione di corrente nel passaggio attraverso il materiale conduttore. In questo modo, l'impulso elettrico non perde di intensità nel movimento lungo i fili e viene anche mantenuto nel passaggio lungo l'assone, che in più ha anche la possibilità di rigenerare l'impulso nelle regioni prive di rivestimento di mielina, i nodi di Ranvier, regioni particolarmente ricche di canali per il Na^+ voltaggio-dipendenti, necessari per indurre nuovi potenziali d'azione. Questo tipo di conduzione dell'impulso nervoso viene definita "saltatoria", perché la corrente sembra saltare letteralmente da un nodo all'altro.



Le “guardie del corpo” dei neuroni: le cellule della microglia

Le cellule della **microglia** costituiscono gli unici elementi del sistema immunitario presenti nel sistema nervoso sin dalla nascita.


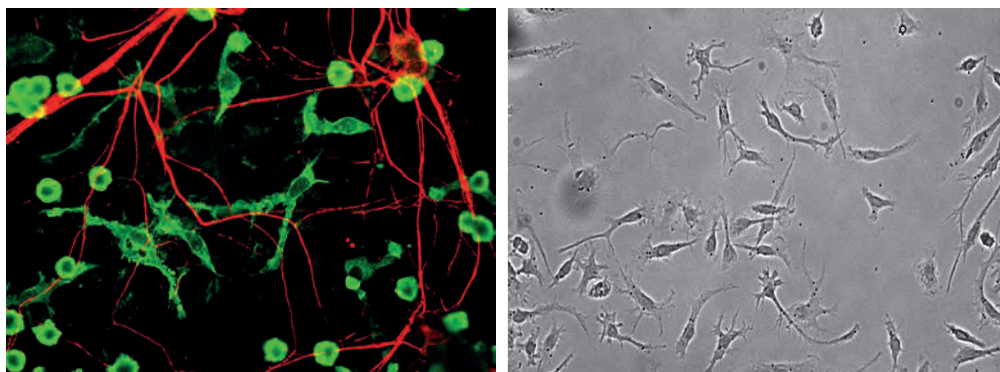
Sono delle cellule molto particolari, delle vere e proprie guardie del corpo dei neuroni, dei “poliziotti di quartiere” che controllano il territorio di loro competenza, andando avanti e indietro per le strade e verificando eventuali difficoltà o richieste di aiuto  *figura 15*.



Figura 15. La microglia



A sinistra: la microglia (in verde) vista con un microscopio a fluorescenza.

A destra: la microglia vista con un microscopio a contrasto di fase.

Hanno, quindi, un ruolo chiave nel continuo monitoraggio dello stato di salute delle cellule neuronali circostanti, grazie al movimento dei loro prolungamenti cellulari che, in caso di danno neuronale, sono rapidamente attratti verso la regione danneggiata, dove intervengono per impedire che il danno si diffonda alle regioni vicine.

Come vedremo, questa attività è molto importante, anche perché i neuroni sono tra le poche cellule del nostro corpo che non possono essere sostituite in caso di danno, se non parzialmente.





Gli “agenti operativi”: le strutture che obbediscono ai comandi dei neuroni

Abbiamo visto in che modo i neuroni trasportano le informazioni che dovranno controllare le diverse funzioni del nostro corpo. Quali sono le funzioni controllate dai neuroni? E quali sono i sistemi coinvolti?

**Quali
funzioni
controllano
i neuroni?**

Non è possibile rispondere in modo semplice a questa domanda; ma possiamo fare alcuni esempi che diano un'idea di come l'attività del sistema nervoso sia necessaria per le nostre azioni volontarie, per tutte le nostre funzioni vitali e per la formazione delle idee.

Per svolgere un **movimento volontario**, come muovere una gamba, il segnale nervoso viene elaborato nel nostro cervello a livello della corteccia motoria e poi trasportato fino al midollo spinale, nella colonna vertebrale, dove si trovano i neuroni coinvolti nel controllo dei muscoli della gamba  *figura 16*.

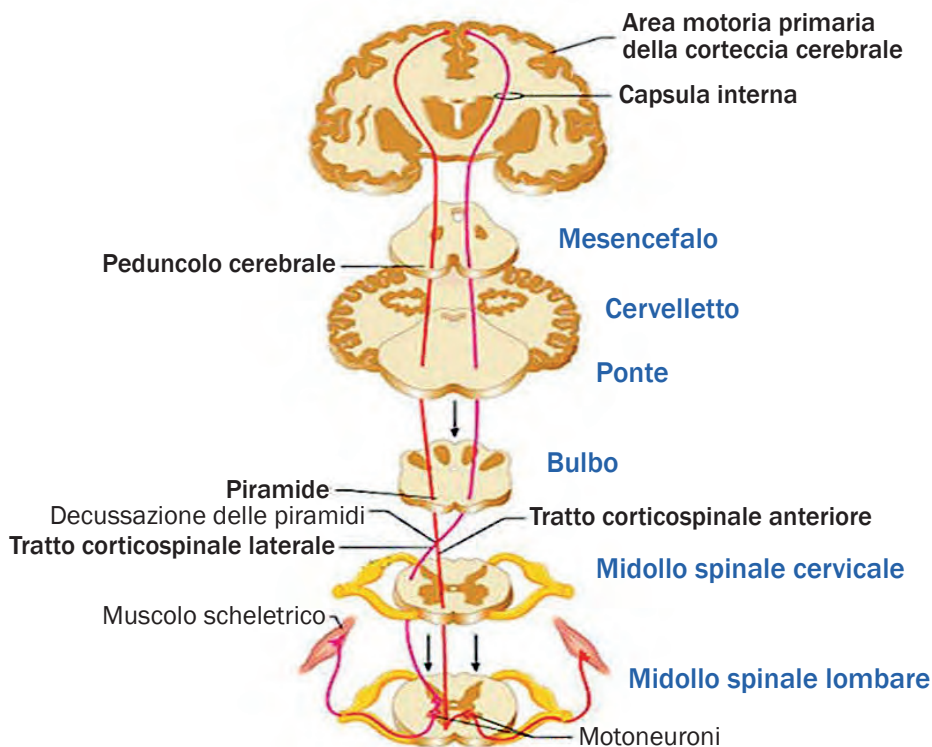
L'operazione diventa più complessa e coinvolge anche altre regioni del nostro cervello se il movimento della gamba è associato all'azione di colpire un pallone per tirare un calcio di rigore  *figura 17*.

In questo caso entrano in gioco molti altri elementi, perché il movimento diventa finalizzato al raggiungimento di un obiettivo (fare gol) e perché, nell'effettuare il tiro, dobbiamo considerare una serie di fattori, tra cui le dimensioni della porta, la posizione del portiere tra i pali, la presenza di fattori ambientali di disturbo come il vento, il sole o le persone che ci stanno guardando tirare.

Possiamo, inoltre, attuare delle strategie per ingannare il portiere sulle nostre intenzioni di calciare in una certa direzione e dobbiamo cercare di non emozionarci al pensiero di poter sbagliare e delle conseguenze che questo avrebbe sulla partita e sul nostro umore.



Figura 16. Il controllo nervoso della funzione motoria

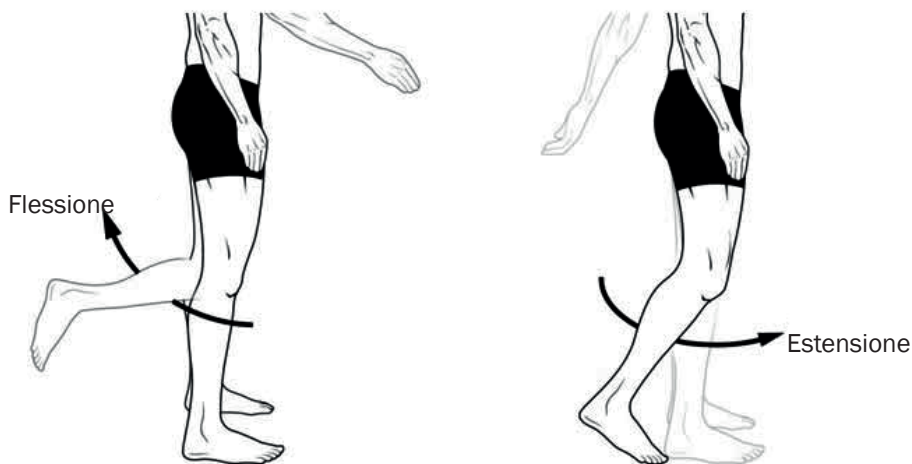


Ecco, quindi, che un'azione apparentemente semplice diventa una faccenda complicatissima che il cervello, tuttavia, riesce a gestire. Questo perché, come vedremo più avanti, il nostro cervello impara dall'esperienza e può pertanto contare su un gran numero di informazioni acquisite in precedenza, integrandole con le informazioni sensoriali che arrivano dall'ambiente esterno e dal nostro corpo, tra cui anche le emozioni. Il prodotto finale dell'elaborazione di questi segnali, che viene svolta in diverse aree della corteccia cerebrale (motoria supplementare e parietale), arriva ai neuroni che attivano i muscoli coinvolti nel movimento richiesto.

Qual è, invece, il contributo del sistema nervoso nel caso di **attività involontarie**, che si attivano cioè senza il nostro controllo? Quando



Figura 17. Il movimento volontario



stiamo seduti sul divano a leggere un libro, il nostro cuore batte circa 60-70 volte al minuto; se facciamo una corsa alla massima velocità di cui siamo capaci, la frequenza del battito cardiaco può aumentare di due o tre volte, in modo variabile con l'età e il nostro livello di allenamento. Variazioni della frequenza cardiaca possono essere indotte da numerosi altri fattori come il sonno, la febbre, la paura, un'emozione o, semplicemente, dopo aver mangiato qualcosa.


In questi casi, entra in azione un settore del sistema nervoso definito “autonomo” perché, per attivarsi, non ha bisogno di un nostro comando cosciente. Risponde, infatti, a richieste che giungono direttamente dal nostro corpo, attraverso risposte di tipo “riflesso”, per il controllo di funzioni omeostatiche. Altre funzioni controllate in questo modo sono, ad esempio, i processi digestivi, la respirazione, la pressione arteriosa, la temperatura corporea.

Abbiamo detto che il nostro sistema nervoso è un prodotto complesso dell’evoluzione, che ci consente di formulare concetti astratti e di provare sentimenti. Sebbene non sia ancora ben chiaro come si sviluppi la coscienza e come nascano le intuizioni o le idee geniali, si sa che per le cosiddette “funzioni superiori” sono fondamentali le interazioni tra strutture cerebrali diverse a livello della corteccia cerebrale: si tratta delle “aree associative”.



So cosa stai facendo: i neuroni specchio

La caratteristica particolare di questi neuroni è la loro attivazione nel corso di attività motorie, ma anche in risposta a stimolazioni sensoriali. I **neuroni specchio** si attivano cioè sia quando *osserviamo* una persona compiere un movimento, come afferrare un oggetto o mordere una mela, sia quando noi stessi *eseguiamo* quel movimento (afferriamo un oggetto o mordiamo una mela).

In aggiunta, questi neuroni ci consentono di **prevedere** quale azione sta per svolgere una persona che stiamo osservando: se vediamo una persona avvicinare la mano nella quale stringe una mela verso il viso, anche se non vediamo la sua bocca, sappiamo comunque che la mela è stata portata verso la bocca per essere morsa  *figura 18*.

Riusciamo cioè a prevedere quale azione sarà compiuta dalla persona anche se non la possiamo vedere nel dettaglio. I neuroni specchio, quindi, sembrano svolgere un ruolo chiave nella trasmissione ed elaborazione di informazioni importanti dal punto di vista **sociale**, della



Figura 18. Attivazione dei neuroni specchio



nostra vita di relazione, consentendo di **capire le azioni**, ma anche le **intenzioni** delle persone che ci circondano. Questo ha sicuramente giocato un ruolo importante nell'evoluzione, favorendo le interazioni sociali e la convivenza, dando un vantaggio selettivo alla capacità di vivere in gruppi, in comunità composte da più individui.



Quando il nostro sistema nervoso si mette in standby: l'importanza del sonno

Il **sonno** rappresenta uno dei misteri più affascinanti del nostro sistema nervoso. Per quale motivo dormiamo? Possiamo fare a meno di dormire? Mentre per la prima domanda non abbiamo ancora una risposta convincente, sappiamo con certezza che la risposta alla seconda domanda è **no**. La mancanza completa di sonno crea gravi alterazioni del nostro metabolismo, ma anche un sonno disturbato, o insufficiente, riduce le nostre capacità di apprendimento, peggiora l'umore e ci rende più deboli di fronte alle infezioni e alle malattie.

**Perché
dormiamo?**

Durante il sonno il cervello, in qualche modo, “si ricarica”. Quando dormiamo il cervello va incontro a fasi di attività elettrica ben precise e facilmente riconoscibili, chiamate **fasi REM** (Rapid Eye Movements, nelle quali abbiamo dei caratteristici movimenti oculari veloci, i muscoli del corpo si rilassano, la temperatura si abbassa e il cuore batte più lentamente) e **fasi non-REM**.

In tutte e due queste fasi facciamo dei **sogni** che possono essere molto vividi, lunghi, di natura visiva e con una componente emozionale importante (fase REM), oppure molto brevi e più correlati a fatti o eventi della vita di tutti i giorni (fase non-REM).

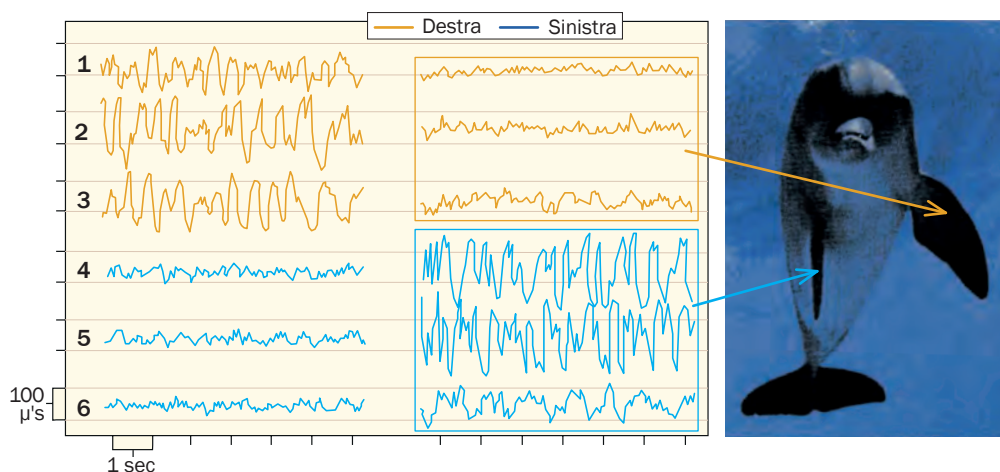
È evidente che il sonno non costituisce di per sé un vantaggio evolutivo per l'organismo: durante il sonno siamo più vulnerabili e, non essendo vigili, non possiamo difenderci da eventuali pericoli. Non solo l'uomo, ma tutti gli animali dormono, anche se con meccanismi e per tempi diversi.

Alcuni animali — come ad esempio i **delfini** — hanno adottato degli stratagemmi particolari per riuscire a dormire senza mettere a rischio



Figura 19. Alternanza veglia/sonno nel delfino

Modificato da G. Tononi, C. Cirelli. *Sonno*. In "Fisiologia Medica". Ermes, 2005



la loro sopravvivenza. Il cervello di questi animali non è mai interamente coinvolto nel periodo di riposo: per poter continuare a respirare e nuotare, il delfino dorme con un emisfero cerebrale alla volta. Questa alternanza di riposo e attività riguarda anche il movimento: durante il riposo dell'emisfero sinistro, il lato opposto del corpo dell'animale (il destro) ha una muscolatura del tutto rilassata e l'occhio è chiuso; succede il contrario, durante il riposo dell'emisfero destro



figura 19.



La plasticità del sistema nervoso: l'importanza delle esperienze

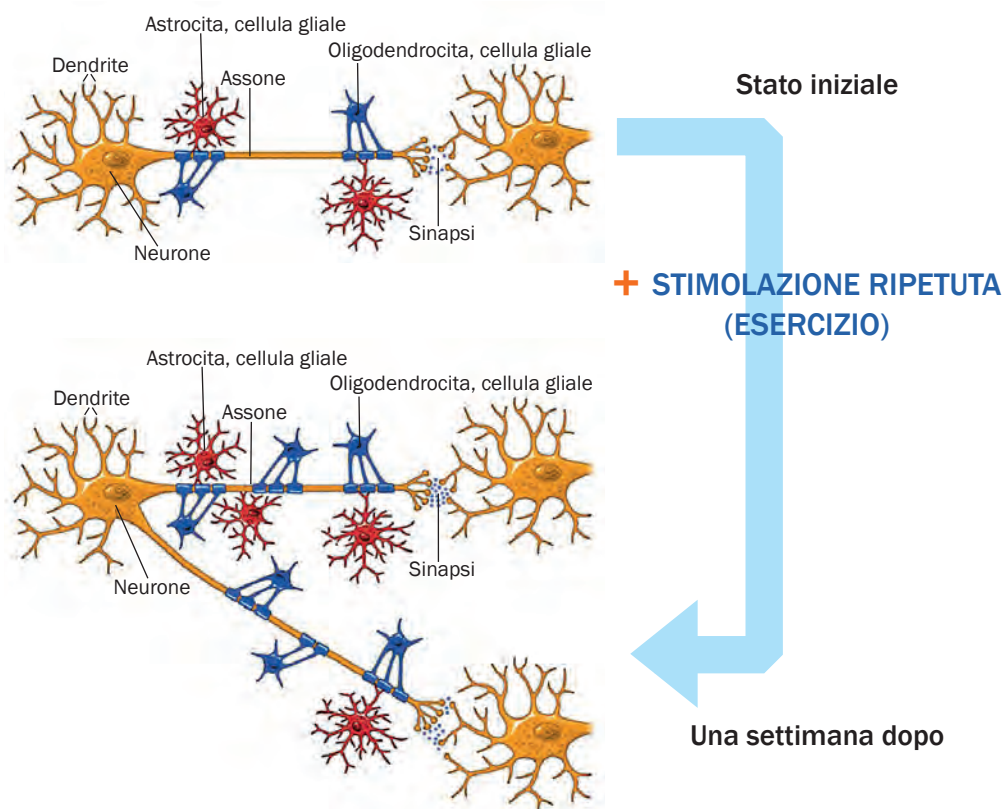
Con il termine **plasticità** si indica la caratteristica del sistema nervoso di essere modificato. I neuroni e i circuiti neuronali, infatti, sono in grado di modificarsi, sia strutturalmente che funzionalmente, in risposta alle **esperienze**, variando l'efficacia della comunicazione tra i circuiti preesistenti e creandone di nuovi. Questa proprietà è importantissima per adattare il nostro comportamento all'ambiente circostante, per i processi di memoria e apprendimento e per la capacità di prevenire o rallentare alcune malattie del sistema nervoso. Le diverse esperienze che viviamo si traducono, nel nostro cervello, in variazioni di attività elettrica, nella formazione di nuove sinapsi e in modifiche della struttura dei processi neuronali.

I bambini hanno un sistema nervoso estremamente plastico. Questo è il motivo per cui imparano con più facilità e apprendono più velocemente degli adulti nuove lingue. La plasticità del sistema nervoso diminuisce con l'età, ma continua a essere presente, in forme diverse, nell'età adulta e persino in vecchiaia. Tuttavia, alcuni fenomeni di plasticità, come i cosiddetti “periodi critici”, sono presenti solo in certi momenti della vita.

Il **periodo critico** è un momento di grande plasticità del sistema nervoso e riguarda specifiche funzioni: un esempio classico è quello che




Figura 20. La plasticità del sistema nervoso



riguarda la vista. Se nei bambini viene coperto uno dei due occhi con una benda per un periodo prolungato di tempo, i neuroni della corteccia cerebrale che ricevono impulsi dall'occhio bendato riducono la loro attività, a favore di quelli che ricevono impulsi dall'altro occhio. Queste sono delle variazioni di funzione, ma anche di struttura, che provocano importanti cambiamenti a livello delle sinapsi dei neuroni visivi e una riduzione della capacità visiva dell'occhio che è stato coperto.

Una volta tolta la benda, si ha un recupero completo della vista, ma i rimodellamenti di forma rimangono, lasciando **una traccia** nel cervello, che potrà cambiare la nostra risposta a successive esperienze di privazione.

Un altro esempio di plasticità cerebrale è la capacità di alcune regioni specifiche del cervello di generare nuovi neuroni (**neurogenesi**). Ma attenzione! Abbiamo appena definito i neuroni come delle cellule altamente specializzate, che possono modificare la loro forma e funzione in seguito alle esperienze, rinforzando o riducendo la comunicazione in punti specifici del circuito. Una struttura così complessa, se danneggiata, non può essere riparata facilmente, sia perché i neuroni non sono cellule che proliferano, e non possono sostituire i neuroni morti con nuovi neuroni, sia perché le connessioni tra cellule neurali sono il frutto delle continue modifiche che abbiamo descritto.

Eppure, ci sono delle eccezioni a questa regola: in risposta a stimoli del tutto fisiologici, quali un'attività sportiva, l'esposizione a un ambiente stimolante (**ambiente arricchito**) e alle cure materne nella primissima infanzia, ma anche in caso di malattie del sistema nervoso (probabilmente nel tentativo di riparare il danno subito), si formano nuove connessioni che possono aggiungersi a quelle preesistenti o sostituire quelle danneggiate e, cosa inaspettata, si possono formare nuove cellule neuronali  *figura 20*.

Le regioni del cervello in cui avviene la neurogenesi, durante tutta la nostra vita, sono il **giro dentato** a livello della regione ippocampale, e la **regione subventricolare**. I neuroni neoformati riescono solo in parte a integrarsi nei circuiti neurali funzionanti o danneggiati, ma esercitano comunque sempre un'importante azione di supporto nella funzione dei circuiti preesistenti. Questa azione di supporto è in grande parte mediata dalla produzione di **neurotrofine**, fattori di crescita delle cellule nervose.



Le neurotrofine: la grande scoperta di Rita Levi Montalcini

Le neurotrofine sono delle proteine fondamentali per lo sviluppo e il normale funzionamento del sistema nervoso centrale e periferico

e hanno un ruolo determinante in tutti i processi di plasticità di cui abbiamo parlato. La scoperta della prima neurotrofina, il fattore di crescita delle cellule nervose (**NGF**, nerve growth factor), si deve alla scienziata italiana Rita Levi Montalcini che, per i suoi studi, ricevette il premio Nobel per la Medicina nel 1986.

Rita Levi Montalcini scoprì che l'NGF è un vero e proprio **fattore di sopravvivenza** per alcuni tipi di neuroni ed è fondamentale per impedire che i neuroni si “suicidino” durante lo sviluppo del sistema nervoso. La grande novità introdotta da questa scoperta fu che le cellule nervose, oltre a trasmettere segnali, hanno bisogno di ricevere segnali dalle strutture (cellule nervose e non) che vanno a innervare, una specie di approvazione che determina il successo della connessione. In assenza di questo segnale, la sinapsi non si forma e, se il neurone non trova un altro contatto che gli fornisca un segnale di sopravvivenza, degenera.

Oltre all'NGF, ci sono numerosi altri fattori di crescita importanti per la sopravvivenza di diversi tipi di neuroni: il fattore di crescita derivante dal cervello (**BDNF**, brain-derived growth factor), quello epidermico (**EGF**, epidermal growth factor), quello derivante dalla glia (**GDNF**, glial-derived growth factor), quello fibroblastico (**FGF**, fibroblast growth factor), per citarne solo alcuni.

Oltre a esercitare un'azione essenziale per la sopravvivenza cellulare, i fattori di crescita regolano diversi aspetti della trasmissione sinaptica e giocano un ruolo chiave in tutti i fenomeni di plasticità, intervenendo nella formazione di nuovi contatti sinaptici e favorendo la neurogenesi.



Conclusioni

Il sistema nervoso è uno degli organi più affascinanti del nostro corpo, quello con più potenzialità funzionali e, soprattutto, quello che offre ancora moltissimi aspetti da esplorare e comprendere.

Ci auguriamo che questo libro possa contribuire ad avvicinare i ragazzi allo studio delle neuroscienze, facendo loro conoscere i meccanismi alla base del funzionamento delle cellule che compongono il sistema nervoso, le sofisticate tecniche di comunicazione utilizzate e i diversi ambiti regolatori in cui è coinvolto.

Il nostro auspicio è che questo primo contatto con le neuroscienze “accenda” qualche nuovo contatto sinaptico nel cervello dei giovani lettori, da rinforzare più avanti, nel corso degli studi, per formare un’estesa rete di conoscenze e, soprattutto, allenare il cervello a una continua curiosità, per conoscersi meglio e aumentare ogni giorno la “riserva cognitiva”.

PARTE SECONDA

Il viaggio al limite
del possibile

Testi

A cura di un gruppo di alunni della Scuola secondaria di I grado dell'Istituto Comprensivo Statale Dante Alighieri, Opera (Milano).

Classe terza A

Francesco Armenti

Miriam Bertaioli

Alessandro Bertuccio

Pietro Besanzoni

Francesco Bistolfi

Arber Brecani

Floriana Caselotti

Nicole Cavallaro

Madeline Alana Chicchon Tenorio

Ludovica Di Giovine

Erika Di Sabato

Federico Fazio

Chiara Ferrari

Francesco Laserra

Akash Mancin

Alessandro Mangini

Riccardo Monaci

Giorgia Ottolini

Samuele Ravera

Kevin Nicolò Sanchez Ochoa

Tobia Spada

Manuel Gabriele Zanda

Classe seconda F

Giulia Biggiogero

Riccardo Cipolla

Lorenzo Vailati

Diego Fioletti

Lavinia Massa

Samuele Mancin

Classe seconda B

Carola Benvenuti

Aurora Stracuzzi

Lucia Trisorio

Valentina Riso

Con il coordinamento del professor Consolato Danise
(docente di Matematica e Scienze)

Istituto Comprensivo Statale Dante Alighieri, Opera (MI)

MIIC87700C@istruzione.it

www.icopera.gov.it

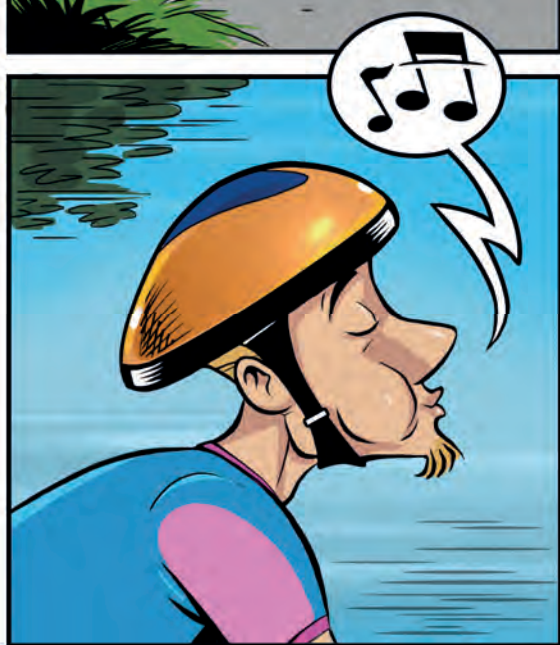
Dirigente scolastico: Dott.ssa Eleonora Coppola

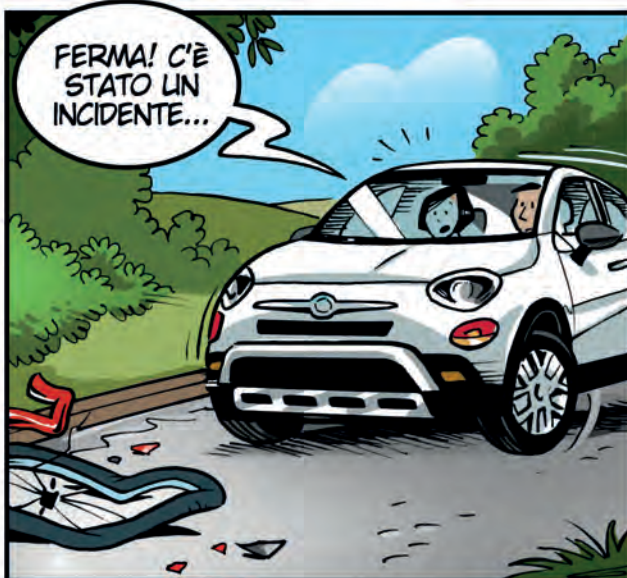
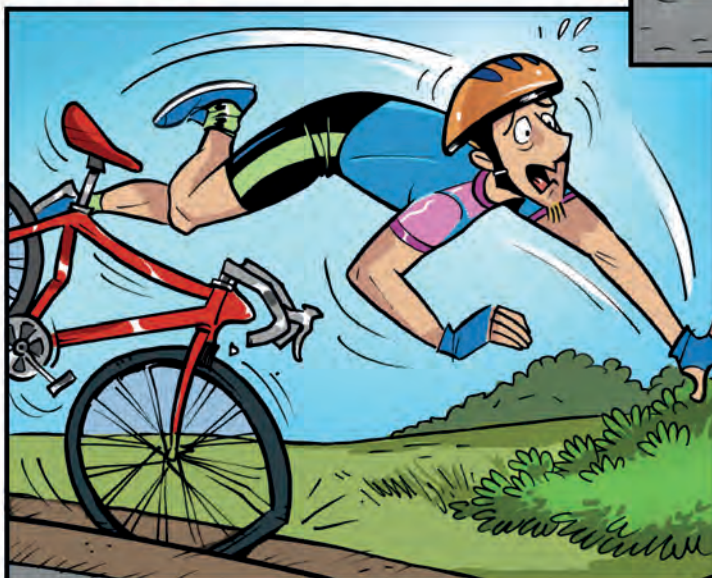
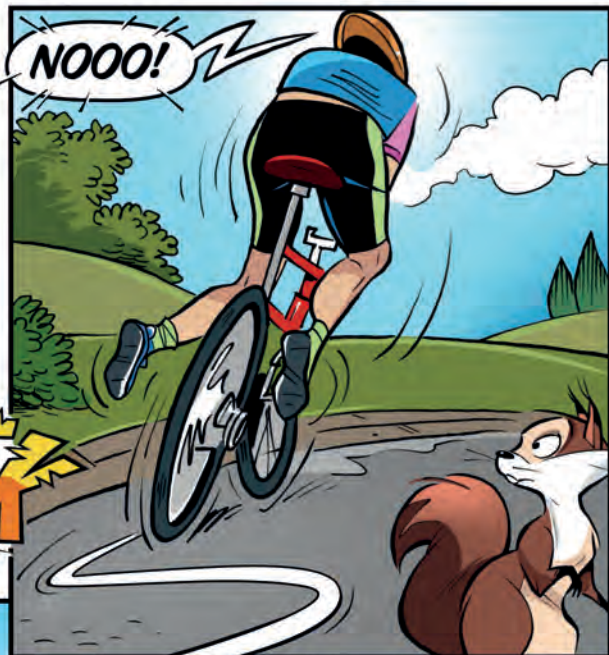
Disegni

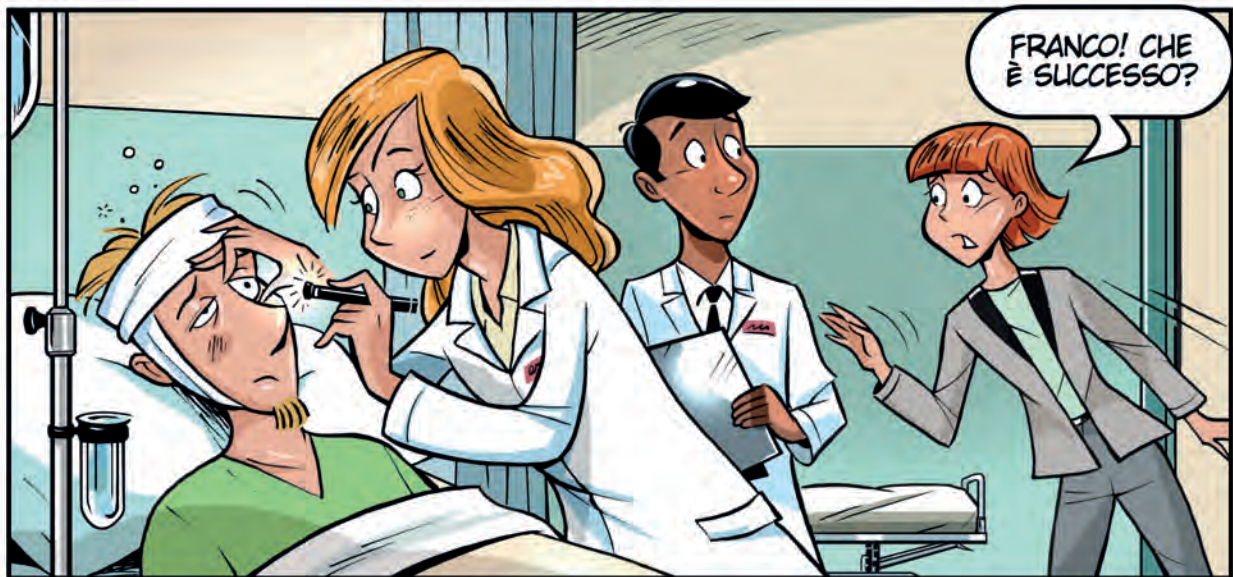
Realizzazione, per la Scuola Romana dei Fumetti, di Fabio Redaelli e Alessandro Telve.

il Viaggio al Limite del Possibile

COME TUTTE LE DOMENICHE, FRANCO È USCITO PER IL SUO SOLITO GIRO IN BICI...





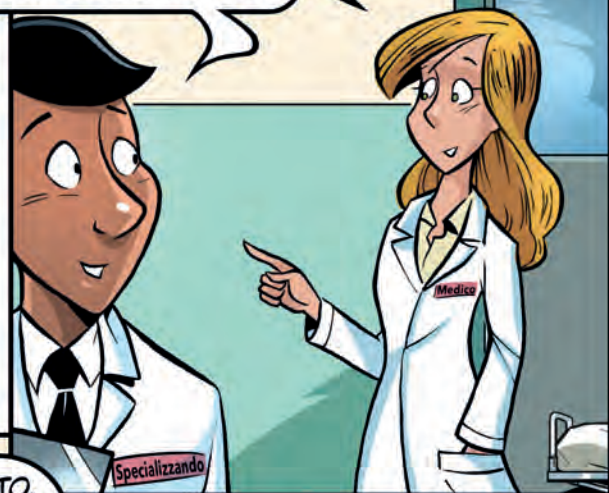


...LO TERREI QUALCHE GIORNO SOTTO
BLANDA SEDAZIONE PER ATTENUARE
I DOLORI DELLA CADUTA...



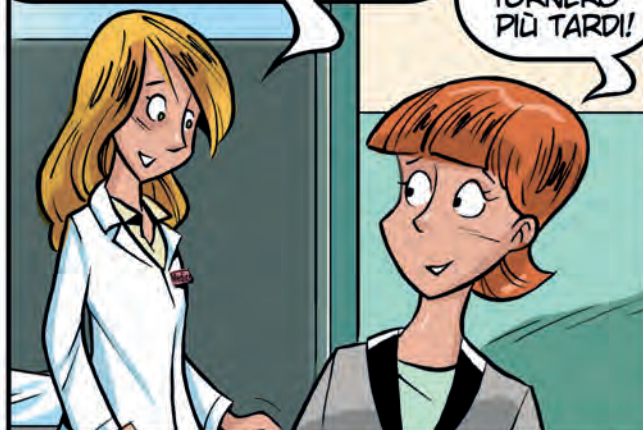
...E SVOLGEREI ULTERIORI ACCERTAMENTI,
VISTO IL PERDURARE DELLO STATO
CONFUSIONALE...

BENE,
PROFESSORESSA...



ORA LASCEREI RIPOSARE UN
PO' IL PAZIENTE, SIGNORA...

MA CERTO,
TORNERÒ
PIÙ TARDI!

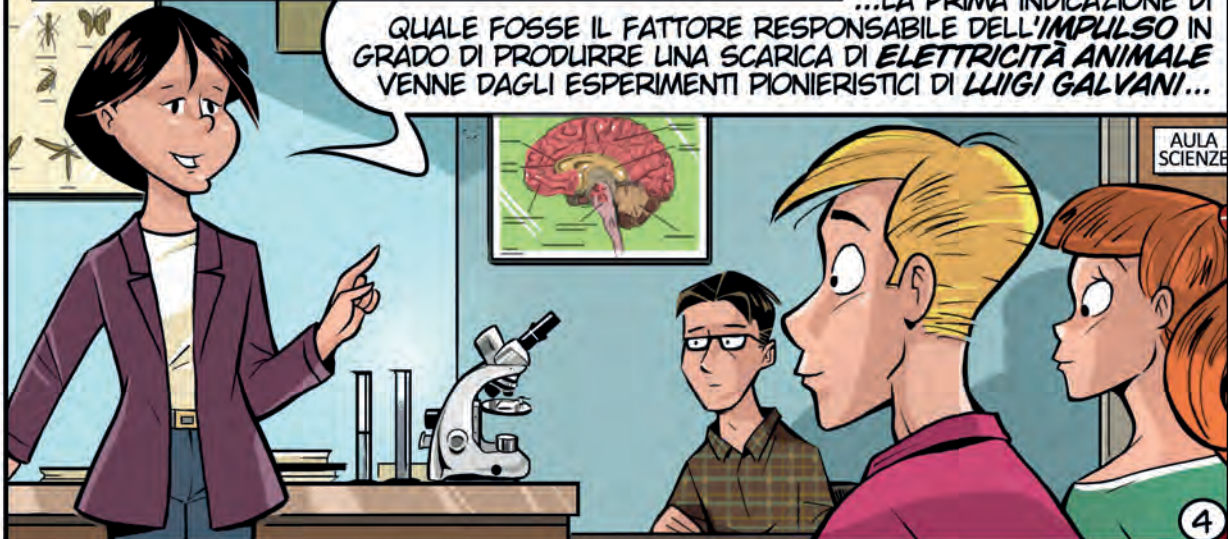


PROFESSORESSA...

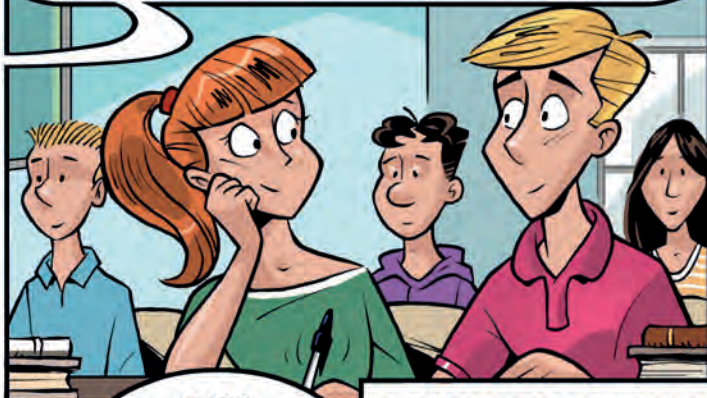


CIRCA VENT'ANNI PRIMA, QUANDO **FRANCO** E **STEFANIA**
ERANO ANCORA SOLO DUE COMPAGNI DI BANCO...

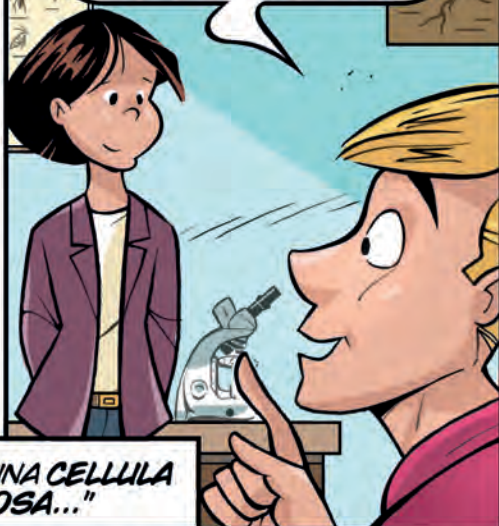
...LA PRIMA INDICAZIONE DI
QUALE FOSSE IL FATTORE RESPONSABILE DELL'**IMPULSO** IN
GRADO DI PRODURRE UNA SCARICA DI **ELETTRICITÀ ANIMALE**
VENNE DAGLI ESPERIMENTI PIONIERISTICI DI **LUIGI GALVANI**...



... LINO SCIENZIATO VISSUTO VERSO LA FINE DEL XVIII SECOLO... DA ALLORA SONO STATI FATTI GRANDI PASSI AVANTI E OGGI SONO BEN NOTI I **MECCANISMI** CHE GENERANO GLI IMPULSI DI NATURA **ELETTRICA** NEL NOSTRO **SISTEMA NERVOSO**...



SCUSI, PROFESSORESSA **MARIANI**... MA DA COSA È COMPOSTO IL **SISTEMA NERVOSO**?



CARO FRANCO, PER CAPIRLO, OCCORRE FARE UN LUNGO VIAGGIO...

"...IMMAGINA DI ESSERE UNA CELLULA STAMINALE NERVOSA..."

"...E DI TROVARTI IN UNA REGIONE SPECIFICA DEL TUO CERVELLO... L'IPPOCAMPO...
...O, SE LA VOGLIAMO FARE PIÙ DIFFICILE, NEL GIRO DENTATO DELL'IPPOCAMPO..."



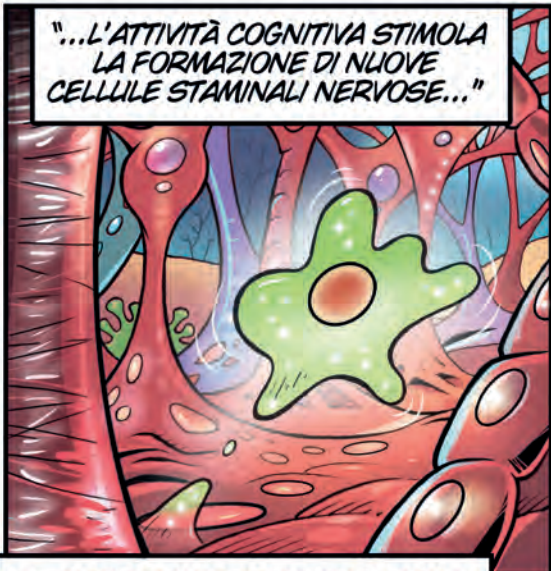
"...INNANZITUTTO, SE FOSSI UNA CELLULA STAMINALE NERVOSA, SARESTI MOLTO PIÙ TONDEGGIANTE..."

Pof!

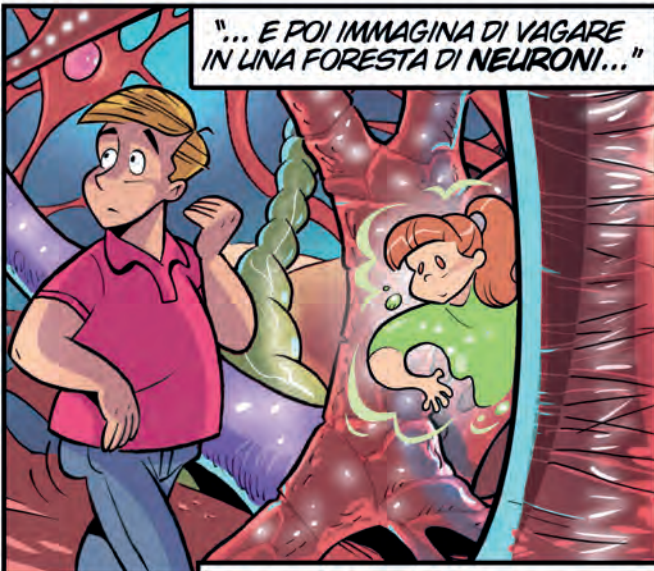
"...E NEL TEMPO RIACQUISTERESTI LA TUA FORMA, SVILUPPANDO DEGLI ARTI PIÙ LUNGI PER ARRIVARE A CONTATTARE ALTRE CELLULE NERVOSE..."



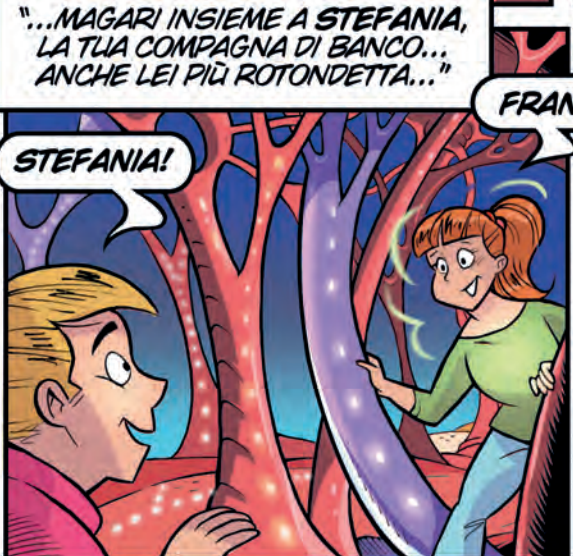
"...L'ATTIVITÀ COGNITIVA STIMOLA
LA FORMAZIONE DI NUOVE
CELLULE STAMINALI NERVOSE..."



"... E POI IMMAGINA DI VAGARE
IN UNA FORESTA DI NEURONI..."



"...MAGARI INSIEME A STEFANIA,
LA TUA COMPAGNA DI BANCO...
ANCHE LEI PIÙ ROTONDETTA..."



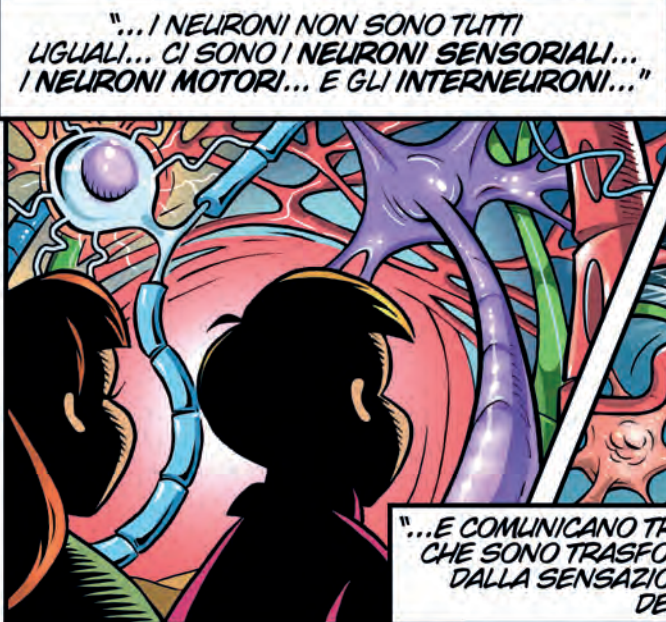
STEFANIA!

FRANCO!

"PER PRIMA COSA, PER USCIRE
DALLA FORESTA, DOVRESTE
CERCARE DI ORIENTARVI NEL
FOLTO DELLE CONNESSIONI..."



"...I NEURONI NON SONO TUTTI
LIGUALI... CI SONO I NEURONI SENSORIALI...
I NEURONI MOTORI... E GLI INTERNEURONI..."



"...E COMUNICANO TRA DI LORO SCAMBIANDOSI INFORMAZIONI
CHE SONO TRASFORMATE IN MESSAGGI MOLTO DIVERSI...
DALLA SENSAZIONE DELLA SETE ALL'ACCELERAZIONE
DEL BATTITO CARDIACO..."



"...MA COME FANNO
A COMUNICARE?..."

"...DA UNA PARTE ABBIAMO
I DENDRITI SPECIALIZZATI
NEL RICEVERE E TRADURRE
QUEI MESSAGGI IN IMPULSI
NERVOSI... DALL'ALTRA GLI
ASSONI, DA CUI PARTONO
I MESSAGGI VERSO LE
ALTRE CELLULE NERVOSE..."

"...IN MEZZO A QUESTE DUE REGIONI
ABBIAMO IL CORPO CELLULARE, IL
PIRENOFORO O SOMA, LA ZONA
IN CUI SI TROVA IL NUCLEO..."

CHE
BELLO!

E QUANTO
È ALTO!

BZZZZ!

"...IL NOSTRO SISTEMA
NERVOSO SI SCAMBIA I
MESSAGGI ATTRAVERSO UNA
RETE DI CELLULE CHE RICEVE
E INVIA SEGNALE IN MODO
VELOCE E ORDINATE..."

"...E I MESSAGGI SONO COSTITUITI DA MOLECOLE DI
NEUOTRASMETTITORI. OGNUNA DI QUESTE MOLECOLE
TRASPORTA UN MESSAGGIO IN LINGUA DIVERSA..."

AAHHH!

ZZZZZ

"...CHE DOVRÀ ESSERE TRADOTTO
NEL LINGUAGGIO COMUNE A TUTTI
I NEURONI... MA COME AVVIENE
LA TRASDUZIONE?..."

"...ATTRAVERSO I RECETTORI CHE SONO SPECIFICI
PER UN SOLO TIPO DI NEUOTRASMETTITORE E
LO RICONOSCONO TRA MOLTI ALTRI..."

OH HH!

GLICINA

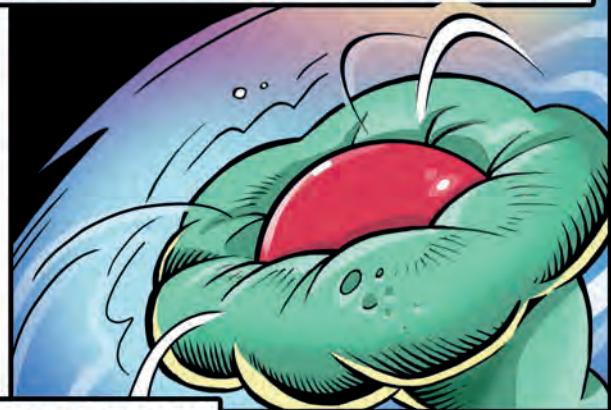
GLICINA

GLUTAMATO

"...IL RICONOSCIMENTO
IMPLICA UN LEGAME TRA
IL NEUROTRASMETTITORE
E IL SUO RECETTORE..."



"...CHE LI FARÀ RIMANERE ATTACCATI
PER UN TEMPO VARIABILE MA SUFFICIENTE
PER FAR CAMBIARE FORMA AL RECETTORE..."



"...QUESTA VARIAZIONE DI FORMA DÀ INIZIO AL MECCANISMO
DI TRADUZIONE DEL MESSAGGIO CHE PUÒ AVVENIRE
IN DIVERSI MODI... ECCITATORIO O INIBITORIO..."



GUARDA...

SI STA
APRENDO UN
VARCO...



ANDIAMO...



DOVE
SIAMO?

UNA CITTÀ?!

BENVENUTI NEL
CERVELLO, RAGAZZI!

PROFESSORESSA
MARIANI!

CHE CI FA
LEI QUI?

SARÒ LA VOSTRA GUIDA TURISTICA
IN QUESTA MAGNIFICA CITTÀ...
ANDIAMO PRIMA CHE CHIUDA TUTTO
E GLI ABITANTI VADANO A DORMIRE!

QUELLI SONO GLI **ASTROCITI** E STANNO
ULTIMANDO LE **PULIZIE**...RIMUOVONO I
NEUOTRASMETTITORI IN ECCESSO E GLI
IONI POTASSIO DALLE SINAPSI...

...LA LORO FUNZIONE È IMPORTANTISSIMA
...OLTRE A ELIMINARE DALL'AMBIENTE
EXTRACELLULARE LE SOSTANZE CHE
FUORIESCONO DAI NEURONI...

...RECUPERANO I **NEUOTRASMETTITORI**
RILASCIATI DALLA TERMINAZIONE NERVOSA
PRESINAPTICA...

...E CONTRIBUISCONO ALLA FORMAZIONE
DELLA **BARRIERA EMATOENCEFALICA**
PER SEPARARE IL **SISTEMA NERVOSO**
CENTRALE DAL CONTATTO CON
IL **SANGUE**...

...E COSÌ IMPEDISCONO L'INGRESSO DI
SOSTANZE TOSSICHE E ALTRE CELLULE
CHE POTREBBERO DANNEGGIARE
I **NEURONI**...



...POLIZIOTTI DI QUARTIERE... MONITORANO CONTINUAMENTE LO STATO DI SALUTE DELLE CELLULE NEURONALI... E INTERVENGONO QUANDO QUALCOSA NON VA...



COME IN QUESTO CASO...



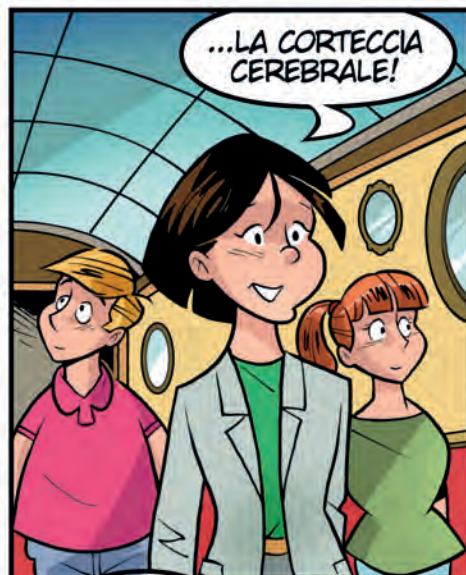
PRIMA CIRCONDANO L'ELEMENTO ESTRANEO...

FERMO!



...POI LO ELIMINANO CON LE LORO ARMI CHE CONTENGONO CITOCCHINE INFIAMMATORIE, ISOLANO IL DANNO E RIPRISTINANO LA FUNZIONALITÀ CELLULARE...





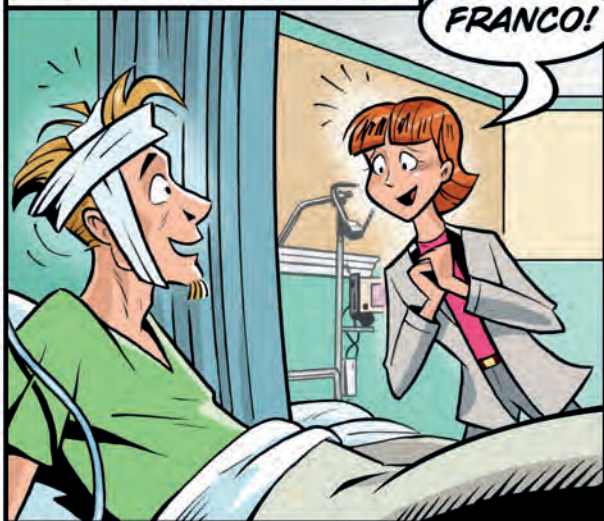
"...QUESTA ZONA DEL CERVELLO
POTREBBE ESSERE RESPONSABILE
DEL FATTO CHE CI SI COMMUOVE..."

"...DI FRONTE A
QUALCUNO
CHE SOFFRE..."

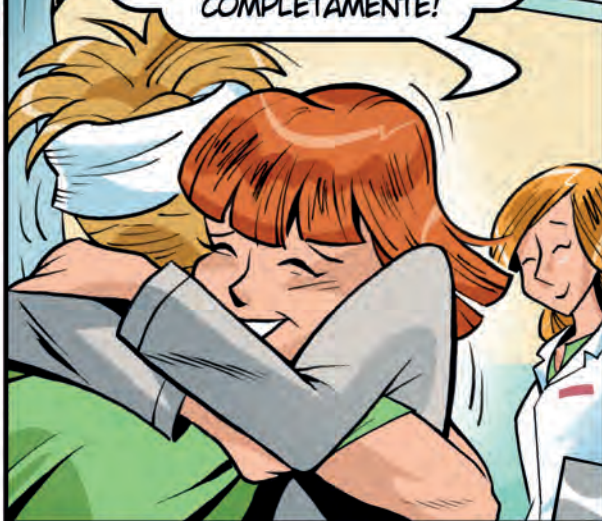


"...O CHE È MOLTO FELICE..."

FRANCO!



FINALMENTE TI SEI RIPRESO
COMPLETAMENTE!



BUON VIAGGIO NELLA
VITA, RAGAZZI...



FINE



Ambiente arricchito

Nell'uomo si intende la possibilità di stimolare il cervello con attività cognitive (leggere, studiare, giocare, risolvere giochi di logica ecc.), sensoriali (ascoltare musica), sociali (avere una vita di relazione ricca) e motorie (praticare con continuità attività sportive). È oramai accertato che vivere una vita ricca di stimoli ha l'effetto di aumentare la cosiddetta **riserva cognitiva**, fornendo una specie di bagaglio protettivo che ci accompagnerà nel corso della vita, anche a distanza di diversi anni, e riduce la velocità di invecchiamento del nostro cervello.

Assone

Porzione del neurone che conduce gli impulsi nervosi, il potenziale di azione, in direzione centrifuga, lontano dal corpo cellulare.

Astrocita

Cellula gliale ramificata presente nel sistema nervoso centrale che partecipa alla formazione della barriera ematoencefalica, favorisce il supporto trofico e la crescita assonale, mantiene l'omeostasi dei liquidi extracellulari e partecipa alla trasmissione sinaptica. Costituisce il terzo elemento della sinapsi (in aggiunta alle terminazioni pre e postsinaptiche) e ne controlla il funzionamento.

Barriera ematoencefalica

Insieme delle strutture cellulari che determinano la separazione del compartimento ematico da quello cerebrale. È costituita dalle cellule endoteliali dei capillari, dagli astrociti e dai periciti. La sua funzione è di impedire/controllare l'ingresso di cellule del sangue ma anche di sostanze disciolte nel sangue.

BDNF (brain-derived neurotrophic factor)

Fattore di crescita derivante dal cervello. Promuove la sopravvivenza dei neuroni e favorisce la crescita e il differenziamento di nuovi neuroni e sinapsi.

Cellule della glia

Insieme alle cellule neuronali, costituiscono gli elementi del sistema nervoso. Svolgono molte funzioni, tra cui: sostegno e nutrimento dei neuroni, isolamento dei tessuti nervosi, difesa da agenti esterni e danno tissutale, regolazione dell'ambiente chimico esterno dei neuroni e della trasmissione nervosa. Esistono diversi sottotipi di cellule gliali, che includono microglia, astrociti, oligodendrociti e cellule di Schwann.

Cellule della microglia

Tipo di cellule gliali importanti nella difesa immunitaria del sistema nervoso centrale, dette anche “macrofagi del cervello” poiché agiscono in condizioni patologiche e di danno tissutale fagocitando frammenti cellulari e sostanze tossiche (come accumuli di proteine beta amiloidee o prioniche) delle aree lese. Sorvegliano attivamente l'ambiente circostante e svolgono un ruolo importante nel mantenimento dell'omeostasi e nei processi infiammatori contribuendo anche alla modulazione sinaptica.

Cellule di Schwann

Tipo di cellule gliali presenti nel sistema nervoso periferico. La loro funzione principale è di avvolgere i neuroni con uno strato di mielina che isola elettricamente il neurone.

Circonvoluzione

Rilievo della corteccia cerebrale delimitato da solchi, depressioni presenti nella corteccia che risulta notevolmente invaginata al fine di aumentarne la superficie totale.

Corteccia cerebrale

Strato esterno degli emisferi cerebrali. La struttura complessa e altamente evoluta è sede di processi cognitivi superiori come pensiero, coscienza, memoria, linguaggio.

Dendrite

Ramificazione delle cellule neuronali con il compito di ricevere e condurre l'informazione nervosa proveniente da altri neuroni in direzione centripeta, verso il corpo cellulare. I dendriti possono essere molto numerosi, tali da formare una “arborizzazione” dendritica.

EGF (epidermal growth factor)

Importante fattore di crescita che regola la proliferazione, la crescita e il differenziamento cellulare.

Emisfero destro

Lato destro in cui viene divisa la parte anteriore del cervello. Svolge un ruolo essenziale in molti aspetti delle funzioni musicali, della percezione visiva e della capacità in genere di percepire i rapporti tra gli elementi che compongono la realtà.

Emisfero sinistro

Lato sinistro in cui viene divisa la parte anteriore del cervello. Svolge un ruolo chiave nei processi linguistici.

Fase non-REM

Una delle fasi principali del sonno, detta “sonno ortodosso”, che si alterna alla fase REM per diverse volte (4-5 cicli). La fase è caratterizzata da 4 stadi: l'addormentamento, il sonno leggero, la fase iniziale del sonno profondo e il sonno profondo, importante per rigenerare l'organismo. A ogni nuovo ciclo la fase non-REM dura sempre meno tempo.

Fase REM (rapid eye movement)

Ovvero fase del “rapido movimento oculare”. È una delle fasi principali del sonno, detta anche “sonno paradossale”. Questa fase, infatti, è caratterizzata da bruschi movimenti degli occhi, aumentato battito cardiaco e frequenza respiratoria, atonia (rilassamento) muscolare e sogno.

FGF (fibroblast growth factor)

Fattore di crescita dei fibroblasti. È importante nei processi di guarigione delle ferite, nella proliferazione e nel differenziamento di cellule e tessuti.

Filogenesi

Rappresenta l'evoluzione della vita degli organismi prendendo in considerazione le loro relazioni di discendenza e affinità.

Ganglio

Addensamento di cellule nervose posto lungo il decorso dei nervi del sistema nervoso centrale e periferico. È il punto di incontro delle fibre dette afferenti ed efferenti.

BDNF (glial-derived neurotrophic factor)

Fattore neurotrofico derivato da cellule gliali, che promuove la sopravvivenza di molti neuroni.

Giro dentato

Area cerebrale dell'ippocampo che riceve le afferenze dalla corteccia entorinale, tramite la via perforante. Importante per la creazione di alcuni tipi di memoria, è sede di un'intensa attività di formazione di nuovi neuroni (neurogenesi).

Glial vedi **Cellule della glia**

Interneurone

Tipo di neurone, detto anche "associativo", presente nel sistema nervoso centrale. Tipicamente inibisce i neuroni bersaglio.

Mielina

Sostanza isolante che ricopre gli assoni, favorendo la conduzione dell'impulso nervoso. È formata dall'avvolgimento della membrana cellulare delle cellule di Schwann (nel sistema nervoso periferico) e degli oligodendrociti (nel sistema nervoso centrale). È composta da lipidi e proteine.

Neocorteccia

Porzione di corteccia cerebrale filogeneticamente più recente. È la sede di funzioni cognitive superiori.

Neurogenesi

Processo che porta alla formazione di nuovi neuroni a partire da precursori. È molto importante durante lo sviluppo, ma è presente anche nell'adulto in aree cerebrali definite (giro dentato e zona sub-ventricolare).

Neurone motore

Neurone del sistema nervoso centrale che controlla in modo diretto o indiretto il movimento dei muscoli.

Neurone sensoriale

Neurone che rileva e traduce le informazioni periferiche verso il sistema nervoso centrale.

Neurone specchio

Tipo di neurone, detto anche sensomotore, che si attiva quando vediamo compiere una certa azione o quando svolgiamo noi stessi la stessa azione.

Neurotrasmettitore

Mediatore chimico della trasmissione nervosa rilasciato a livello delle sinapsi.

Neurotrofina

Fattore proteico coinvolto nella crescita e nella morte cellulare, nella regolazione della morfologia e delle funzioni neuronali.

NGF (nerve-growth-factor)

Fattore di crescita nervoso. È una proteina coinvolta nella crescita e nell'attività neuronale.

Nodo di Ranvier

Interruzione nella guaina mielinica dove viene rigenerato il potenziale di azione.

Oligodendrocita

Cellule della glia importanti nella mielinizzazione degli assoni nel sistema nervoso centrale. Oltre a favorire la conduzione dell'impulso nervoso, svolgono ruoli di controllo delle concentrazioni di ioni extracellulari.

Periodo critico

Periodo dello sviluppo in cui il nostro cervello è molto plastico e particolarmente suscettibile agli effetti (positivi e negativi) della stimolazione ambientale. Le esperienze vissute in questo periodo sono in grado di modificare le connessioni nervose e scolpire i circuiti che funzioneranno poi nell'adulto.

Pirenoforo

Corpo cellulare dei neuroni, detto anche "soma".

Potenziale d'azione

Segnale elettrico che, propagandosi lungo la fibra nervosa, consente la trasmissione di messaggi elettrici nei neuroni ed è in grado di innescare il processo della contrazione nelle fibrocellule muscolari.

Potenziale di membrana

Differenza di potenziale elettrico che si misura tra il lato extracellulare della cellula e il suo versante intracellulare (più negativo), dovuta a una diversa distribuzione di ioni nei due compartimenti e alla permeabilità selettiva della membrana cellulare ad alcune specie ioniche.

Recettore

Proteina in grado di legare uno specifico fattore, detto “ligando”, che ne modifica le proprietà producendo una risposta cellulare.

Regione subventricolare

Nel cervello adulto è la regione posta al di sotto delle pareti laterali dei ventricoli (cavità dell'encefalo), caratterizzata da intensa attività di neurogenesi.

Sinapsi

Struttura molto specializzata di connessione tra due neuroni o tra un neurone e una cellula bersaglio, come quella muscolare. Permette il passaggio dell'informazione nervosa sotto forma di segnale elettrico o chimico.

Sistema nervoso centrale (SNC)

Nei vertebrati è composto dall'encefalo e dal midollo spinale. Riceve e analizza le informazioni in arrivo dall'ambiente interno ed esterno dell'organismo, in modo da elaborare le risposte più appropriate.

Sistema nervoso periferico (SNP)

Formato da strutture nervose periferiche (gangli, nervi, organi sensoriali ecc.), recepisce e trasmette gli stimoli provenienti dall'ambiente esterno e interno dell'organismo al sistema nervoso centrale e invia alla periferia gli stimoli nervosi (le risposte) elaborati a livello centrale.

Una collana per imparare la scienza divertendosi!

Ogni nostro pensiero, desiderio, emozione, così come ogni movimento del nostro corpo e ogni nostra reazione, dipende da un apparato fondamentale: il sistema nervoso. Composto da miliardi di cellule nervose che comunicano tra di loro attraverso segnali chimici ed elettrici, questo sofisticato sistema ha la funzione di ricevere, interpretare e rispondere in modo adeguato alle informazioni che provengono dal nostro stesso organismo e dall'ambiente che ci circonda.

Cristina Limatola ci accompagna nell'affascinante esplorazione di questa complessa e delicata "macchina": una macchina con grandissime potenzialità che nasconde ancora molti misteri...

Cristina Limatola, Dipartimento di Fisiologia e Farmacologia, Sapienza Università di Roma.

All'interno il fumetto:

Il viaggio al limite del possibile.

Testi a cura di un gruppo di alunni della Scuola secondaria di I grado dell'Istituto Comprensivo Statale Dante Alighieri, Opera (Milano).

Disegni realizzati, per la Scuola Romana dei Fumetti, da Fabio Redaelli e Alessandro Telve.