

UNITÀ 11. La trasmissione degli stimoli

Come funziona la cellula nervosa

I **neuroni** funzionano in tutte le specie trasmettendo un impulso di natura elettrochimica.

La membrana plasmatica di un neurone è *polarizzata*, cioè presenta una differenza di carica elettrica tra l'interno e l'esterno della cellula. Tale differenza è dovuta alla concentrazione degli ioni positivi (soprattutto ioni sodio Na^+), maggiore all'esterno che all'interno.

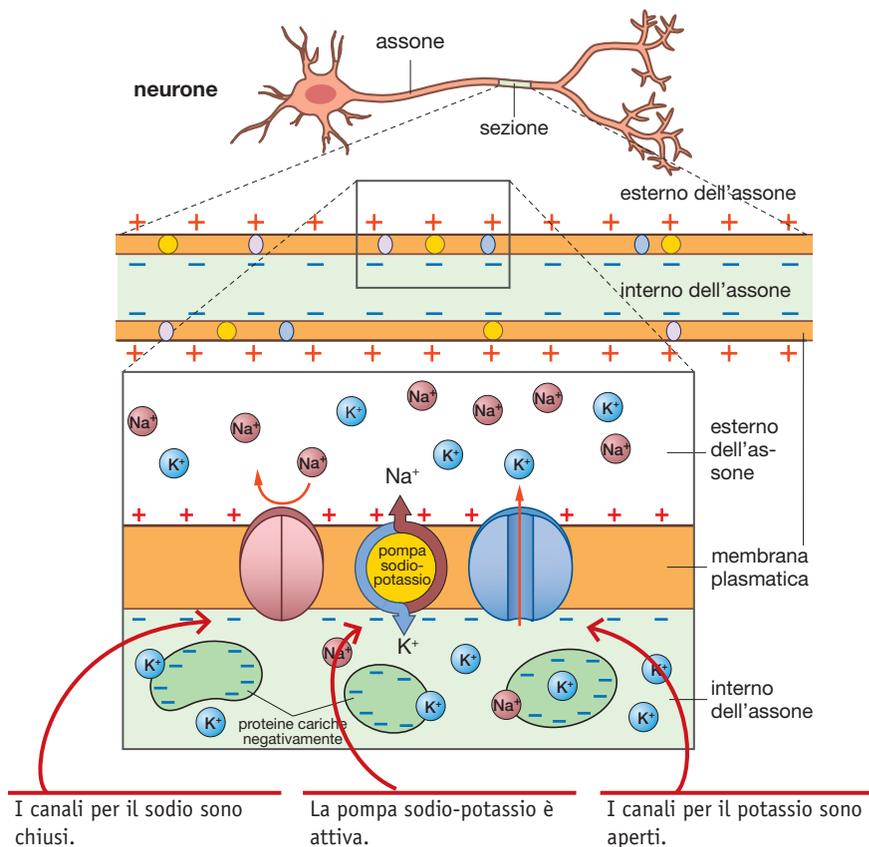
Questa distribuzione asimmetrica produce una differenza di potenziale elettrico detta **potenziale a riposo**.

Il potenziale a riposo viene mantenuto dall'azione di una proteina di membrana – chiamata **pompa sodio-potassio** – che trasporta (in modo attivo) ioni Na^+ dall'interno all'esterno della cellula e ioni potassio K^+ dall'esterno verso l'interno.

Gli ioni K^+ possono passare liberamente attraverso delle proteine di membrana (chiamate **proteine canale per il potassio**) e tendono a equilibrare la loro concentrazione, spostandosi dall'interno all'esterno.

Anche gli ioni Na^+ si distribuirebbero uniformemente passando attraverso altre proteine (le **proteine canale per il sodio**), ma ciò non avviene perché quando il neurone è a riposo questi canali sono chiusi.

In questo modo il potenziale a riposo è mantenuto costante, attorno al valore di circa -70 mV.



Il repentino cambiamento di questa differenza di potenziale genera l'**impulso nervoso**, cui segue il ripristino delle condizioni normali.

Difatti, se il neurone viene stimolato, a causa dell'apertura di alcune proteine canale per il sodio il potenziale della membrana può salire da circa -70 mV a circa -50 mV, valore che è detto **potenziale di soglia**.

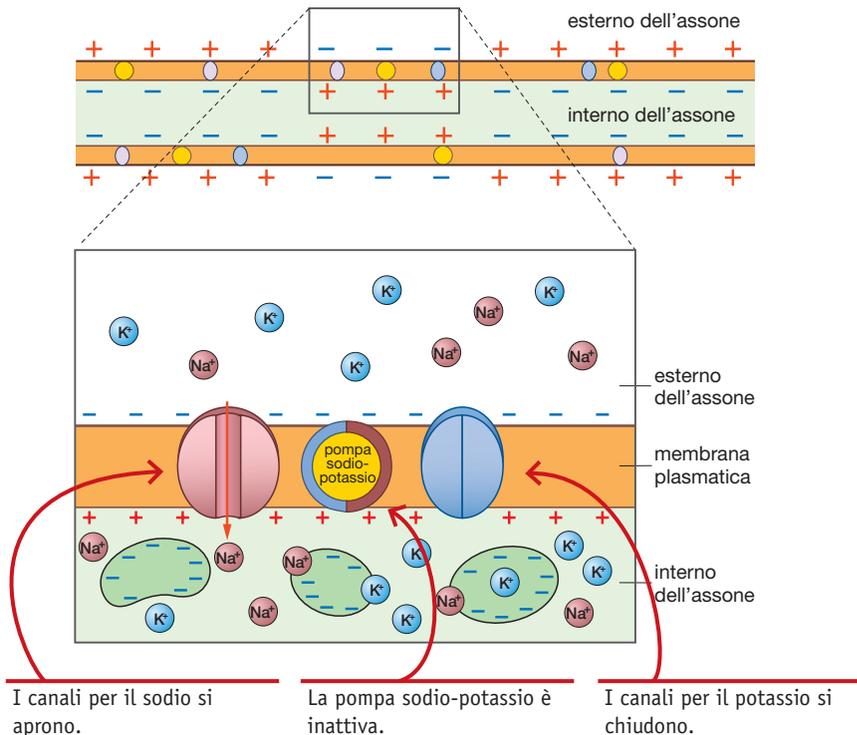
UNITÀ 11. La trasmissione degli stimoli

Raggiunto questo valore di soglia, molti canali per il sodio si aprono e un gran numero di ioni Na^+ passano dall'esterno all'interno della cellula.

Dato che la concentrazione di cariche positive all'interno aumenta, il potenziale si inverte bruscamente e raggiunge un valore di $+35 \text{ mV}$, che viene detto **potenziale d'azione**.

Questa sequenza di eventi è detta *depolarizzazione della membrana*.

Pochi istanti dopo le proteine canale per il sodio si richiudono, mentre quelle per il potassio – che nel frattempo erano chiuse – si riaprono e, grazie all'azione della pompa sodio-potassio, vengono ristabilite le condizioni a riposo. Questo processo è detto *ripolarizzazione della membrana*.



L'impulso nervoso si trasmette lungo la membrana degli assoni delle cellule nervose.

Il potenziale d'azione è un fenomeno elettrochimico localizzato. Perché si verifichi la **trasmissione dell'impulso**, la depolarizzazione deve trasmettersi dalla zona in cui è avvenuta al tratto immediatamente adiacente.

La propagazione dello stimolo avviene esclusivamente in una direzione grazie al fatto che, nel tratto interessato dal potenziale d'azione, la pompa sodio-potassio sta operando per riportare le condizioni a riposo. La concentrazione di ioni potassio nel liquido interstiziale all'esterno della cellula, per un breve istante, risulta superiore rispetto a quella delle condizioni normali a riposo; ciò determina una *iperpolarizzazione* della membrana che persiste finché non viene ripristinato il valore di -70 mV . In questo lasso di tempo, che dura circa 2 millisecondi, la membrana non può ricevere alcuno stimolo. Questo **periodo di refrattarietà** impedisce la trasmissione della depolarizzazione nella stessa direzione da cui è provenuta, evitando di fatto che la trasmissione dell'impulso si blocchi.

Gli assoni delle cellule nervose umane sono avvolti dalle cellule di Schwann che formano la **guaina mielinica** isolante, interrotta in corrispondenza dei cosiddetti nodi di Ranvier. L'impulso nervoso procede «saltando» da un nodo di Ranvier all'altro e quindi avanza molto più rapidamente di quanto farebbe se dovesse percorrere l'intero assone.

La trasmissione dell'impulso tra neuroni

I **neuroni sensoriali**, che acquisiscono lo stimolo sensoriale, e i **neuroni di associazione**, che svolgono la funzione di elaborazione e integrazione, trasmettono l'impulso ad altre cellule nervose. I **neuroni motori** invece passano lo stimolo alle cellule muscolari.

L'impulso nervoso viene trasferito da una cellula all'altra e alle cellule muscolari attraverso le **sinapsi**.

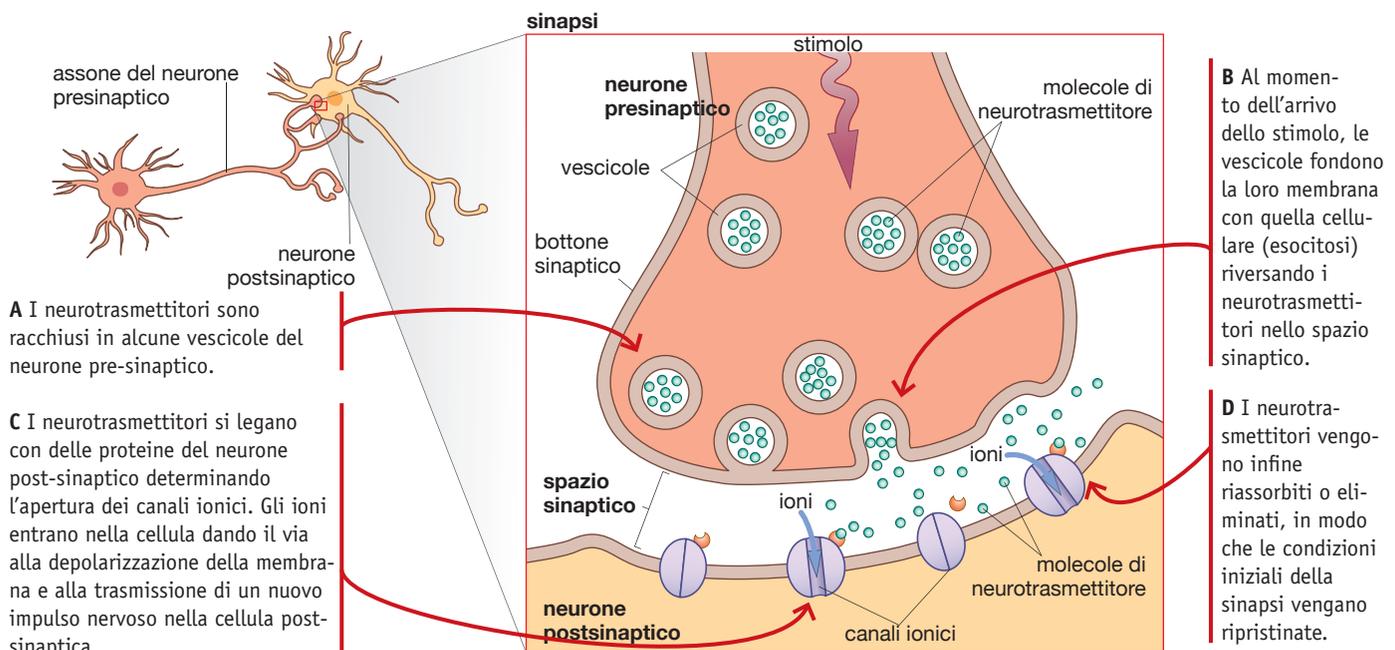
Le **sinapsi** sono i punti di contatto tra due neuroni o tra un neurone e una cellula muscolare. Le sinapsi trasmettono alla cellula successiva l'impulso nervoso nel momento in cui esso arriva al termine dell'assone. Esistono due tipi di sinapsi:

- le *sinapsi elettriche*,
- le *sinapsi chimiche*.

1. Nelle **sinapsi elettriche** il potenziale d'azione passa da una cellula alla successiva con un meccanismo del tutto simile a quello di propagazione dell'impulso all'interno della cellula stessa. Molto spesso le sinapsi elettriche possono trasmettere l'impulso nervoso in entrambe le direzioni.

2. Le **sinapsi chimiche** sono presenti dove l'elaborazione degli impulsi è più varia e complessa, ad esempio nel sistema nervoso centrale. Le sinapsi chimiche presentano un piccolo spazio tra il *neurone pre-sinaptico* e il *neurone post-sinaptico* ed è questa separazione a impedire il trasferimento diretto dell'impulso elettrico. Nelle sinapsi chimiche, infatti, la trasmissione dell'impulso tra un neurone e il successivo è mediata da alcune sostanze chimiche, contenute in vescicole, dette **neurotrasmettitori**.

Quando l'impulso giunge al termine dell'assone, provoca l'apertura delle proteine canale degli ioni calcio Ca^{++} nel rigonfiamento terminale, chiamato **bottone sinaptico**. Gli ioni calcio sono presenti in concentrazione maggiore all'esterno della cellula e passano quindi all'interno. Questo evento induce l'esocitosi delle vescicole contenenti i neurotrasmettitori, che attraversano lo spazio sinaptico e si legano alle proteine di membrana (recettori) del neurone post-sinaptico. Il legame provoca l'apertura di canali ionici, permettendo l'entrata di ioni nel neurone post-sinaptico, provocandone la depolarizzazione e dando l'avvio all'impulso nervoso.



I neurotrasmettitori devono quindi essere riassorbiti e re-immagazzinati nelle vescicole, in modo che le condizioni iniziali vengano ripristinate e la cellula post-sinaptica sia pronta a ricevere un altro stimolo.

Questo meccanismo permette di trasmettere l'impulso nervoso solo in un senso.

La maggior parte dei neurotrasmettitori è costituita da piccole molecole organiche quali amminoacidi o loro derivati.

Alcuni neurotrasmettitori, legandosi con i recettori associati a canali ionici del Na^+ , ne provocano direttamente l'apertura, generando il potenziale d'azione nel neurone post-sinaptico. Le sinapsi in cui questi neurotrasmettitori agiscono vengono dette *eccitatorie*. L'acido aspartico e l'acido glutammico sono due amminoacidi di sinapsi eccitatorie.

Esistono però altri neurotrasmettitori (tra i quali l'amminoacido glicina) che agiscono a livello delle sinapsi *inibitorie*: legandosi con la membrana del neurone post-sinaptico, provocano l'apertura di proteine canale di tipo differente, ad esempio quelle che permettono la fuoriuscita degli ioni potassio K^+ . In questo caso, la depolarizzazione della membrana aumenta e rende più difficile l'avvio dell'impulso nervoso.

Alcuni neurotrasmettitori, come l'*acetilcolina*, sono in grado sia di trasmettere che di inibire l'impulso nervoso a seconda del tipo di recettore presente nelle cellule post-sinaptiche.

■ Il sistema nervoso negli animali

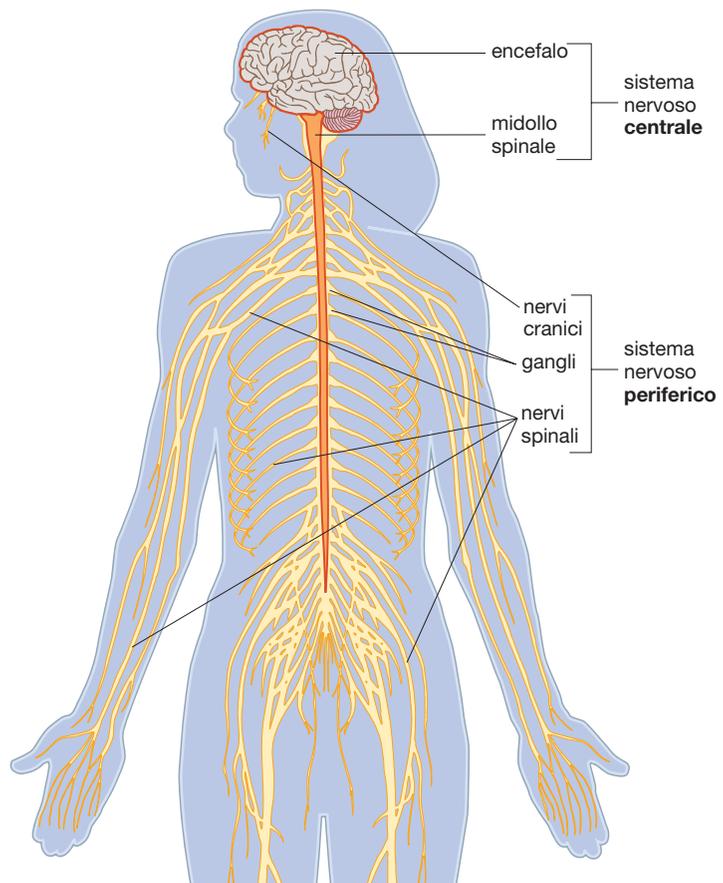
Le cellule nervose sono simili in tutti gli organismi. Il modo e la complessità con cui si organizzano a formare il **sistema nervoso** varia in relazione alle dimensioni e alle complessità dell'animale.

Alcuni organismi possiedono un sistema nervoso molto semplice, in cui le singole cellule sono associate a formare una **rete nervosa** priva di organi. In animali maggiormente complessi l'organizzazione del sistema nervoso possiede due caratteristiche: la *centralizzazione* e la *cefalizzazione*.

La **centralizzazione** è la tendenza a formare un sistema nervoso centrale separato da un sistema nervoso periferico; la **cefalizzazione** è la tendenza a concentrare le strutture nervose nella zona del capo, ovvero nell'estremità anteriore rivolta verso la direzione preferenziale di movimento dell'animale.

I vertebrati possiedono un sistema nervoso altamente sviluppato, in grado di gestire il loro complesso comportamento e le molteplici funzioni specializzate.

Nel sistema nervoso si riconoscono due parti, che svolgono funzioni diverse:



- il *sistema nervoso centrale*,
- il *sistema nervoso periferico*.

1. Il **sistema nervoso centrale** (SNC) costituisce il centro di elaborazione dei dati e svolge essenzialmente la funzione di integrazione, raccogliendo e interpretando gli stimoli, e fornendo le risposte. Esso è a sua volta diviso in *midollo spinale* ed *encefalo*.

Il **midollo spinale** si trova all'interno della colonna vertebrale e si occupa dell'acquisizione sensoriale dalla pelle e dai muscoli e dell'invio dei comandi per i movimenti muscolari.

L'**encefalo**, protetto all'interno nel cranio, è il principale organo di controllo del sistema nervoso. Esso elabora e integra tutte le informazioni provenienti dagli organi di senso e rappresenta la sede delle emozioni e dell'intelletto.

2. Il **sistema nervoso periferico** (SNP) è costituito dalle vie di comunicazione che trasportano i messaggi dall'esterno al sistema nervoso centrale e portano le risposte dal sistema nervoso centrale all'esterno. Il sistema periferico si occupa essenzialmente dell'acquisizione sensoriale e dello stimolo motorio ed è formato dai **nervi**, fasci di assoni e dendriti avvolti da tessuto connettivo, e dai **gangli**, ammassi di corpi cellulari di neuroni. I nervi sono distinti in *nervi cranici*, direttamente connessi all'encefalo (come il nervo ottico), e *nervi spinali*, connessi al midollo spinale.

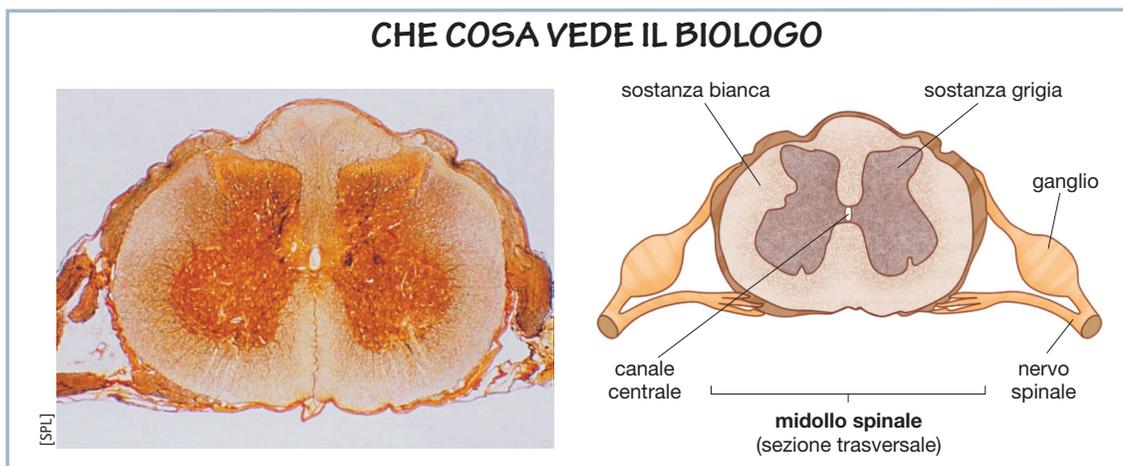
■ Il sistema nervoso centrale: il midollo spinale

Il sistema nervoso centrale umano rappresenta il sistema di elaborazione dati più complesso ed efficiente presente sul pianeta Terra ed è costituito dal midollo spinale e dall'encefalo.

Il **midollo spinale** si trova all'interno della colonna vertebrale e la sua funzione è quella di trasportare le informazioni dal sistema nervoso periferico verso l'encefalo e viceversa. Osservando una sezione trasversale del midollo spinale si può notare che è formato da due parti distinte:

- la **sostanza grigia**, situata internamente e composta principalmente dai corpi cellulari dei neuroni motori e degli interneuroni;
- la **sostanza bianca**, collocata all'esterno della sostanza grigia e formata da assoni e dendriti, fasci di fibre nervose che collegano i vari livelli del midollo e il midollo con l'encefalo.

Al midollo spinale sono connesse le strutture del sistema nervoso periferico, come i nervi spinali e i gangli.



UNITÀ 11. La trasmissione degli stimoli

Il midollo spinale non si limita a trasportare informazioni ma, quando è sottoposto a stimoli intensi, può produrre risposte semplici e immediate senza l'elaborazione da parte del cervello.

Questo meccanismo di difesa è detto **arco riflesso semplice** ed è fondamentale per limitare i danni in caso di pericolo.

Il sistema nervoso centrale è avvolto da tre membrane sovrapposte, chiamate **meningi**, che rivestono il midollo spinale, all'interno della colonna vertebrale, e l'encefalo, all'interno del cranio.

Le meningi svolgono una funzione di protezione e consistono in tre strati concentrici di tessuto connettivo.

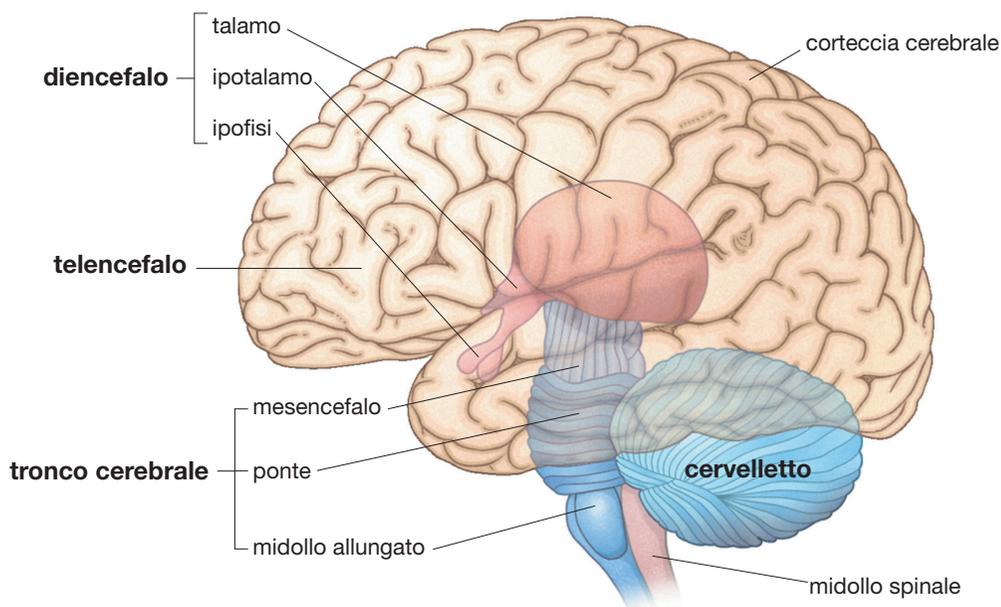
1. Lo strato esterno, che è chiamato **dura madre**, è formato da un tessuto connettivo denso e fibroso e costituisce la membrana più resistente delle meningi.
2. Lo strato intermedio è chiamato **aracnoide**. Il nome deriva dal fatto che in questo tessuto le fibre di collagene sono intrecciate, disposte in modo simile ai fili di una ragnatela. Al di sotto dell'aracnoide si estende una cavità, lo *spazio subaracnoideo*, nella quale circola il **liquido cerebrospinale** (o *cefalo rachidiano*).
3. Lo strato interno, che è chiamato **pia madre**, è una delicata membrana che contiene diversi vasi sanguigni e si trova direttamente a contatto con il tessuto nervoso.

■ Il sistema nervoso centrale: l'encefalo umano

L'**encefalo** è l'organo di gran lunga più importante per l'acquisizione delle informazioni, per il controllo motorio e per il mantenimento dell'omeostasi nel nostro corpo.

L'encefalo può essere suddiviso in quattro regioni principali.

1. Il **tronco cerebrale** è un'area di passaggio delle informazioni provenienti dal midollo spinale verso il resto dell'encefalo o viceversa. Il tronco contiene dei centri nervosi che controllano alcune importanti funzioni, come la respirazione e la pressione sanguigna.
2. Il **cervelletto**, piuttosto voluminoso, e situato alla base della scatola cranica, controlla la postura, l'equilibrio e la coordinazione dei movimenti.
3. Il **diencefalo**, situato al di sopra del tronco cerebrale al centro del cranio, è formato da tre strutture: talamo, ipotalamo e ipofisi. Il **talamo** è paragonabile a un centro di



smistamento delle informazioni provenienti dagli organi di senso. L'**ipotalamo** controlla la temperatura corporea, il bilancio idrico e il metabolismo. Inoltre esso è sede delle emozioni, del centro del piacere e dell'assuefazione e regola anche i bioritmi giornalieri (sonno, fame). L'**ipofisi**, collegata all'ipotalamo tramite un sottile peduncolo, è una ghiandola fondamentale del sistema endocrino (di cui parleremo più avanti). **4. Il telencefalo** è la parte più voluminosa di tutto l'encefalo ed è comunemente detto *cervello*. È costituito da sostanza bianca (all'interno) e da sostanza grigia, o *corteccia cerebrale* (all'esterno). Il telencefalo è costituito da due **emisferi cerebrali**, destro e sinistro, collegati dal **corpo calloso**: una spessa banda di fibre nervose che consentono una elaborazione delle informazioni comune da parte dei due emisferi. La corteccia cerebrale umana, ricca di circonvoluzioni, è formata da circa 10 miliardi di neuroni connessi da centinaia di miliardi di sinapsi ed è la sede della logica, delle capacità matematiche e linguistiche e dell'immaginazione.

Nel lobo parietale della corteccia è presente un'area in cui convergono gli impulsi nervosi provenienti dai recettori tattili presenti sulla superficie di tutto il corpo. Gli impulsi nervosi provenienti dagli organi di senso specializzati, quali occhi e orecchie, vengono invece elaborati da altre zone della corteccia.

Nel lobo frontale della corteccia è inoltre presente un'area che controlla il movimento inviando gli impulsi nervosi a tutti i muscoli scheletrici del corpo.

■ Il sistema nervoso periferico umano

Il sistema nervoso periferico è costituito da numerosi **nervi** che formano una rete estesa in tutto il corpo. Ciascun nervo è formato da un gran numero di assoni appartenenti a **neuroni sensoriali** e **neuroni motori**, uniti in fasci e avvolti da tessuti connettivi che li proteggono: l'*endonevrio* avvolge un singolo assone; il *perinevrio* avvolge un fascio di assoni; l'*epinevrio* avvolge l'insieme dei fasci che formano l'intero nervo.

All'interno del fascio nervoso sono presenti anche alcuni piccoli vasi sanguigni che trasportano le sostanze nutritive e l'ossigeno.

I neuroni sensoriali trasportano verso il sistema nervoso centrale le informazioni acquisite dall'ambiente esterno, attraverso gli organi di senso, e dall'ambiente interno, attraverso i recettori degli organi interni. I neuroni motori svolgono la funzione di veicolare ai muscoli e agli organi interni la risposta elaborata dal sistema nervoso centrale.

Nel sistema nervoso periferico si distinguono:

- il **sistema nervoso somatico**, anche detto *volontario*, che trasmette gli impulsi ai muscoli scheletrici;
- il **sistema nervoso autonomo**, anche detto *involontario*, che controlla le attività svolte dal corpo in modo automatico (regola il ritmo della respirazione, il battito cardiaco, i movimenti dei visceri).

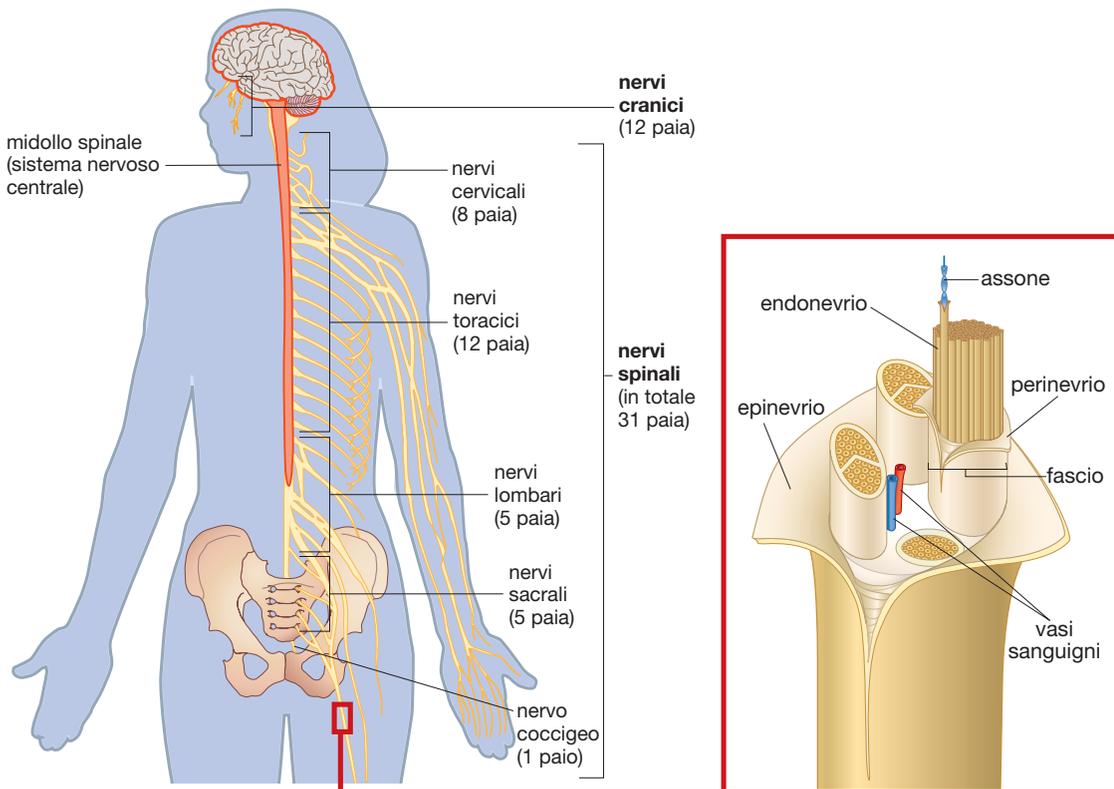
Il sistema nervoso somatico è formato da un gran numero di **nervi** connessi con il sistema nervoso centrale e distinti in base alla posizione in due tipi.

1. I nervi cranici trasportano gli impulsi da o verso l'encefalo; sono 12 paia e connettono gli organi di senso e alcune parti del capo e del viso con l'encefalo. Sono tutti nervi misti, cioè sia sensoriali sia motori, ad eccezione dei tre nervi collegati agli organi di senso (il nervo olfattivo, il nervo ottico e il nervo acustico) che sono esclusivamente nervi sensoriali.

2. I nervi spinali trasportano gli impulsi da o verso il midollo spinale; sono 31 paia,

UNITÀ 11. La trasmissione degli stimoli

sono tutti nervi misti e prendono il nome dalla regione del midollo spinale dalla quale si originano. Essi innervano tutti i muscoli e la pelle degli arti e del tronco.



Il sistema nervoso autonomo è costituito da nervi motori che controllano, tra gli altri, il muscolo cardiaco, le ghiandole e il tessuto muscolare liscio.

Il sistema nervoso autonomo è composto da due sistemi differenziati, che esercitano effetti contrapposti sugli organi che innervano.

1. Il sistema nervoso autonomo **simpatico** interviene quando l'organismo si trova in situazioni di stress, sotto sforzo e impegnato in attività intense. La sua attività causa l'accelerazione del battito cardiaco, aumenta la pressione sanguigna e la quantità di glucosio nel sangue.

2. Il sistema nervoso autonomo **parasimpatico** esercita invece un controllo esattamente opposto. La sua attività rilassa il corpo, favorisce la digestione, partecipa all'eliminazione delle feci e dell'urina e prevale nelle situazioni di tranquillità, per esempio durante il rilassamento che si ha successivamente a un pasto.

■ I messaggeri chimici e il sistema endocrino

Gli animali regolano molti dei loro processi vitali attraverso la produzione di alcune molecole che funzionano come **messaggeri chimici**.

I messaggi chimici possono essere di diversa natura e agire su bersagli differenti. È possibile riconoscere tre tipi di messaggeri chimici.

1. I **feromoni** sono sostanze, prodotte dall'organismo, che influenzano il comportamento e la fisiologia di un altro organismo della stessa specie.

2. Gli **ormoni** sono sostanze che, una volta prodotte in organi specifici (le **ghiandole endocrine**), si spostano attraverso il sangue e agiscono su *cellule bersaglio* situate in altri organi dello stesso individuo. Esistono due tipi di ormoni: gli *ormoni steroidei*, derivati

UNITÀ 11. La trasmissione degli stimoli

dalla molecola di colesterolo e solubili nei grassi, e gli *ormoni proteici*, solubili in acqua. **3. I messaggeri paracrini** sono messaggeri chimici che agiscono esclusivamente su cellule bersaglio poste nelle immediate vicinanze delle cellule da cui sono stati prodotti, senza entrare nella circolazione sanguigna.

Negli esseri umani, l'insieme delle cellule e degli organi che producono ormoni costituisce il **sistema endocrino**. Esso è estremamente importante in quanto regola il metabolismo, la crescita, la maturazione sessuale e numerose altre attività.

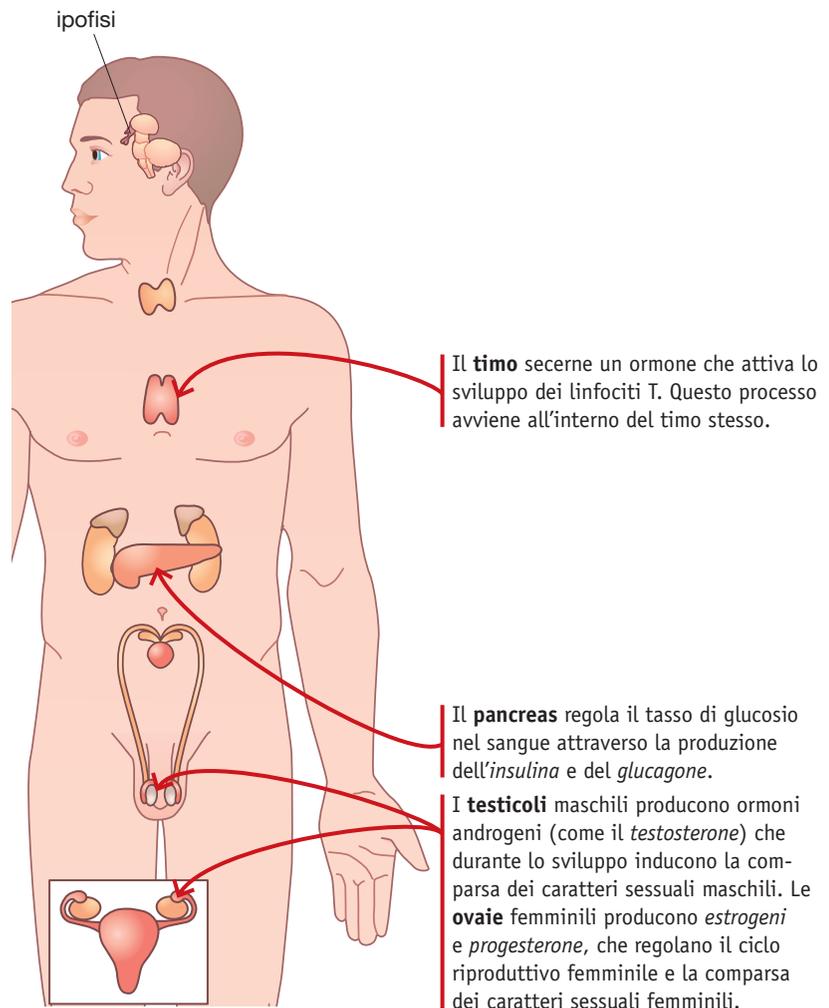
Il sistema endocrino ha una funzione di regolazione simile a quella del sistema nervoso, ma agisce su tempi più lunghi. Lo stimolo nervoso si realizza in termini di frazioni di secondo, mentre un ormone raggiunge il bersaglio nell'arco di minuti, ore o anche giorni.

È costituito da numerose ghiandole, situate in diverse parti del corpo. La **ghiandola pineale** (o *epifisi*) è un piccolo prolungamento dell'encefalo che produce la *melatonina*. Questo ormone influenza i ritmi biologici (sonno e veglia) e riproduttivi. La **tiroide** produce degli ormoni che regolano i processi di sviluppo dell'organismo e, nell'adulto, controllano la pressione sanguigna, il battito cardiaco e diverse funzioni del metabolismo. Le **ghiandole surrenali** sono costituite da due parti: la regione interna secerne ormoni che rispondono a situazioni di stress, mentre la regione esterna produce ormoni che agiscono sull'equilibrio salino, sul livello di glucosio nel sangue e sulla

risposta infiammatoria dell'organismo (come il *cortisone*). Il centro di controllo di questo sistema è situato nella parte più interna dell'encefalo umano, ovvero nell'**ipotalamo**.

Il controllo dell'ipotalamo viene esercitato attraverso la produzione di *ormoni di rilascio* oppure di *ormoni di inibizione*, i quali stimolano o bloccano l'azione di un'altra ghiandola: l'**ipofisi**.

A sua volta, l'ipofisi produce ormoni che hanno come bersaglio le diverse ghiandole del corpo.



La regolazione ormonale

Il **pancreas** regola la concentrazione di glucosio nel sangue, e quindi il rifornimento energetico delle cellule del corpo, attraverso la produzione di due ormoni proteici: l'*insulina* e il *glucagone*.

UNITÀ 11. La trasmissione degli stimoli

Essi svolgono un'azione antagonista che permette di mantenere i livelli di glucosio nel sangue entro un certo intervallo di valori. Insulina e glucagone sono prodotti dalle *isole di Langerhans*, degli ammassi cellulari che rappresentano la parte endocrina del pancreas e sono fisicamente separate dalle cellule esocrine dello stesso organo.

L'**ormone antidiuretico (ADH o vasopressina)** è un polipeptide formato da 9 amminoacidi. Esso viene sintetizzato dalle cellule neurosecretorie dell'ipotalamo e il suo rilascio è controllato dalla neuroipofisi. La funzione principale dell'ADH è quella di diminuire la diuresi e quindi di trattenere l'acqua all'interno dell'organismo, aumentando conseguentemente la pressione sanguigna. La produzione di ADH è stimolata da un aumento della concentrazione di soluti nel sangue dovuta ad un processo di disidratazione, causato per esempio da una eccessiva sudorazione o da una emorragia. Trattenendo l'acqua all'interno dell'organismo, l'ormone antidiuretico fa sì che la concentrazione dei soluti nel sangue diminuisca, facendola ritornare ai livelli ottimali.

Esistono numerose malattie e disturbi provocati da un cattivo funzionamento di una ghiandola del sistema endocrino. L'insufficienza o la totale mancanza di un ormone ha generalmente conseguenze piuttosto gravi.

A Il tasso di glucosio nel sangue aumenta nella fase successiva a un pasto in conseguenza dell'assorbimento da parte dell'intestino.

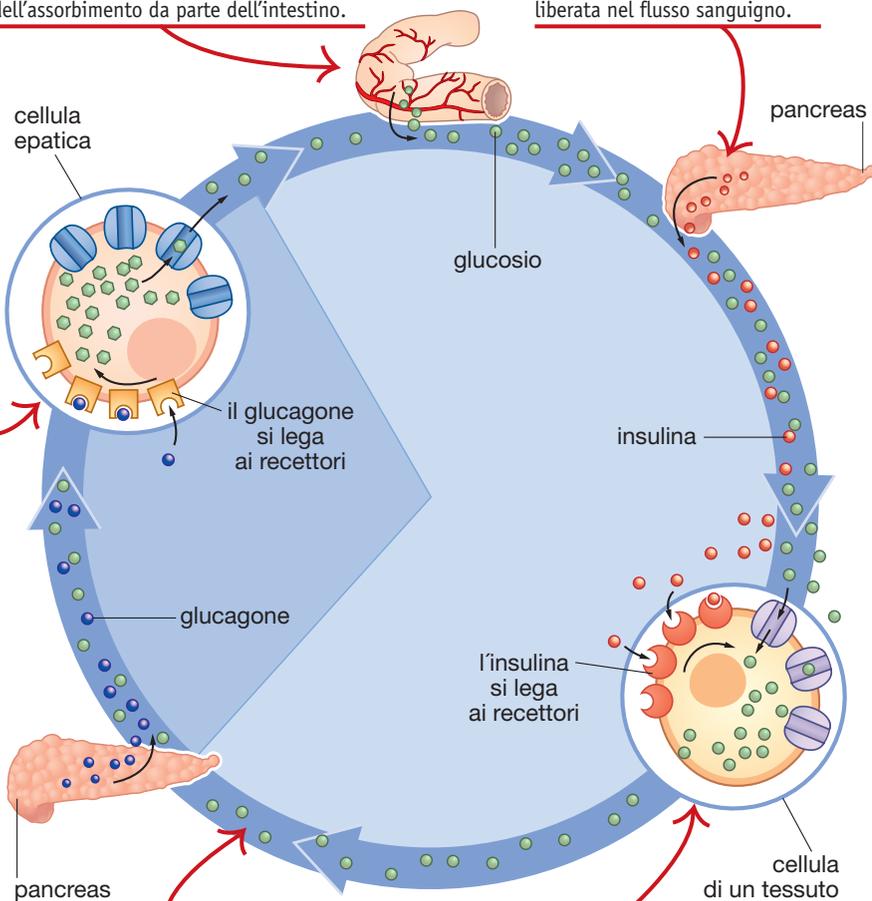
B Il pancreas produce **insulina**, liberata nel flusso sanguigno.

F Il glucagone induce il fegato a demolire il glicogeno e a liberare nel sangue una quantità di glucosio tale da ristabilire la normale concentrazione.

E Il pancreas produce **glucagone**.

D Dopo alcune ore dall'ultimo pasto o se si effettua una notevole attività fisica la concentrazione di glucosio nel sangue si abbassa.

C L'insulina stimola le cellule ad assorbire il glucosio e induce la produzione di glicogeno (una molecola tramite la quale le cellule immagazzinano il glucosio) nel fegato.



■ La risposta agli stimoli nelle piante

Le piante rispondono a numerosi stimoli ambientali di tipo diverso, quali la presenza di luce, la gravità, la temperatura, l'umidità.

Le piante non sono in grado di spostarsi e pertanto, in risposta agli impulsi esterni, possono solamente modificare la propria forma tramite la crescita oppure grazie a piccoli movimenti delle foglie e dei fiori.

La tendenza di una pianta a orientarsi nella direzione di provenienza di uno stimolo o nella direzione opposta è chiamata **tropismo**.

Se una pianta si inclina, le sue radici crescono comunque verso il basso e il fusto si piega fino a riprendere la direzione verticale. La capacità di orientarsi in direzione della forza di gravità viene chiamata **geotropismo**.

Le piante sono inoltre molto sensibili alla luce, essendo questa un fattore fondamentale per la fotosintesi. La capacità di una pianta di reagire alla luce viene chiamata **fototropismo**. Le piante possono piegarsi verso una sorgente luminosa attraverso una crescita differenziale delle cellule del fusto: le cellule sul lato in ombra si allungano di più rispetto a quelle sul lato esposto alla luce.

Molte piante regolano le loro attività in accordo con i cicli naturali: l'apertura e la chiusura degli stomi, ad esempio, coincide con l'alternarsi del dì e della notte, mentre la fioritura avviene in una determinata stagione.

Le risposte delle piante agli stimoli ambientali sono mediate da messaggeri chimici, gli **ormoni vegetali**, e sono pertanto piuttosto lente.

Gli ormoni vegetali appartengono a cinque classi fondamentali:

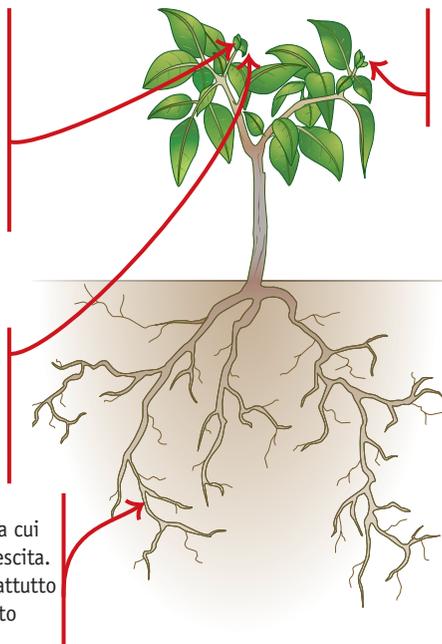
- **auxine**,
- **citochinine**,
- **gibberelline**,
- **acido abscissico**,
- **etilene**.

Gli ormoni spesso agiscono in combinazione tra loro e sono sufficienti minime variazioni nella concentrazione di un ormone perché si inneschino alcuni importanti processi.

Le **auxine** sono ormoni che stimolano l'allungamento dei germogli, del fusto e la crescita in generale. Esse vengono sintetizzate nell'apice del fusto e nelle foglie giovani. Un effetto contrario è dato, in genere, dall'**etilene**, un composto chimico che induce la maturazione dei frutti (agendo come un ormone).

Le **gibberelline** sono ormoni che, in combinazione con le auxine, stimolano l'allungamento dei fusti e delle foglie. Le gibberelline inoltre stimolano la germinazione dei semi. Esse sono sintetizzate principalmente nelle gemme e nei semi.

Le **citochinine** sono ormoni vegetali la cui funzione principale è di regolare la crescita. Le citochinine vengono prodotte soprattutto nelle radici e poi trasportate verso l'alto dalla linfa grezza.



L'**acido abscissico** o ABA è un ormone prodotto nelle foglie e trasportato in varie parti della pianta. Esso inibisce la divisione cellulare nelle gemme e nel cambio. La sua azione pertanto interrompe la crescita e induce il passaggio allo stadio di quiescenza, dopo una siccità o all'inizio dell'inverno.

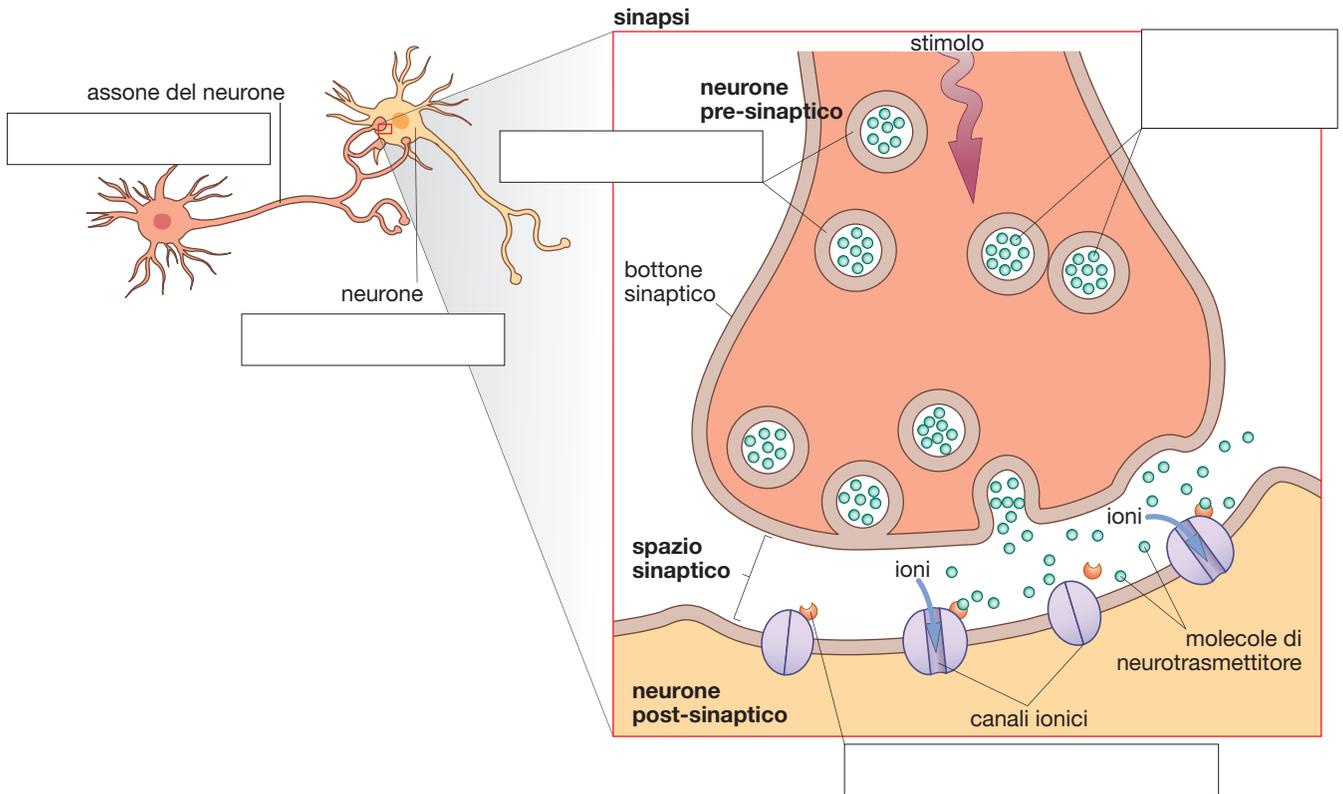
L'effetto antagonista delle auxine e dell'etilene è alla base del meccanismo di *distacco delle foglie*. Alla fine dell'estate tra il fusto e il picciolo della foglia si forma uno strato di cellule con pareti deboli e sottili – detto **strato di abscissione** – la cui formazione è promossa dall'etilene ma inibita dall'auxina.



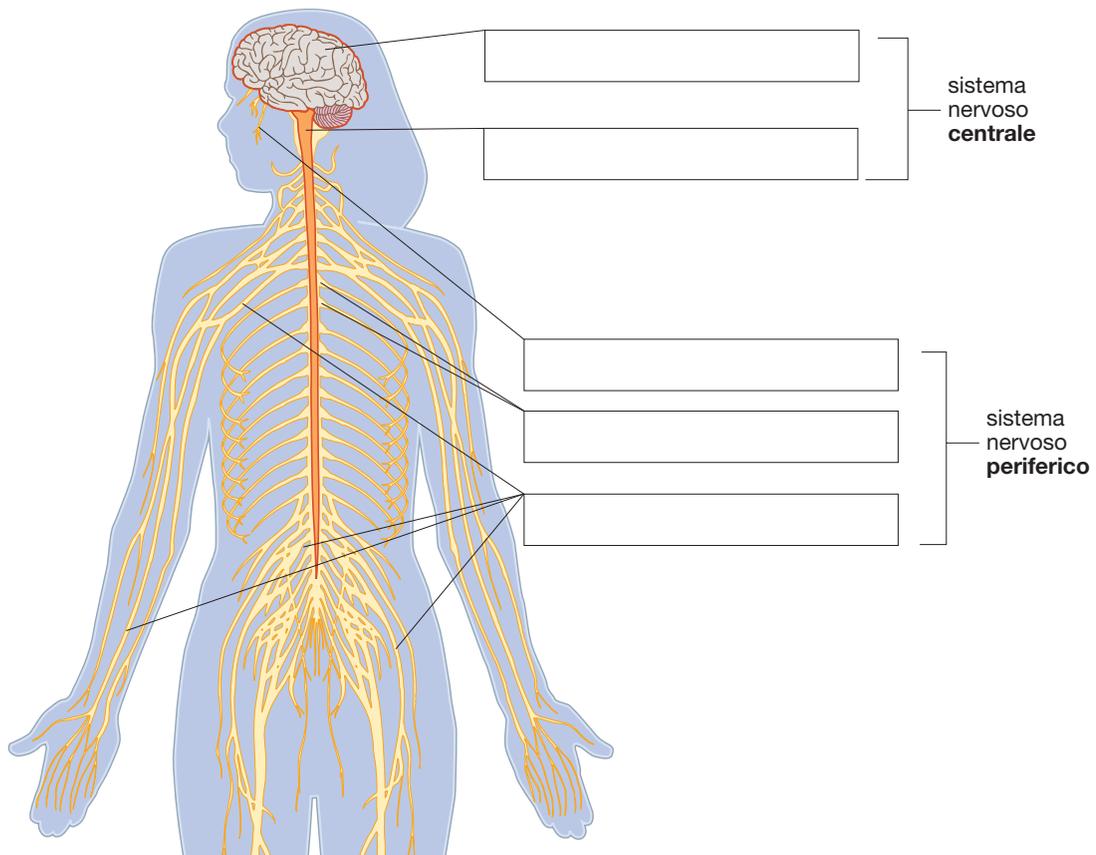
In condizioni normali questi due ormoni si bilanciano; con l'invecchiamento delle foglie la produzione di auxina diminuisce e quindi l'effetto dell'etilene prevale. La foglia cade quando il vento o il peso causano il cedimento dello strato di abscissione e il distacco del picciolo.

UNITÀ 11. La trasmissione degli stimoli

1 Completa la figura della sinapsi chimica.



2 Completa la figura inserendo il nome delle diverse parti del sistema nervoso.



3 Completa le seguenti frasi scegliendo i termini corretti tra quelli indicati nei corrispondenti riquadri.

A. Il potenziale a riposo della cellula nervosa viene mantenuto grazie al fatto che le proteine del sodio restano chiuse, impedendo agli ioni di attraversare la membrana e di entrare nella cellula.

di membrana, canale, pompa, Na^+ , Ca^{++} , K^+

B. Perché l'impulso nervoso si trasmetta lungo un assone, la deve trasmettersi dalla zona in cui si è verificata a quella immediatamente adiacente. Ciò avviene in una sola direzione grazie al fatto che nel tratto interessato a seguito dell'impulso si verifica una che dura circa 2 millisecc; in questo periodo di la membrana non può ricevere ulteriori stimoli.

polarizzazione, iperpolarizzazione, depolarizzazione, pompa sodio-potassio, potenziale d'azione, refrattarietà, riposo

C. Tutto il sistema nervoso centrale è rivestito da tre membrane protettive dette La membrana esterna è la più resistente ed è detta, quella intermedia è l'aracnoide, mentre quella interna è detta Al di sotto dell'aracnoide è presente uno spazio riempito dal liquido

pia madre, dura madre, sostanza grigia, sostanza bianca, meningi, cerebrospinale, endocrino

D. Il sistema nervoso regola le attività involontarie del corpo. Esso si divide in due sistemi antagonisti: il che prevale quando l'organismo si trova in situazione di stress e il che al contrario prevale nei momenti di rilassamento.

centrale, autonomo, periferico, simpatico, parasimpatico

E. Il sistema nervoso svolge la funzione di elaborare le informazioni ed è costituito da, situato all'interno della colonna vertebrale, e, protetto all'interno del cranio.

periferico, centrale, autonomo, midollo spinale, nervi, gangli, encefalo

F. Gli sono molecole, secrete dalle cellule di particolari organi, che si spostano attraverso la circolazione sanguigna e agiscono su in grado di riconoscerli.

ormoni, assoni, messaggeri paracrini, cellule bersaglio, neuroni