

La trasmissione dell'impulso nervoso

La capacità, davvero singolare, di *condurre velocemente impulsi elettrici* da una parte all'altra del corpo deriva da alcune caratteristiche che si riscontrano in tutte le cellule.

✓ Il potenziale di membrana

La membrana cellulare contiene numerose strutture proteiche chiamate **pompe sodio-potassio**. Esse, attraverso un meccanismo di *trasporto attivo*, mantengono all'interno della cellula una bassa concentrazione di ioni sodio (Na^+) e un'alta concentrazione di ioni potassio (K^+).

Un'altra proteina della membrana cellulare, chiamata **canale di fuga del potassio**, permette l'uscita dalla cellula di piccole quantità di K^+ . Questa operazione non richiede consumo di energia, perché in questo caso gli ioni discendono lungo il proprio gradiente di concentrazione (all'esterno c'è meno potassio che all'interno).

La fuoriuscita di pochi ioni K^+ basta per rendere più positiva la faccia esterna della membrana cellulare (e più negativa quella interna).

La tendenza delle cariche a ristabilire l'equilibrio si chiama *differenza di potenziale o voltaggio*. Nel nostro caso si parla di **potenziale di membrana**. Esso viene mantenuto dalle proprietà isolanti della membrana (ma l'iso-

lamento non è mai perfetto) e dalla pompa sodio-potassio. Ogni cellula del corpo dedica circa un terzo della propria energia (ATP) al funzionamento delle sue pompe. L'esistenza del potenziale permette di affermare che *le membrane delle cellule sono polarizzate* (fig. 1).

Anche i **canali del sodio** consistono di molecole proteiche incorporate qua e là nello spessore della membrana cellulare. Di norma restano chiusi, ma si aprono improvvisamente quando il tratto di membrana su cui si trovano viene eccitato, e allora una grande quantità di ioni sodio irrompe nella cellula. Tale fenomeno avviene perché il gradiente chimico spinge il sodio a entrare nella cellula e il gradiente elettrico spinge gli ioni sodio positivi (Na^+) verso il lato interno, più negativo, della membrana. Nei punti di passaggio degli ioni si annulla la differenza di potenziale, o addirittura si inverte tra l'esterno e l'interno. La membrana, cioè, si **depolarizza**. Questo fenomeno dura solo un istante, perché dopo pochi millesimi di secondo i canali del sodio si richiudono e tutto torna come prima. Il sodio entrato nella cellula verrà risospinto fuori dalla pompa sodio-potassio. La quantità di ioni entrati in seguito alla depolarizzazione è trascurabile.

Grazie ai canali di membrana, tutte le cellule sono elettricamente eccitabili, ma le **cellule nervose** sono partico-

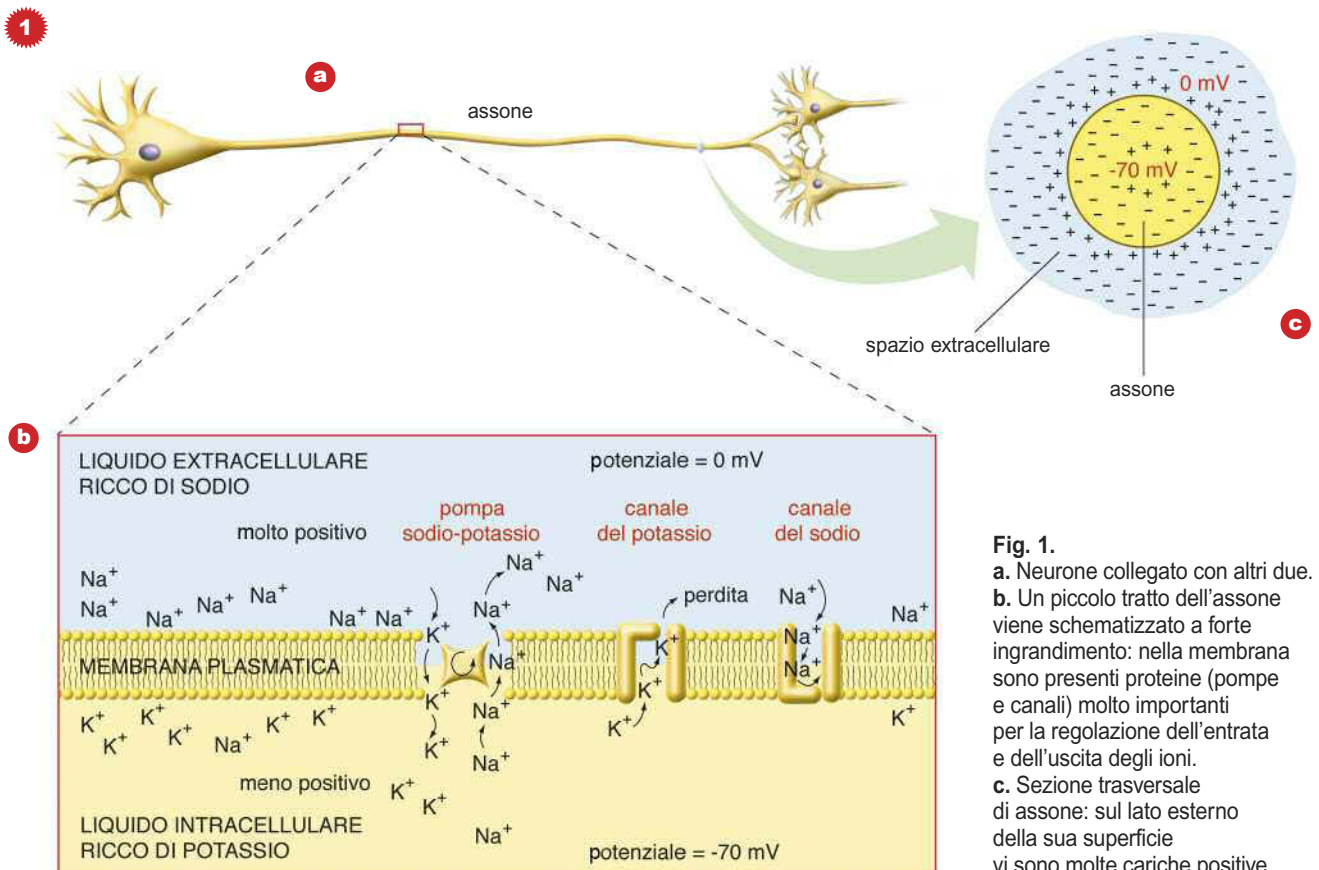
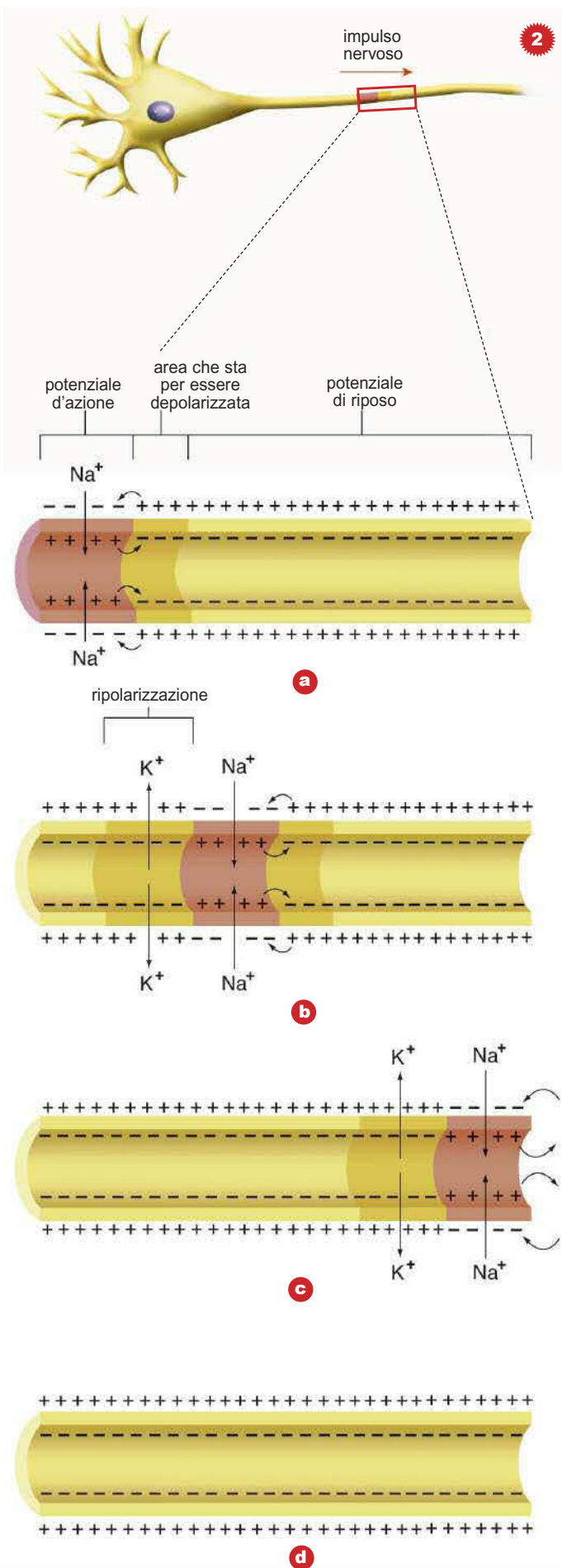


Fig. 1.
a. Neurone collegato con altri due.
b. Un piccolo tratto dell'assone viene schematizzato a forte ingrandimento: nella membrana sono presenti proteine (pompe e canali) molto importanti per la regolazione dell'entrata e dell'uscita degli ioni.
c. Sezione trasversale di assone: sul lato esterno della sua superficie vi sono molte cariche positive.



larmente sensibili agli stimoli. Per **stimolo** s'intende una sollecitazione meccanica, chimica, termica, elettrica, luminosa o di altro tipo capace di alterare il potenziale di membrana. Di solito lo diminuisce, e di conseguenza il lato interno della membrana, che è a -70 mV rispetto all'esterno, tende ad azzerarsi. Se lo stimolo è sufficiente a portare la faccia interna della membrana cellulare ad almeno -50 mV (**valore soglia**) o a valori ancora più positivi, come -40 mV o -10 mV od oltre, scatta il meccanismo di **apertura dei canali del sodio**.

L'entrata degli ioni **depolarizza la membrana** che assume localmente una polarità invertita: diventa positiva sul lato interno e negativa all'esterno. Dopo circa un millesimo di secondo il potenziale di membrana ritorna normale. Il fenomeno elettrico così generato si chiama **potenziale d'azione** o **impulso nervoso**. L'espressione "potenziale d'azione" si contrappone al **potenziale di riposo** (di -70 mV), che è il potenziale di membrana in stato di inattività. Il valore sopra citato di -50 mV è il limite soglia che bisogna superare per scatenare il potenziale d'azione. La depolarizzazione induce le regioni vicine della membrana ad aprire a loro volta i propri canali del sodio; pertanto, l'**impulso nervoso percorre l'assone** in tutta la sua lunghezza (fig. 2).

L'impulso nervoso è **veloce**, viaggia a una velocità che va da 1 a oltre 100 metri al secondo, a seconda del tipo di assone. Ciò richiede una certa spesa energetica (consumo di ATP), ma assicura la trasmissione dell'impulso **senza diminuzione di intensità e senza distorsioni**. Senza i meccanismi attivi di membrana sopra descritti, la trasmissione dell'impulso elettrico si fermerebbe dopo pochi millimetri. Soltanto la partecipazione attiva della membrana garantisce una trasmissione inalterata del potenziale d'azione.

L'impulso nervoso segue la **legge del "tutto o nulla"**. Una miccia o è accesa o non lo è; analogamente un potenziale d'azione, o avviene per depolarizzazione della membrana, o non avviene. Anche i canali del sodio della membrana o si aprono, o restano chiusi: non si aprono mai a metà. Tutti i singoli impulsi nervosi, di conseguenza, mantengono sempre la propria forma e dimensione lungo tutto il loro percorso. Questo garantisce una trasmissione rapida e fedele.

I messaggi trasmessi sono invece **modulati in frequenza**. Per esempio, lo sfioramento di un dito dev'essere percepito in modo diverso (meno intenso) di una martellata. Una martellata su un dito provoca l'invio al cervello di una serie assai numerosa di impulsi, fino a poco più di mille al secondo. (Non di più, perché dopo ogni impulso segue un tempo, brevissimo, in cui il nervo non è eccitabile.) Invece lo sfioramento dello stesso dito provoca l'invio di impulsi più distanziati nel tempo.

Fig. 2. Schema di avanzamento di un impulso nervoso lungo un assone (a, b, c, d) rappresentato con i flussi degli ioni Na^+ e K^+ .