



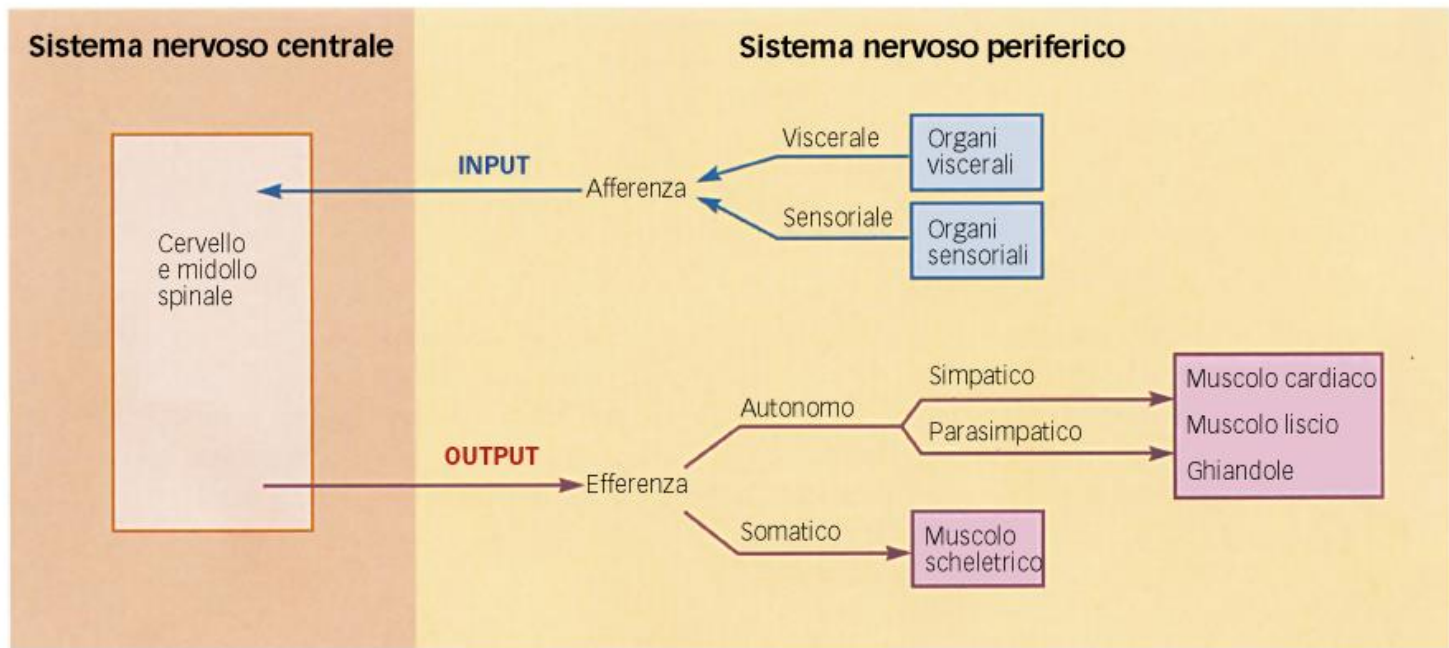
Prof.ssa Iole Tomassini Barbarossa

Corso di Laurea Magistrale in
Neuropsicobiologia

Lezioni di Fisiologia sensoriale

E' vietata la copia e la riproduzione dei contenuti e immagini in qualsiasi forma.

E' inoltre vietata la redistribuzione e la pubblicazione dei contenuti e immagini non autorizzate espressamente dall'autore.

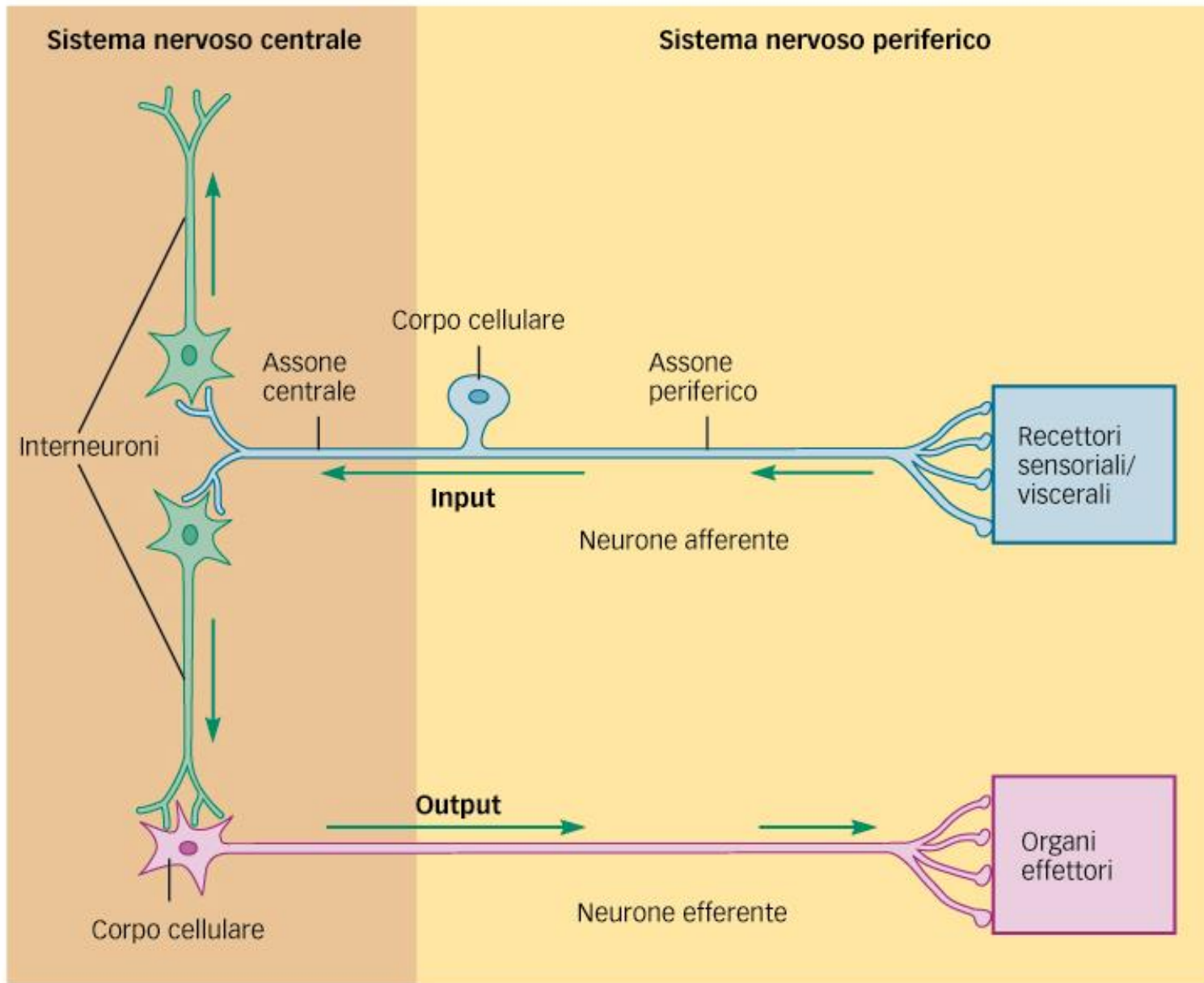


Il sistema nervoso è una struttura organizzata funzionalmente per:

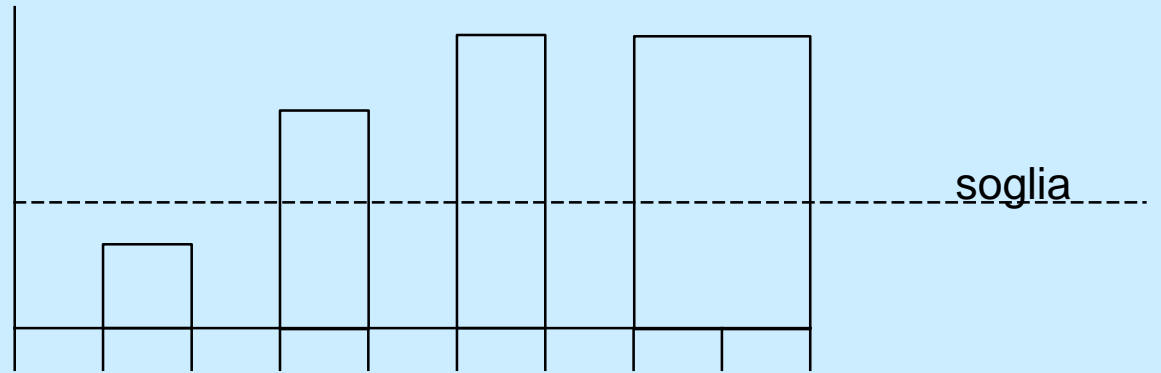
ricevere (*sistema nervoso periferico*)

conservare e elaborare (*sistema nervoso centrale*) \longrightarrow **informazioni**

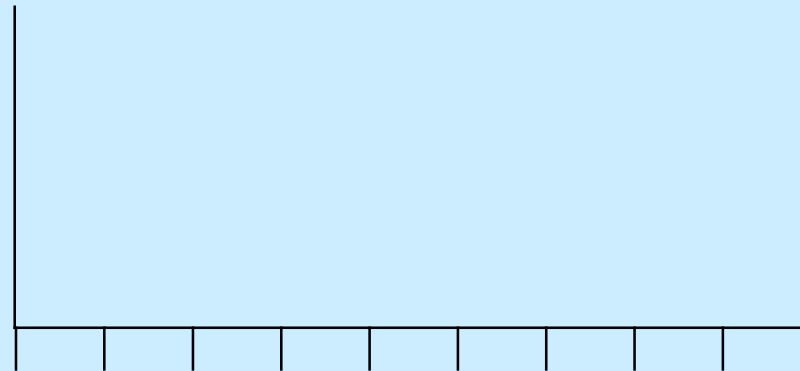
trasmettere (*sistema nervoso periferico*)



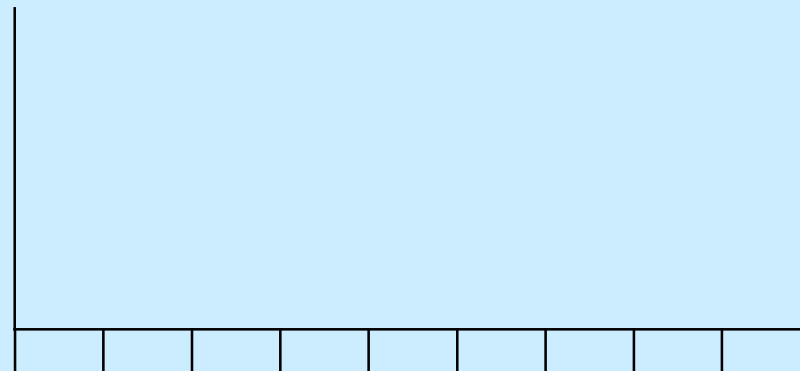
stimolo



recettore



Fibra afferente



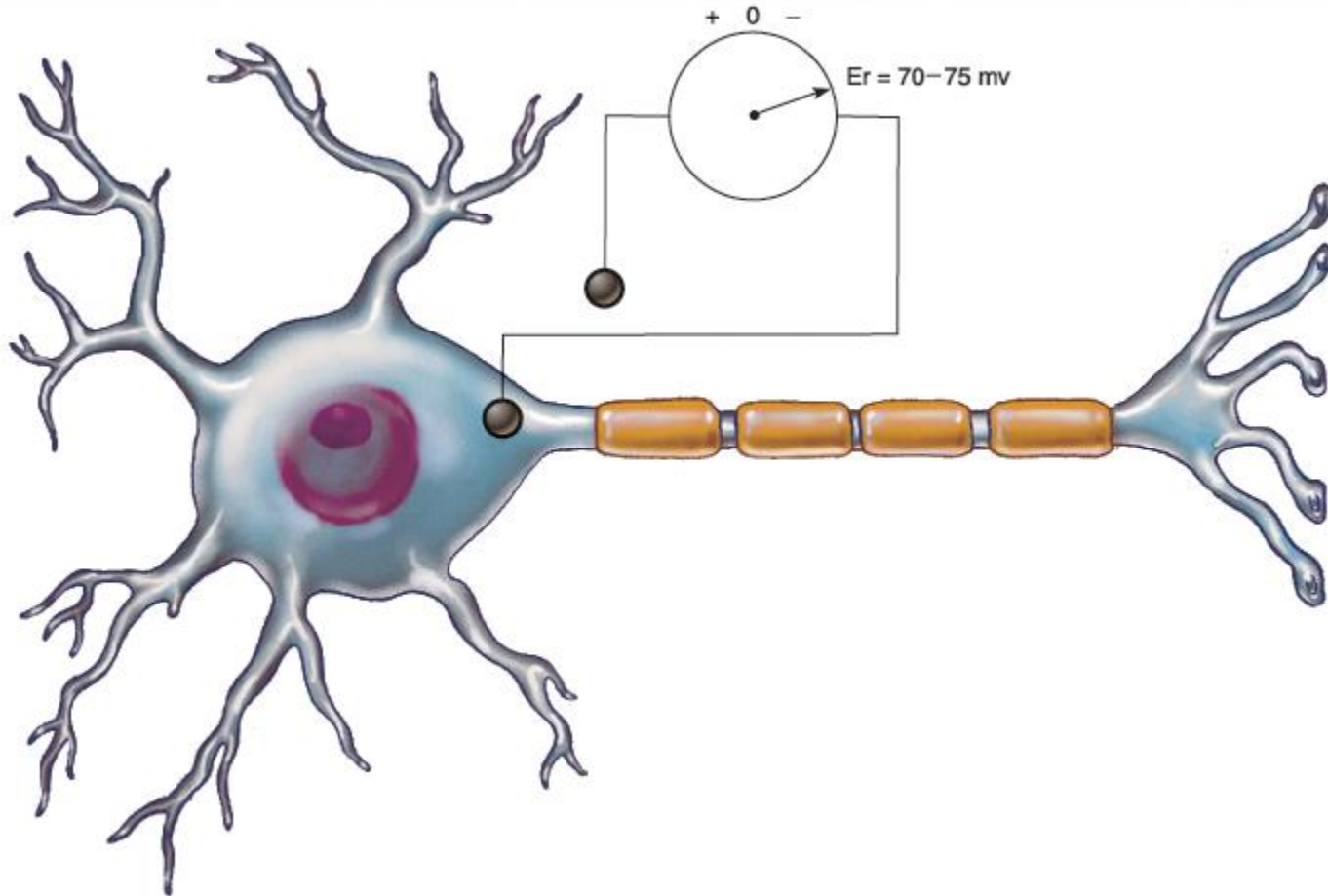
Tempo (s)

Concetti da chiarire:

Canali ionici

Potenziale di membrana

Potenziale d'azione



Il neurone, come tutte le cellule eccitabili possiede **un potenziale di membrana a riposo**

Particelle cariche elettricamente generano forze elettriche

Direzione di tali forze:

Particelle di **segno opposto** si attraggono

Particelle dello **stesso segno** si respingono

Per **separare** cariche di segno opposto occorre **energia**

Avvenuta la separazione delle cariche si accumula energia sotto forma di **potenziale elettrico** o **voltaggio**

I potenziali elettrici nei **sistemi biologici** sono prodotti mediante separazione di **ioni** positivi e negativi che si attraggono.

Quando gli **ioni si muovono** generano **corrente elettrica**
(nei sistemi biologici le correnti sono dell'ordine dei **10^{-6} ampere**)

il movimento degli ioni a cavallo della membrana dipende da:

- differenza di potenziale
- resistenza della membrana

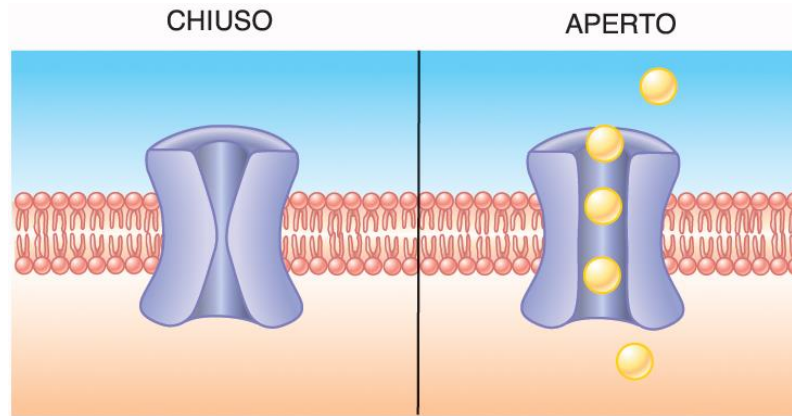
Conduttanza
permeabilità

$$I=V/R \quad \text{legge di Ohm}$$

La comprensione della legge di Ohm è fondamentale per capire **la fisiologia del neurone**

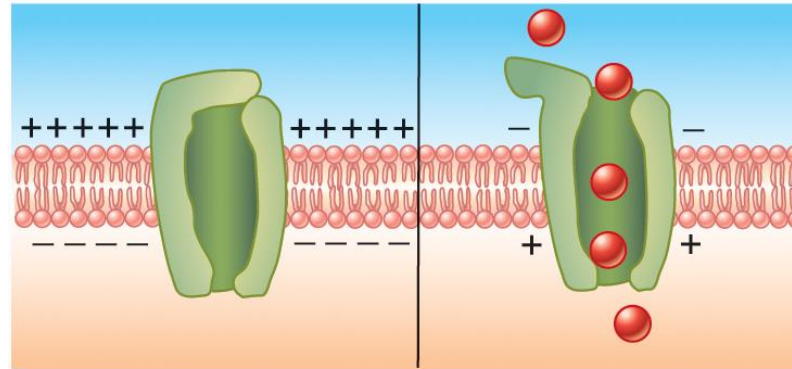
Ai due lati della membrana esiste una differenza di **potenziale elettrico**, all'interno e all'esterno esistono **ioni** disponibili per trasportare cariche attraverso la membrana e la **resistenza** al movimento delle cariche può essere variata dall'apertura o chiusura di **canali**

Canali passivi



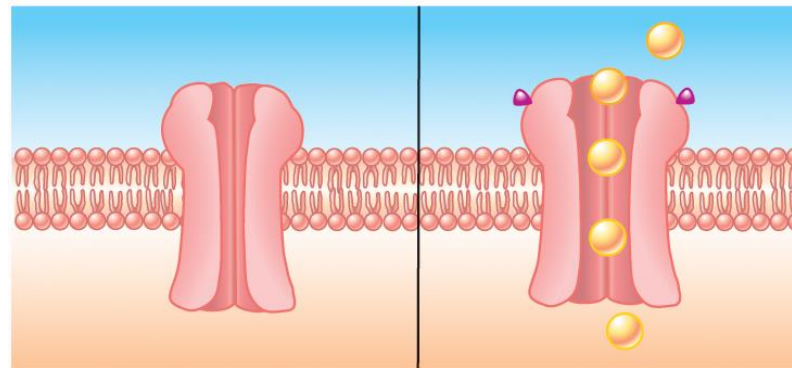
(a) Canale ionico

Canali voltaggio dipendenti

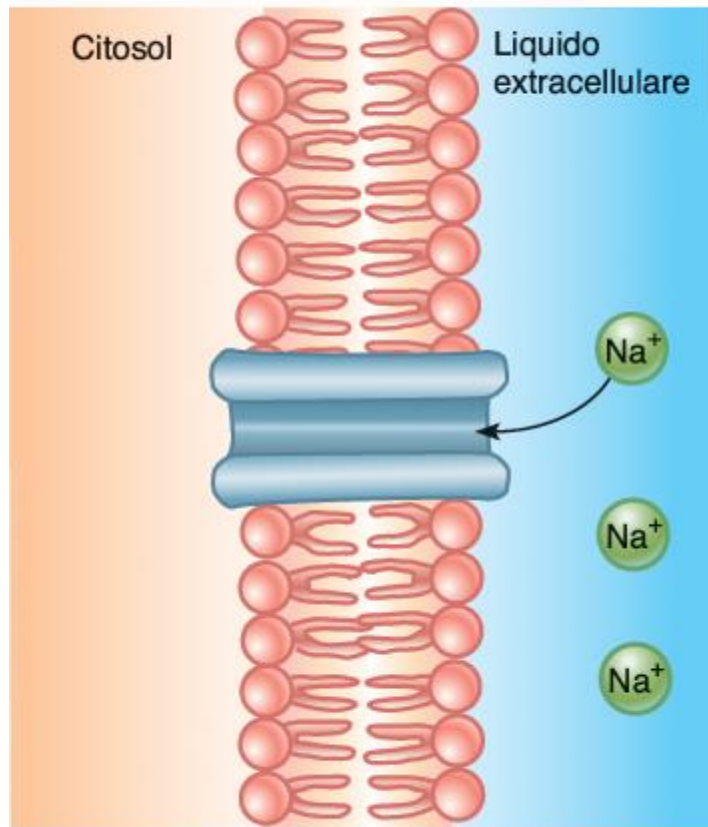


(b) Canali voltaggio chiusi

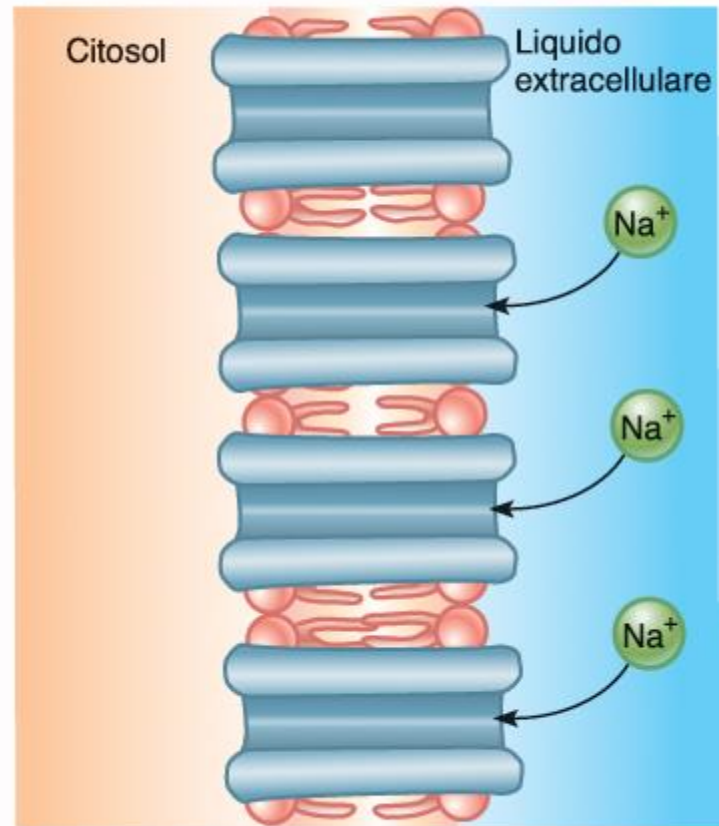
Canali chemiodipendenti



(c) Canali ligando chiusi

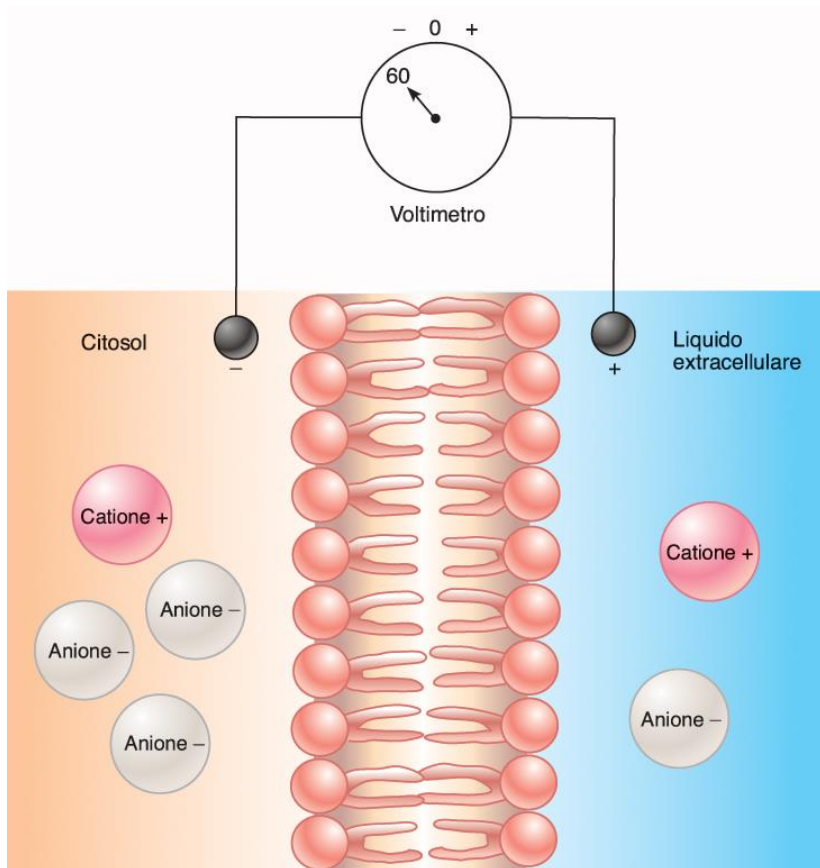


Bassa conduttanza
(a)



Alta conduttanza
(b)

Il potenziale di membrana a riposo dipende da:



1. Le forze elettrochimiche che spingono gli ioni Na^+ e K^+ ad attraversare la membrana

2. Le differenze di permeabilità della membrana nei confronti degli ioni Na^+ e K^+ e anioni proteici

3. Pompa Na^+ / K^+

Forze che guidano i trasporti

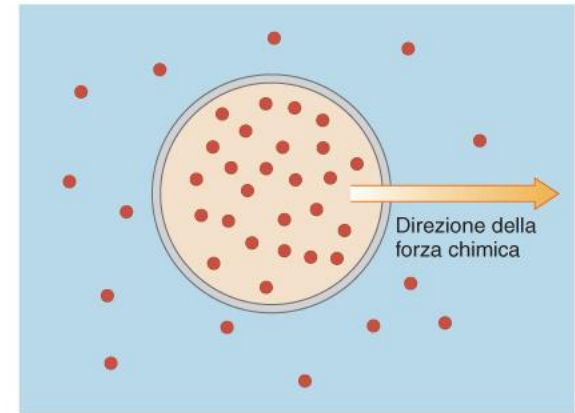
Ogni differenza di energia a cavallo della membrana agisce come una **forza** che tende a spingere le molecole.

La **direzione** della forza è sempre dalla regione a più alta energia a quella più bassa, perchè c'è una maggiore probabilità a muoversi in quella direzione

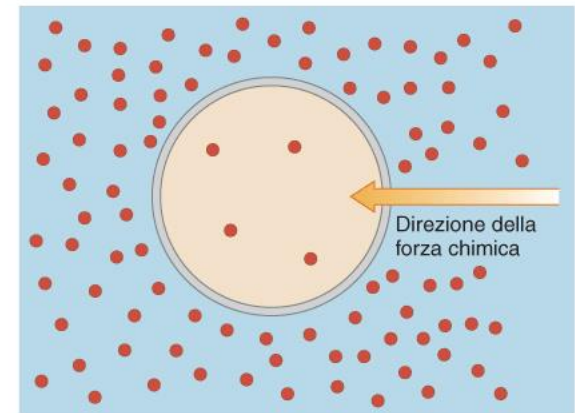
FIGURA 4.1 Forze chimiche. (a) Quando la concentrazione di molecole (punti) è maggiore all'interno della cellula rispetto al liquido extracellulare, la direzione della forza chimica (freccia) è verso l'esterno. (b) Quando la concentrazione di molecole è maggiore nel liquido extracellulare, la direzione della forza chimica è verso l'interno. In entrambi i casi, le molecole si muoveranno passivamente secondo la direzione della forza o, in altri termini, secondo il gradiente di concentrazione.

Gradiente di concentrazione è la **forza chimica** che spinge le molecole (alta concentrazione → bassa concentrazione)

La velocità del trasporto dipende dall'ampiezza del gradiente di concentrazione



(a)



Forze elettriche

Gli ioni sono influenzati da forze elettriche che originano dall'esistenza di una differenza di potenziale a cavallo della membrana, **il potenziale di membrana**.

L'ampiezza del potenziale di membrana dipende dal grado di separazione delle cariche, il potenziale di membrana della maggior parte delle cellule è di **70 mV negativo (-70 mV)**

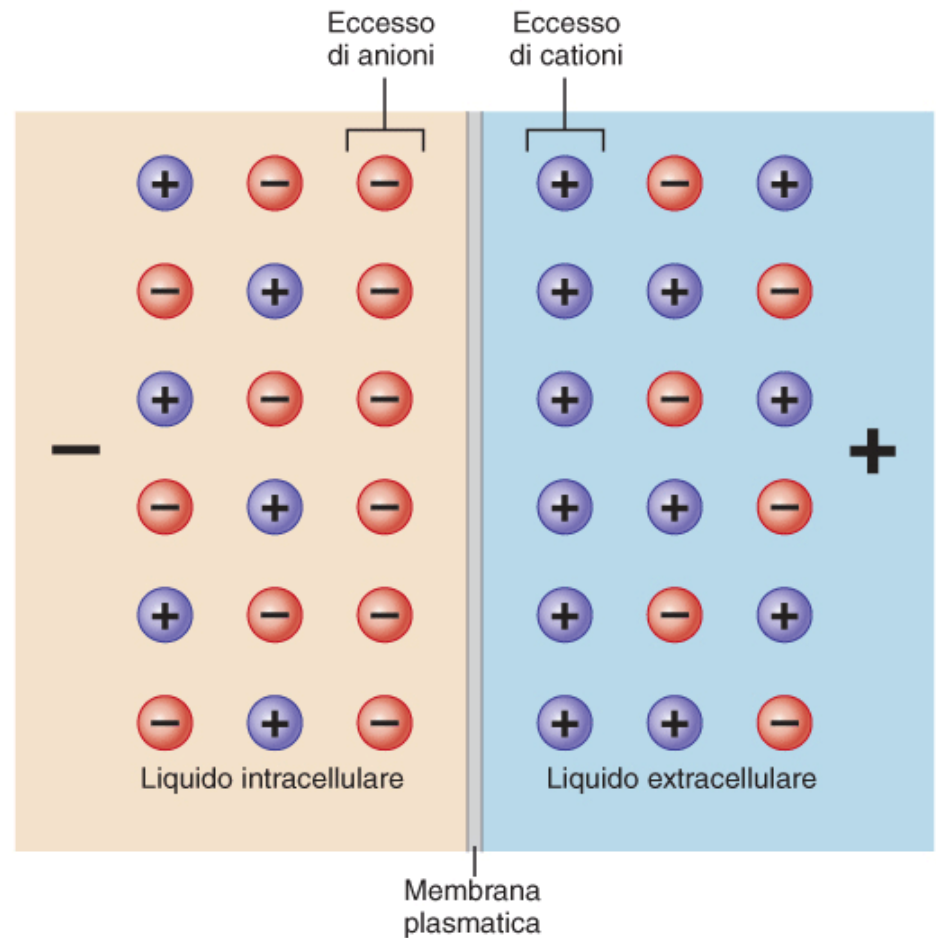
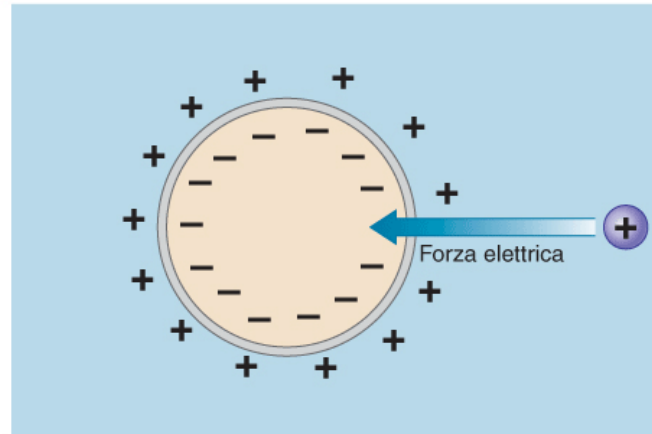
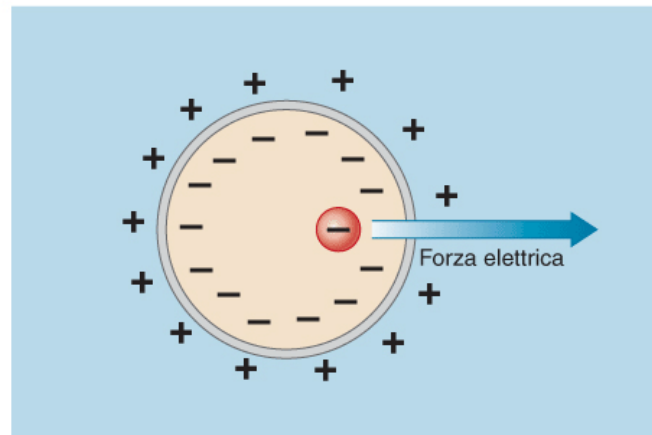


FIGURA 4.2 Separazione delle cariche ai due lati della membrana. In condizioni normali, il liquido che si trova dentro la cellula contiene un numero leggermente maggiore di anioni (cariche negative), mentre il liquido all'esterno della cellula contiene un numero leggermente maggiore di cationi (cariche positive). Queste cariche in eccesso sono raggruppate nella regione vicina alla membrana. La carica netta all'interno e all'esterno della cellula è indicata dai segni (+) e (-) nei due compartimenti.

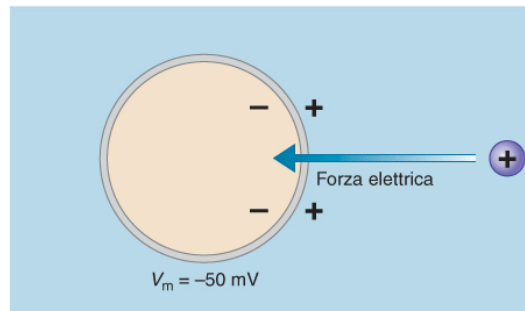


(a)

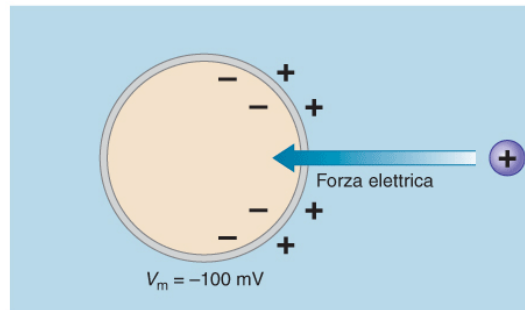


(b)

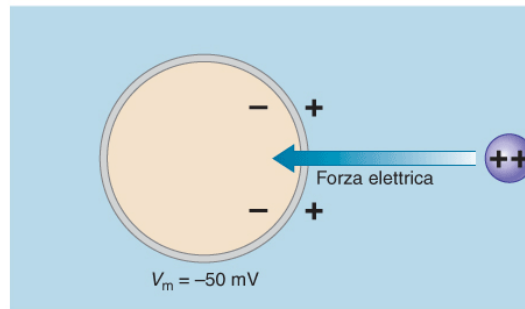
FIGURA 4.3 Forze elettriche. (a) Quando uno ione carico positivamente attraversa una membrana plasmatica, la forza elettrica (freccia) è diretta verso l'interno. (b) Quando uno ione carico negativamente attraversa la membrana, la forza elettrica è diretta verso l'esterno. In entrambi i casi, si assume che il potenziale di membrana sia negativo, come indicato dai segni (+) e (-) ai due lati della membrana.



(a)



(b)



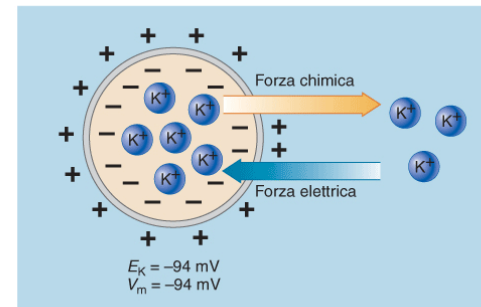
(c)

FIGURA 4.4 Effetti del potenziale di membrana e della valenza ionica (carica) sulla forza elettrica. (a) In presenza di un potenziale di membrana negativo ($V_m = -50 \text{ mV}$), una forza elettrica diretta verso l'interno (freccia) agisce sugli ioni carichi positivamente che stanno attraversando la membrana. (b) Se l'ampiezza del potenziale di membrana aumenta al valore di -100 mV , aumenta anche l'ampiezza della forza elettrica (come rappresentato dal maggior spessore della freccia). (c) La forza elettrica è maggiore anche nel caso di ioni con valenza maggiore.

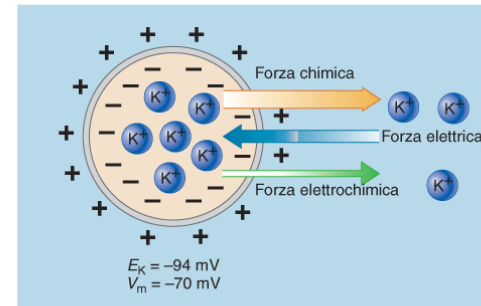
La forza totale che agisce su uno ione, **forza elettrochimica**, è la combinazione delle forze elettriche e di quelle chimiche

La **direzione** della forza elettrochimica dipende dalla direzione netta delle forze chimiche e di quelle elettriche

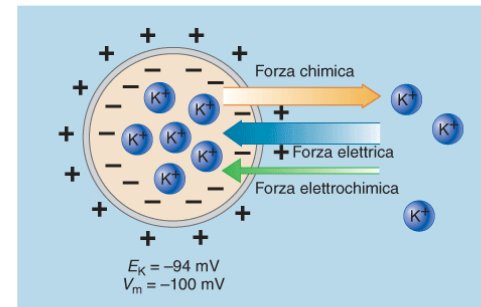
potenziale di equilibrio è il valore di potenziale che la membrana dovrebbe avere perché la forza elettrica fosse uguale ed opposta alla forza chimica, producendo una forza elettrochimica = a zero e un flusso netto = a zero



(a)



(b)



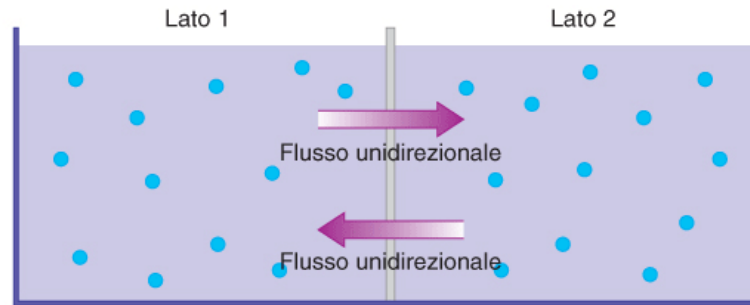
(c)

FIGURA 4.5 Forze elettrica, chimica ed elettrochimica che agiscono sugli ioni potassio che attraversano una membrana plasmatica. Il potenziale di equilibrio per il K^+ è -94 mV e il potenziale di membrana viene assunto negativo. **(a)** Quando il potenziale di membrana diventa uguale al potenziale di equilibrio ($V_m = -94$ mV), la forza elettrochimica del K^+ è zero. **(b)** Quando il potenziale di membrana è -70 mV, la forza elettrica è più piccola di quella chimica (confrontate la lunghezza delle frecce) e la forza elettrochimica è diretta verso l'esterno. **(c)** Quando il potenziale di membrana è -100 mV, la forza chimica è più piccola di quella elettrica e la forza elettrochimica è diretta verso l'interno della cellula.

La forza elettrochimica determina la direzione con la quale gli ioni si muoverebbero se venisse loro permesso di attraversare la membrana passivamente.

Quando gli ioni vengono **trasportati passivamente** si muovono sempre secondo il loro gradiente elettrochimico.

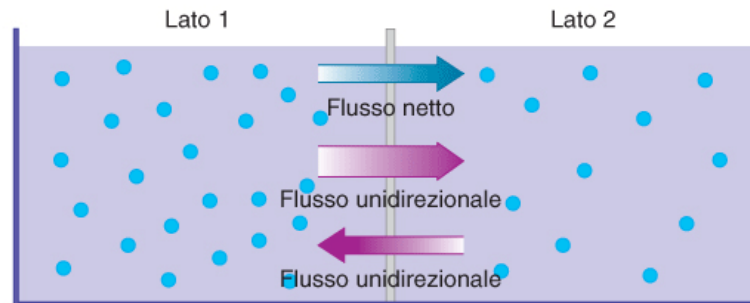
Quando gli ioni vengono **trasportati attivamente** si muovono contro il loro gradiente elettrochimico.



Concentrazione: 1 M

1 M

(a)



Concentrazione: 2 M

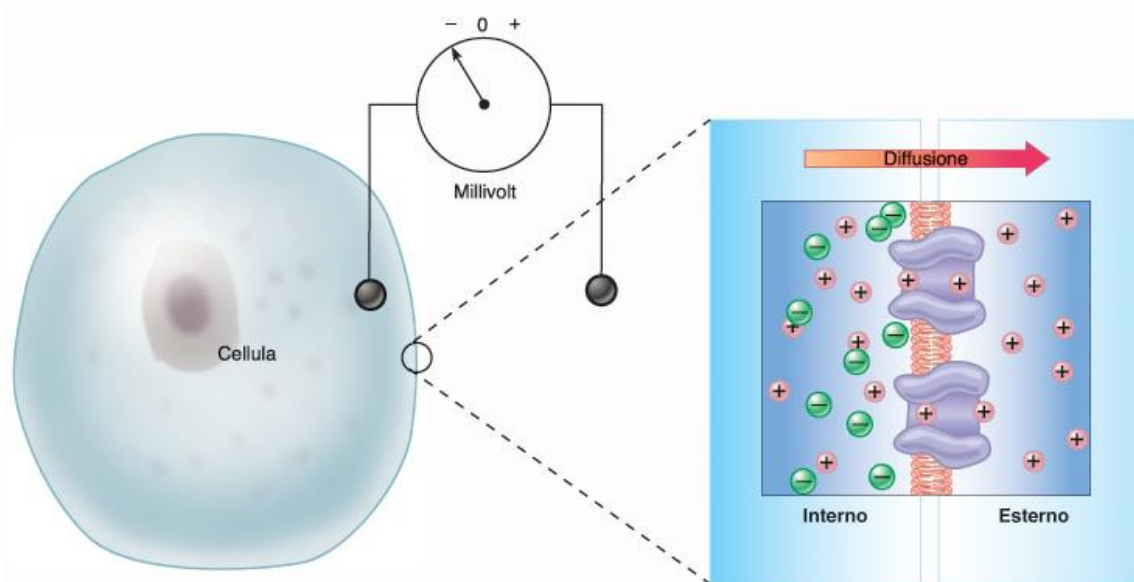
1 M

(b)

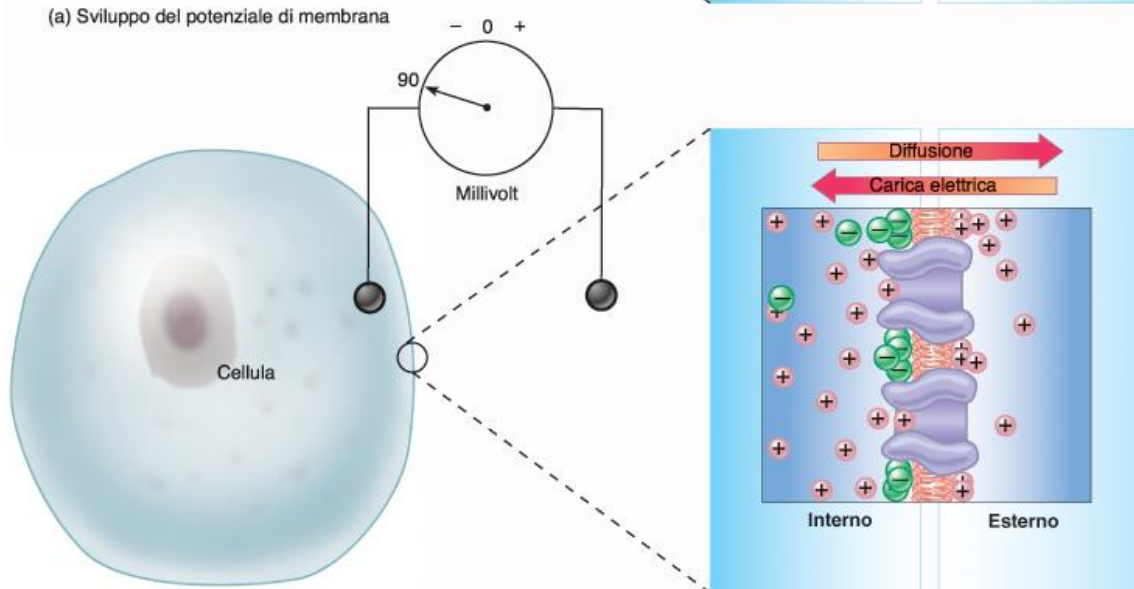
FIGURA 4.6 Flusso direzionale delle molecole e flusso netto. (a)

Equilibrio di diffusione. Quando le molecole di soluto (punti) sono alla stessa concentrazione ai due lati della membrana, il flusso unidirezionale dal compartimento 1 al compartimento 2 è uguale a quello dal compartimento 2 al compartimento 1 (freccie). In queste condizioni, il flusso netto attraverso la membrana è zero. **(b)** Flusso netto. Quando la concentrazione nel compartimento 1 viene aumentata del doppio, il flusso unidirezionale da questo compartimento al compartimento 2 si raddoppia di conseguenza, ma il flusso unidirezionale con direzione opposta rimane inalterato. In tal caso i due flussi unidirezionali sono diversi (come indicato dalle frecce) e ciò produce un flusso netto lungo il gradiente di concentrazione dal compartimento 1 al compartimento 2.

Potenziale d'equilibrio del potassio



(a) Sviluppo del potenziale di membrana

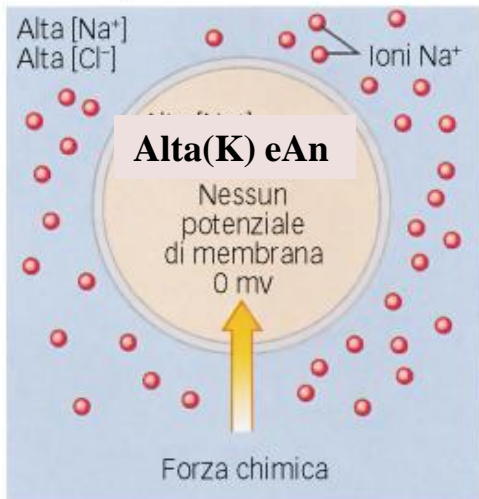


(b) Equilibrio elettrochimico

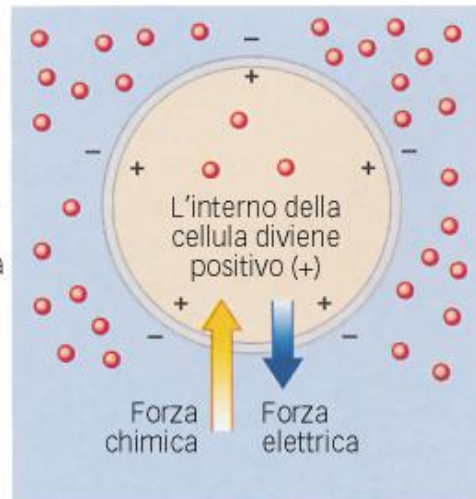
+ Ione potassio
- Anione organico

Potenziale d'equilibrio del sodio

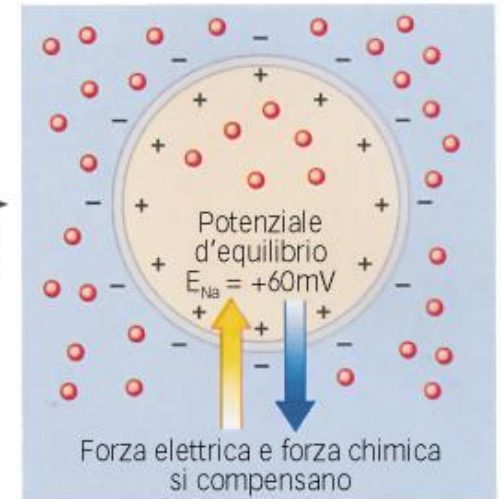
Cellula 2: permeabile solo al sodio



Il potenziale di membrana si sviluppa



Si stabilisce l'equilibrio

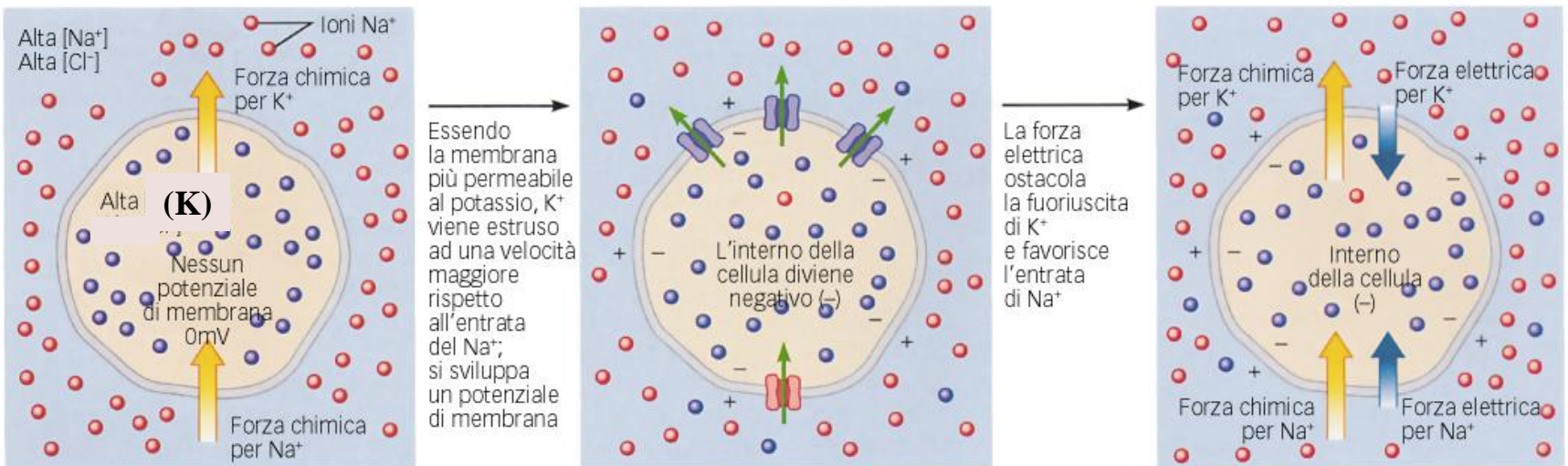


(a)

(b)

(c)

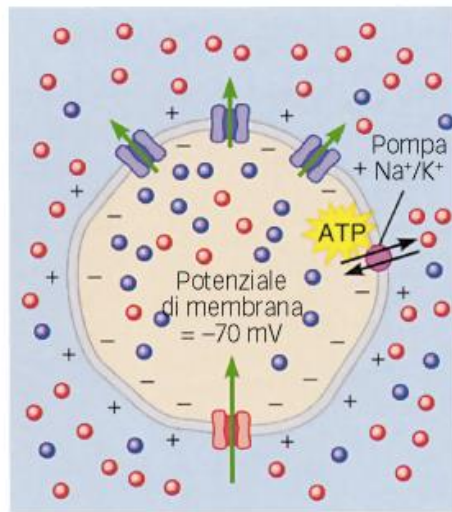
Potenziale di membrana a riposo



(a)

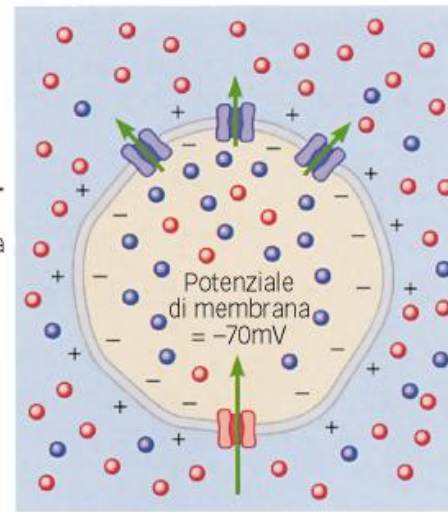
(b)

(c)



(e)

La pompa Na^+/K^+ bilancia le perdite attraverso la membrana mantenendo i gradienti di Na^+ e K^+ costanti (stato stazionario)



(d)

La fuoriuscita di K^+ diminuisce e l'ingresso di Na^+ accelera. Alla fine il potenziale di membrana si stabilizza

ATPasi sodio potassio dipendente

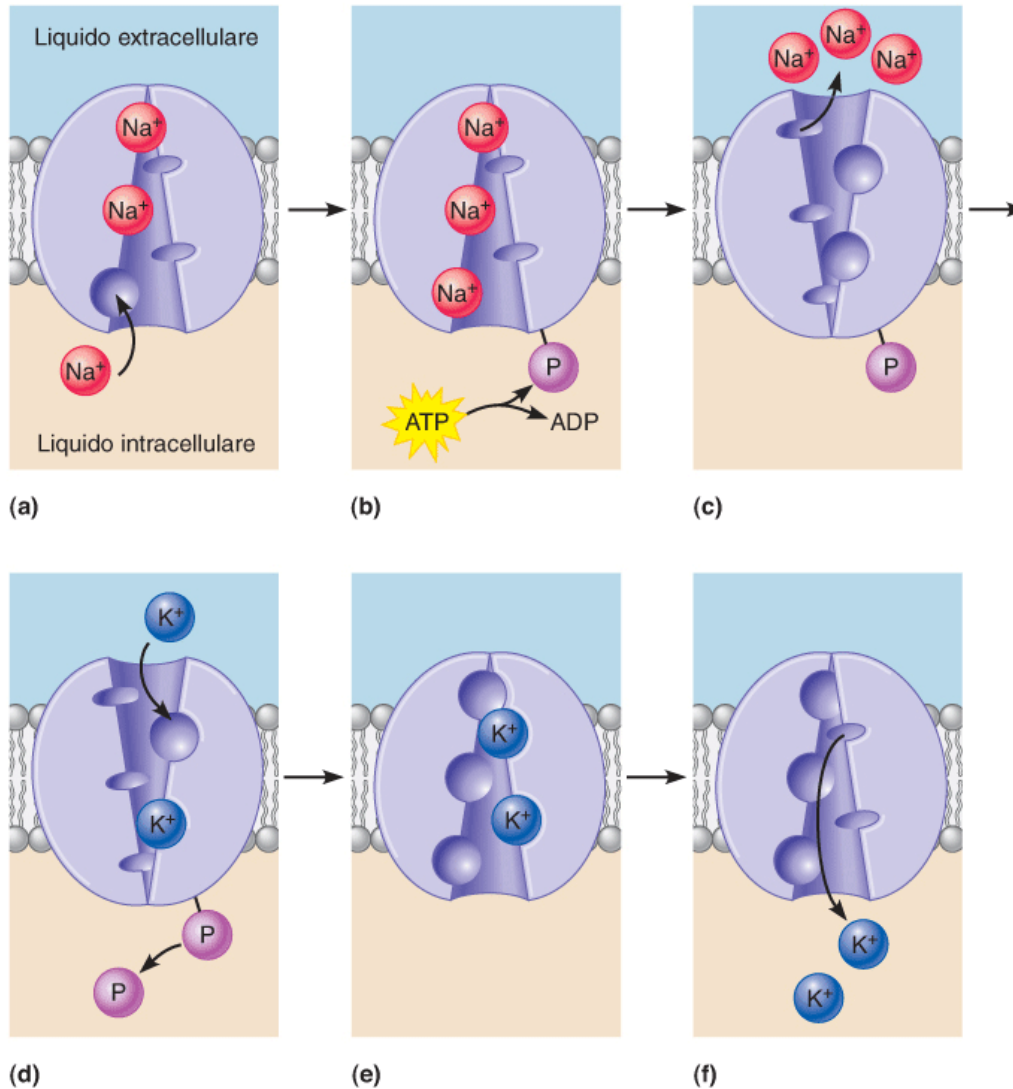
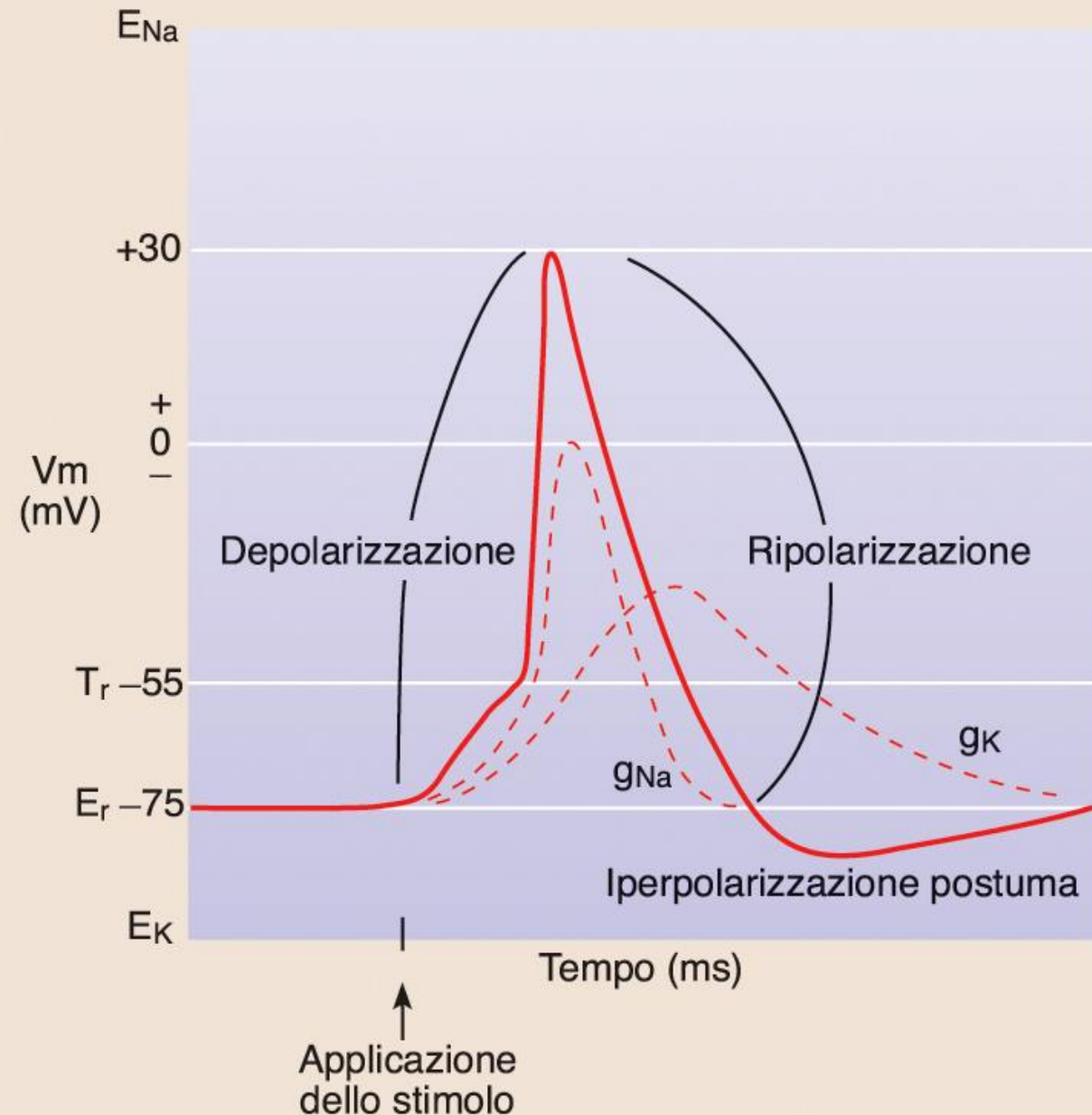


FIGURA 4.14 Trasporto attivo primario mediante la pompa Na⁺/K⁺. La pompa, che è dotata di tre siti di legame per il sodio e due siti di legame per il potassio, utilizza direttamente ATP per trasportare gli ioni Na⁺ fuori e gli ioni K⁺ dentro la cellula contro il loro gradiente elettrochimico. **(a)** Il Na⁺ intracellulare si lega alla proteina. **(b)** Il legame di tre ioni Na⁺ attiva la fosforilazione della pompa da parte dell'ATP. **(c)** La fosforilazione induce una modificazione conformazionale della proteina che permette la liberazione di Na⁺ nel liquido extracellulare. **(d)** Il K⁺ extracellulare si lega alla proteina attivando la liberazione del gruppo fosfato. **(e)** La perdita del gruppo fosfato permette alla proteina di ritornare alla sua conformazione originaria. **(f)** Il K⁺ viene liberato all'interno della cellula e i siti per il Na⁺ ritornano disponibili per nuovi legami.

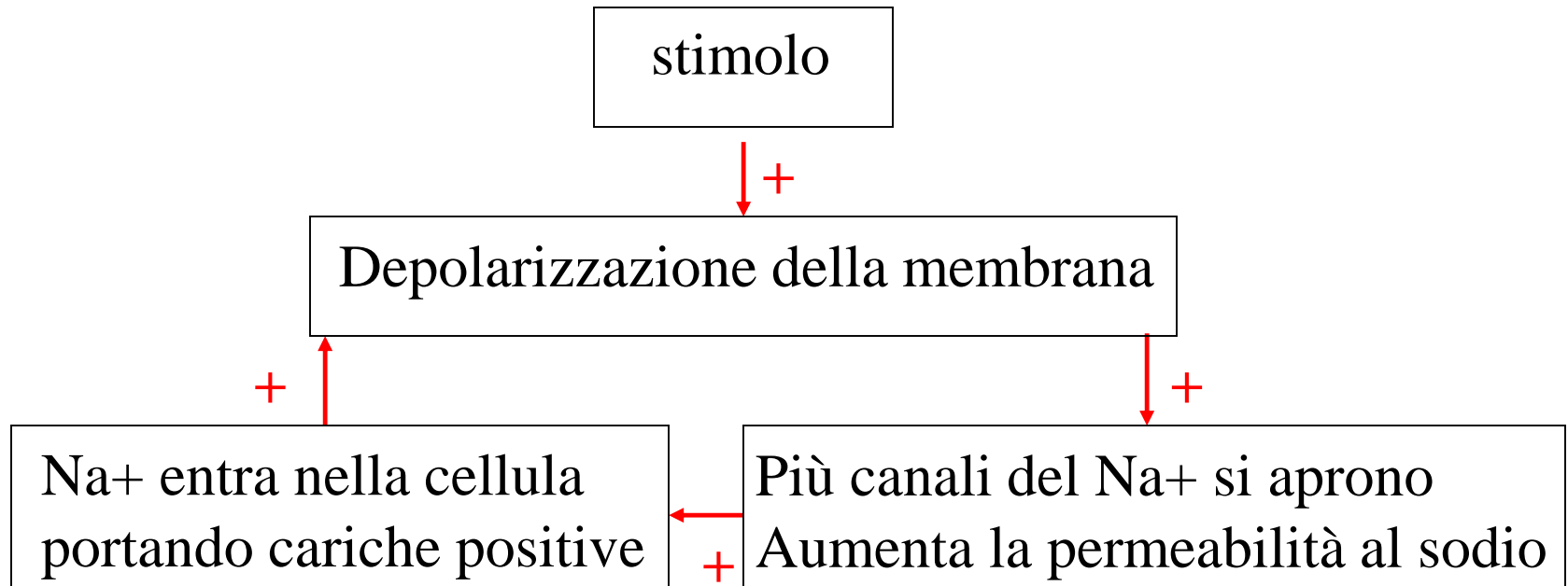
La differenza **tra pompe e trasportatori** dipende dal fatto che nelle pompe l'affinità dei siti di legame è diversa ai due lati della membrana

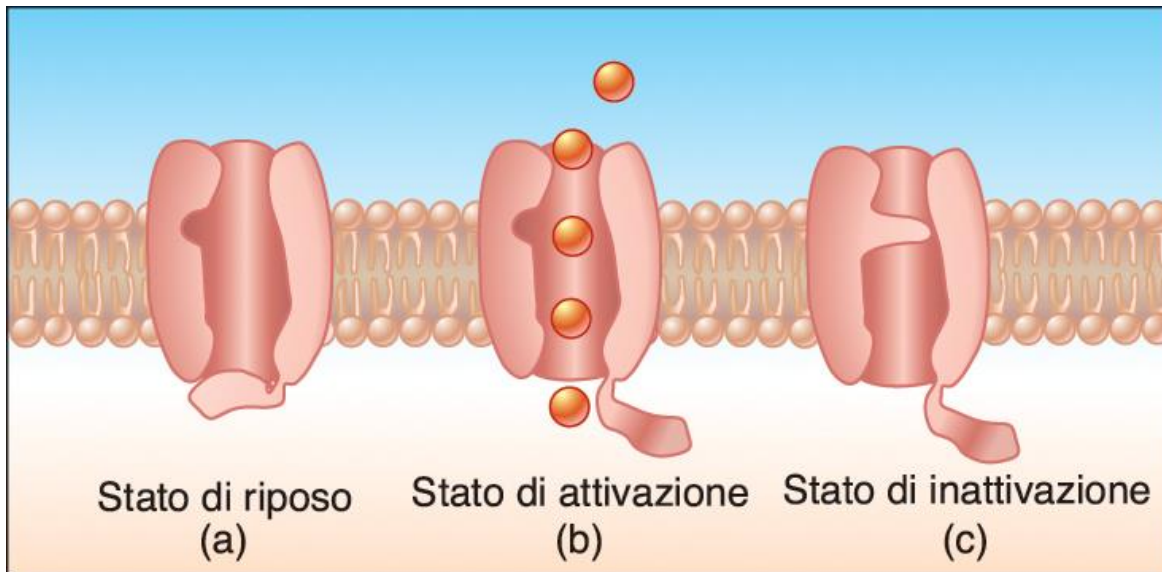
Potenziale d'azione



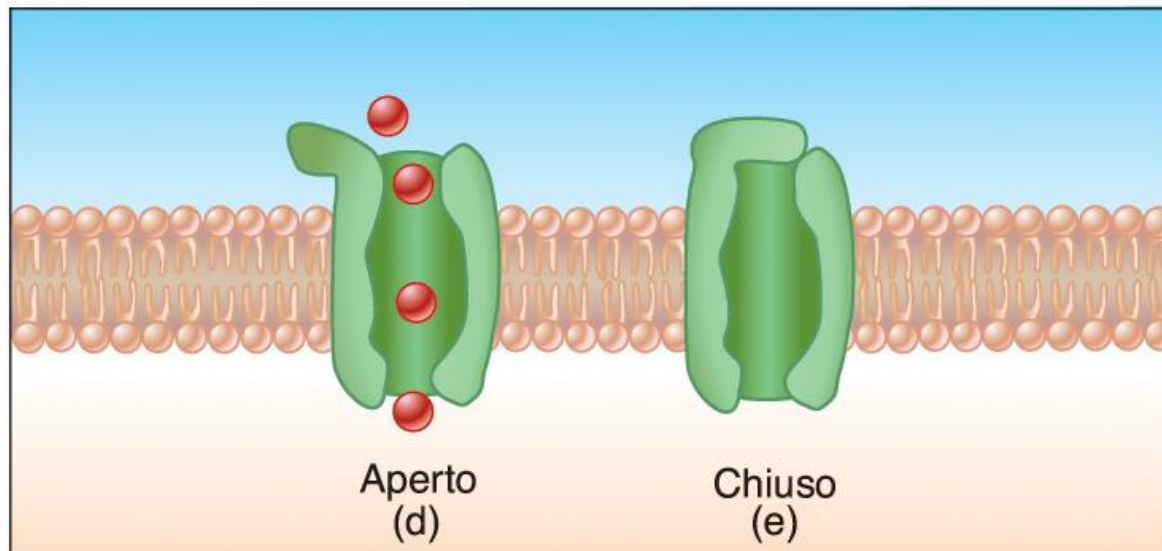
è una variazione transitoria del potenziale di membrana ed è dovuto all'apertura e alla chiusura di canali voltaggio-dipendenti che controllano l'ingresso del Na^+ e l'uscita del K^+

Ciclo di Hodgkin

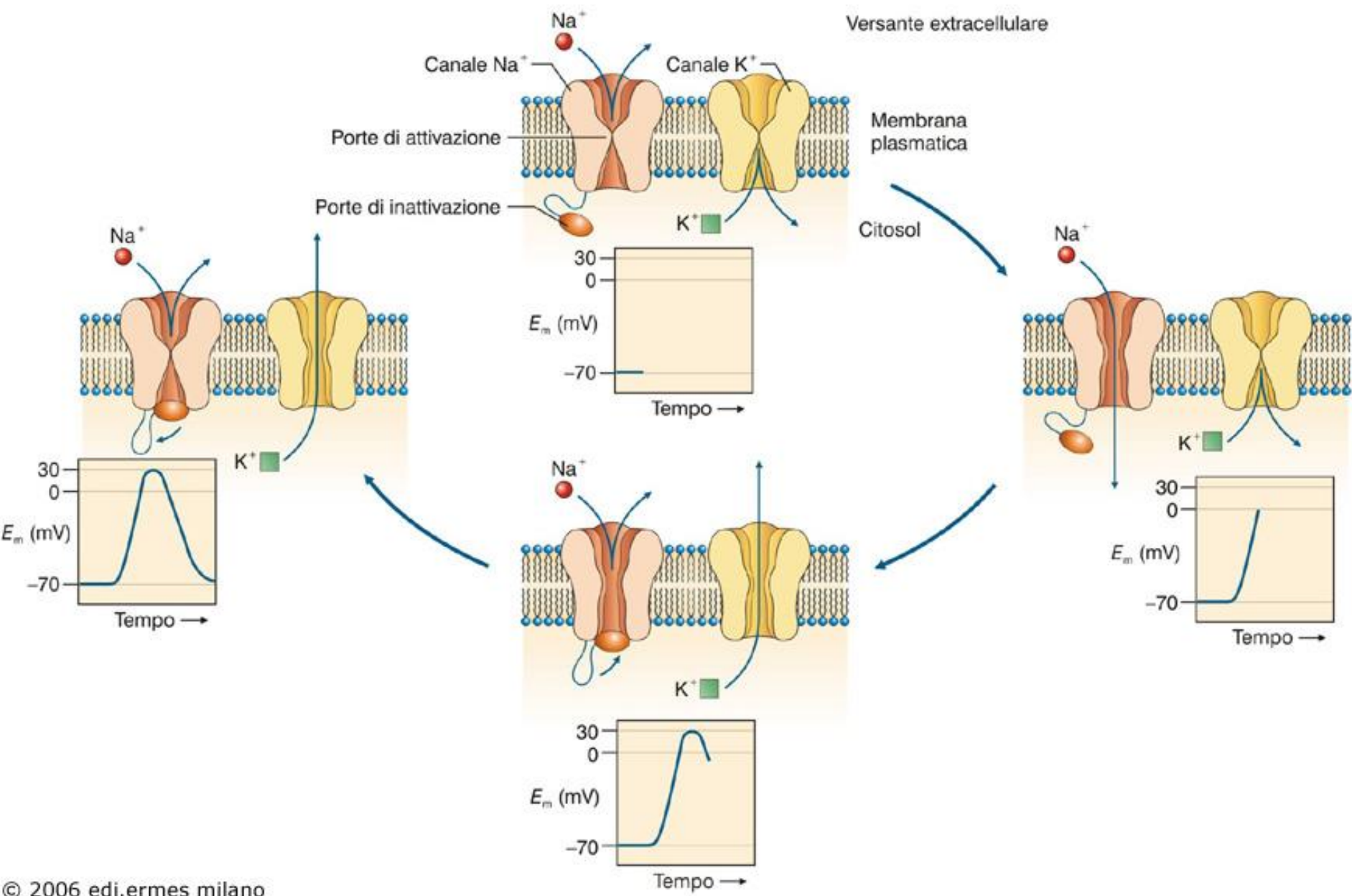


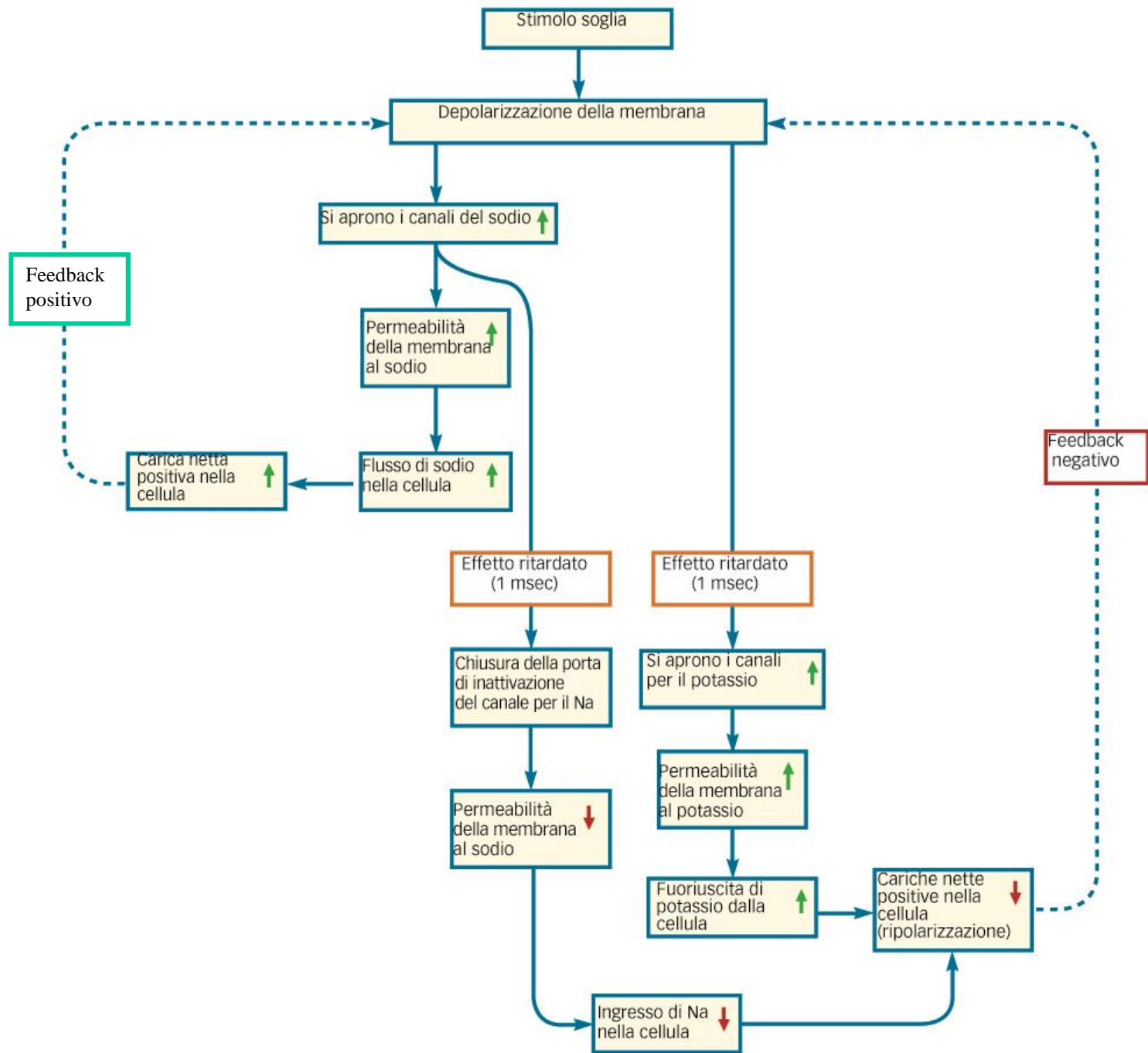


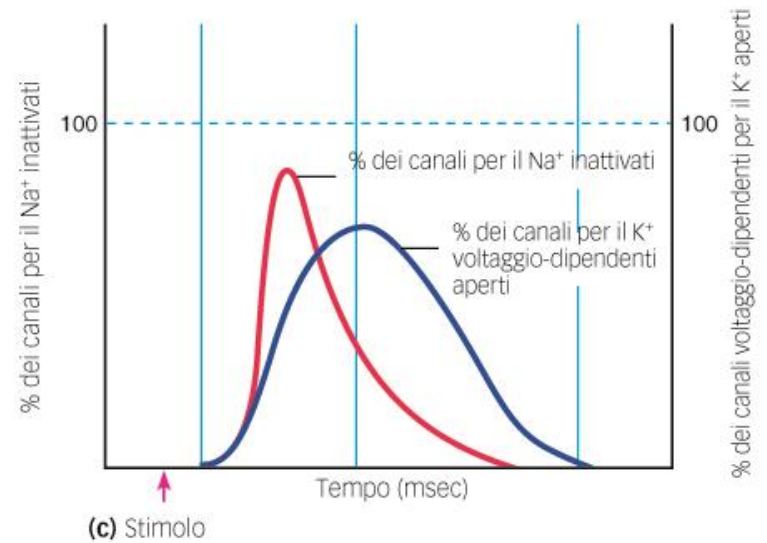
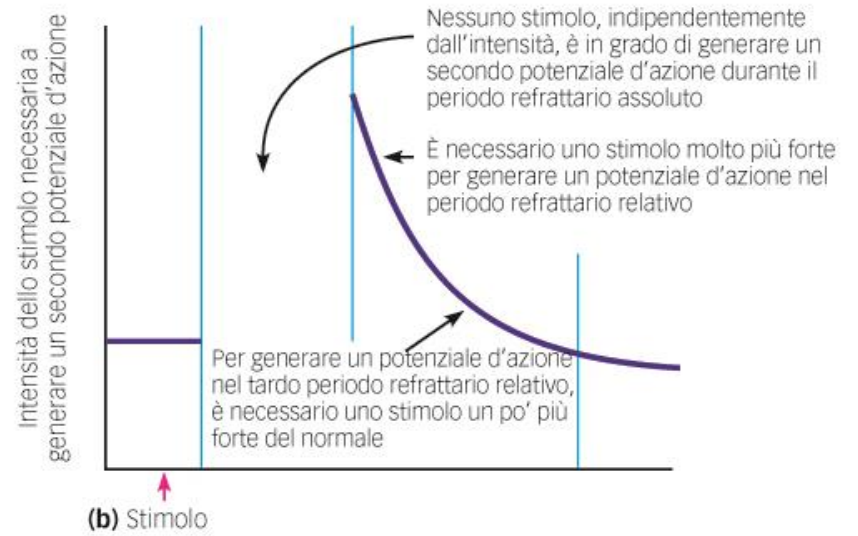
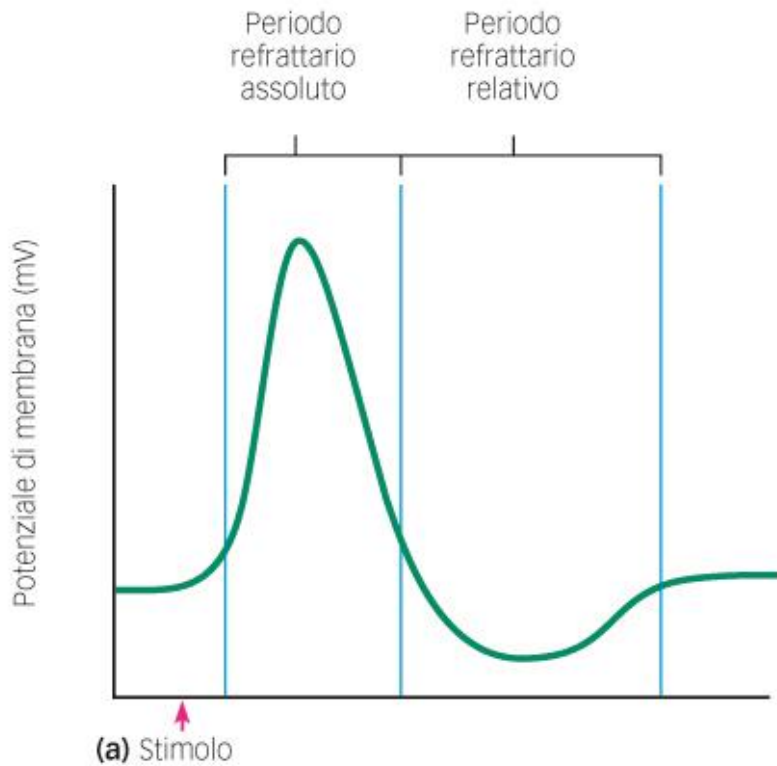
Canale ionico voltaggio-dipendente per il sodio



Canale ionico voltaggio-dipendente per il potassio

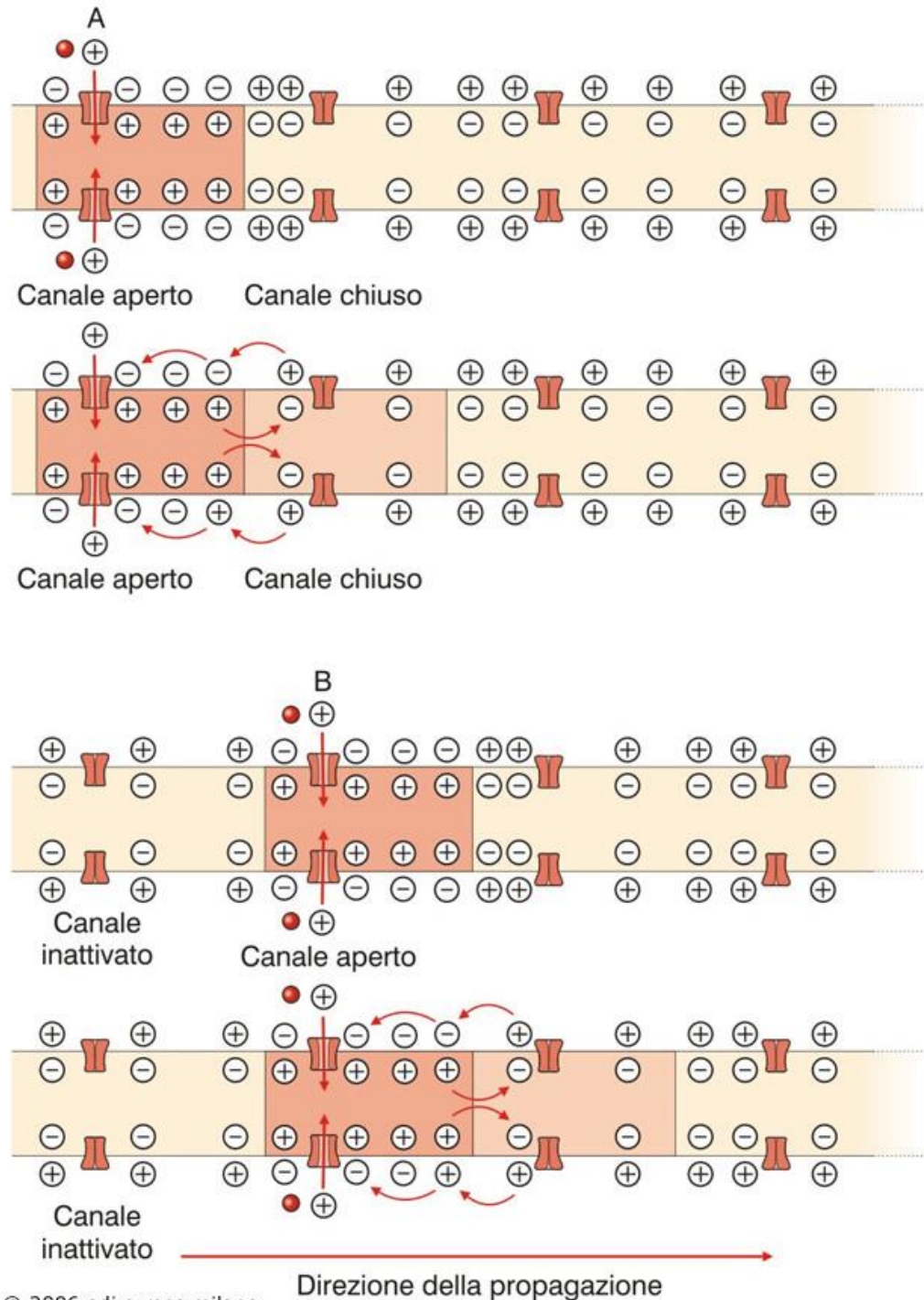






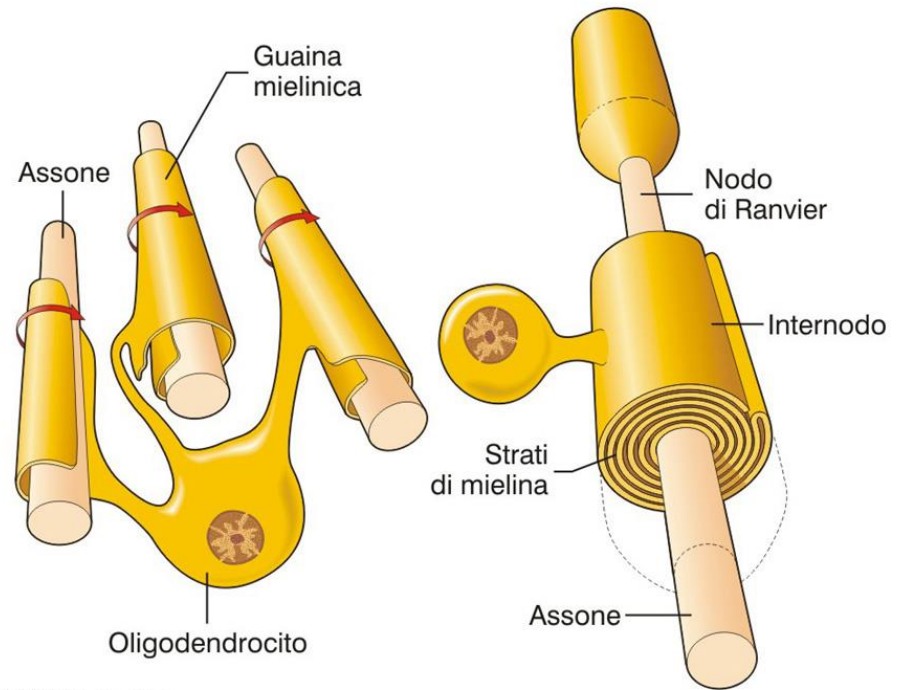
Conduzione potenziale d'azione assoni amielinici

La corrente entrante nella zona attiva A si propaga longitudinalmente nelle zone adiacenti B, causandone la depolarizzazione. Quando si raggiunge la soglia si innesca il potenziale d'azione

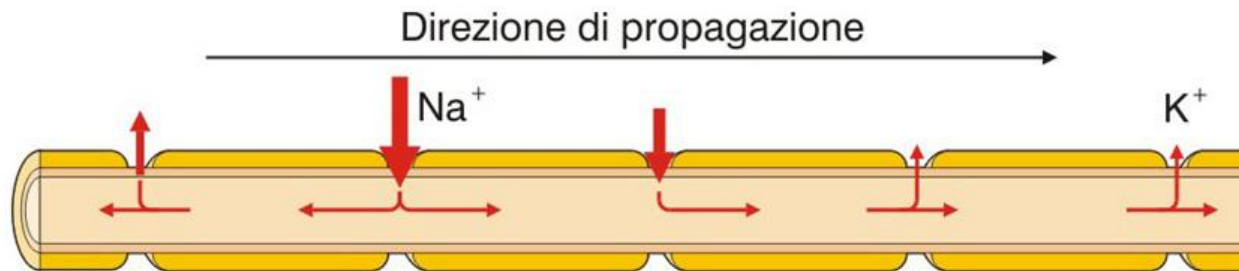


Negli assoni mielinici

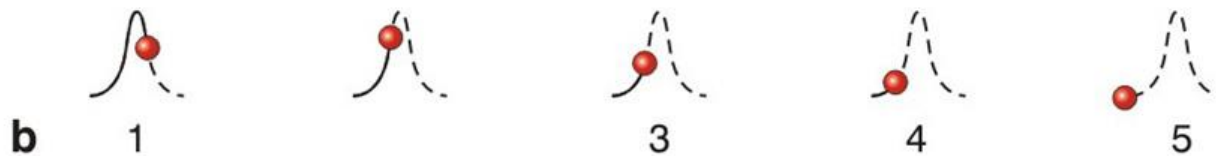
Conduzione saltatoria



© 2006 edi.ermes milano



a



© 2006 edi.ermes milano

Di seguito titolo, autore e editore delle fonti da cui sono state prese le immagini e i video mostrati durante le lezioni di fisiologia come supporto didattico :

Fisiologia, Stanfield - German, Edises

Fisiologia, Silverthorn, Ambrosiana

Fisiologia, Berne – Levy, Ambrosiana

Fisiologia generale e umana, Rhoades- Pflanzner, Piccin

Physiology Animations, versione 2.2.07 Argosy
Publishing, Inc., 2007-20017