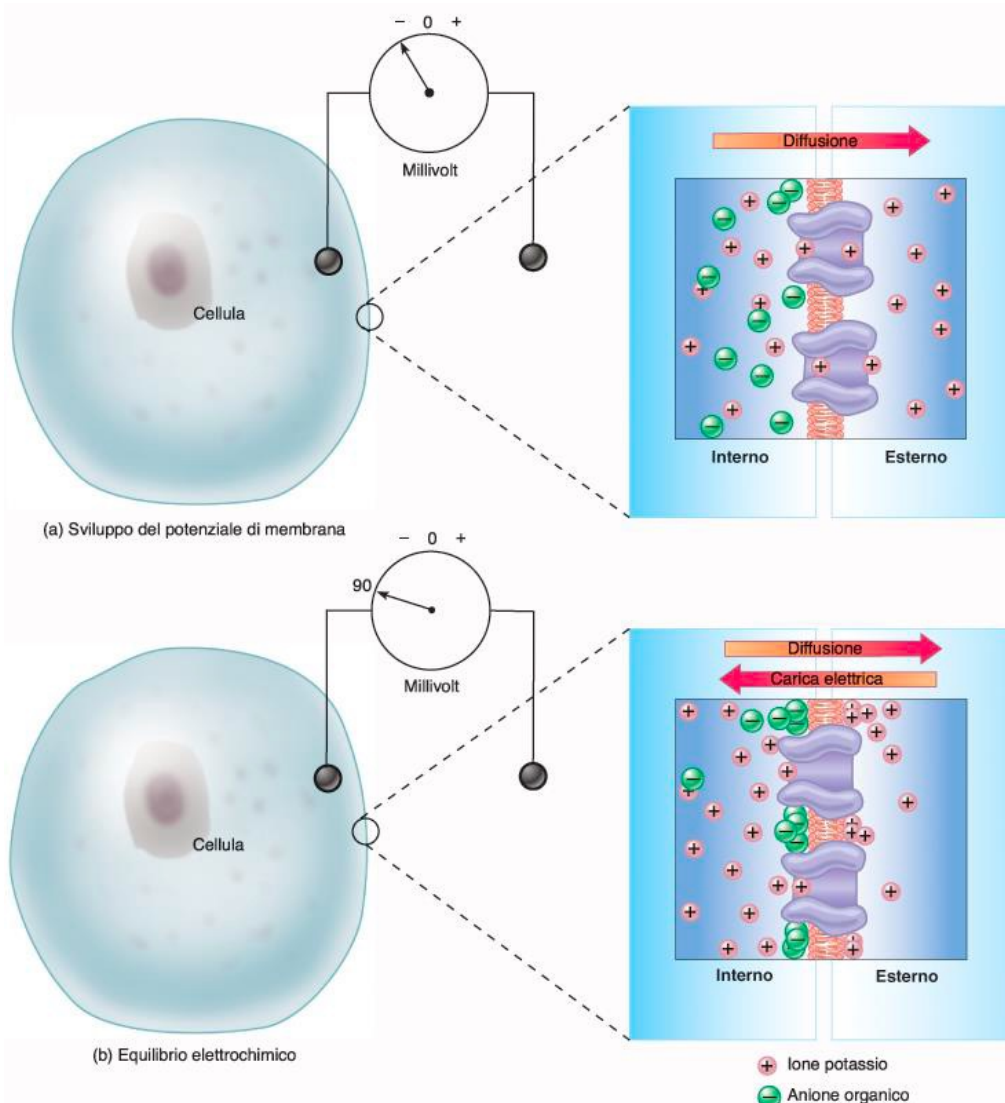


Quindi, come nasce un potenziale di membrana?



K^+ più concentrato nel LIC: gradiente chimico che favorisce la diffusione nel LEC (membrana plasmatica è molto permeabile a K^+)

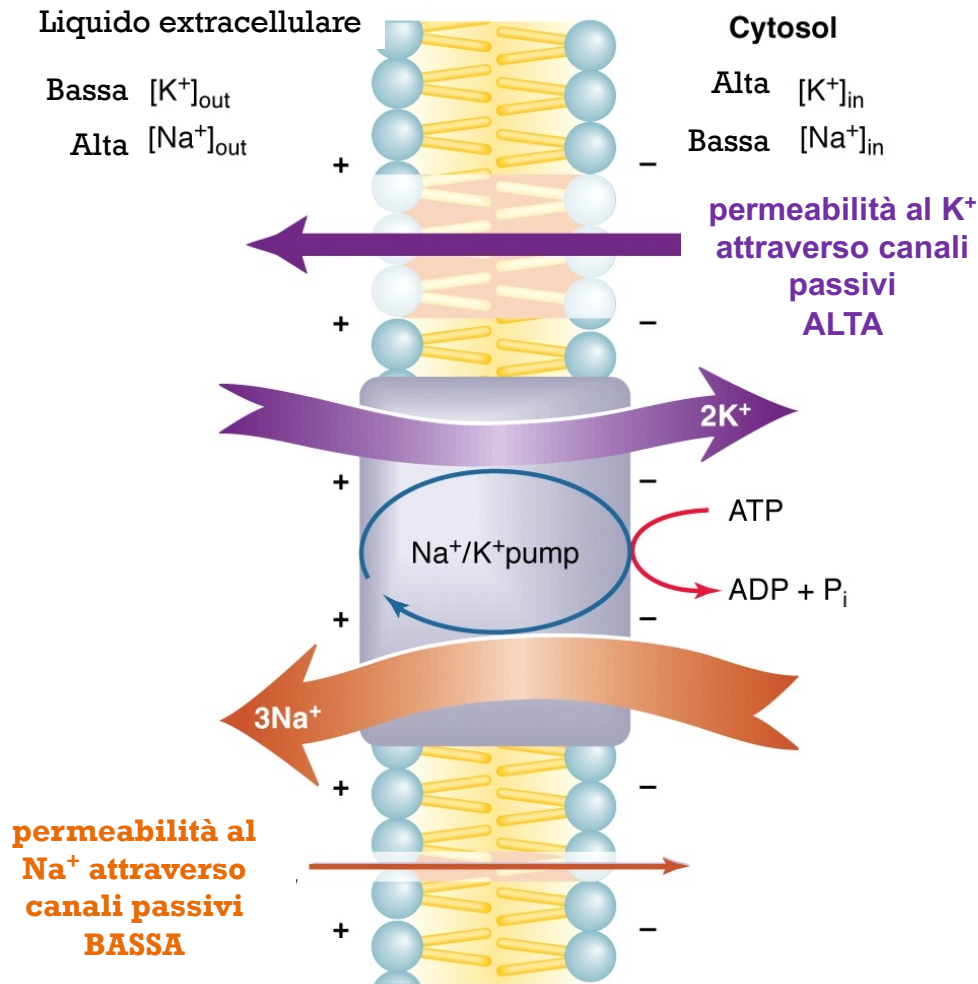
- Gli anioni macromolecolari rimangono nel citoplasma

- Cariche negative in eccesso si concentrano sulla superficie interna della membrana plasmatica attirando cationi, ovvero K^+ (attirano anche Na^+ , ma membrana plasmatica è relativamente impermeabile al Na^+ in condizioni passive)

- Il gradiente chimico è quindi bilanciato dalla forza elettrica

- Se i due gradienti diventassero uguali (potenziale elettrochimico sia annulla), allora cesserebbe la diffusione netta di K^+ e si raggiungerebbe il *potenziale di equilibrio per K^+*

Il potenziale di membrana e le concentrazioni degli ioni coinvolti rimangono costanti nel tempo, anche a costo di dispendio energetico



La pompa produce un trasporto netto di carica: **trasporto elettrogenico**

Seppure con una minore permeabilità, il flusso Na⁺ è superiore a quello del K⁺ a causa della elevata *fem*, controbilanciando l'azione della pompa

La pompa Na⁺/K⁺ ATPasi contribuisce sia direttamente sia indirettamente al potenziale di riposo

Ricapitolando:

Il valore negativo del potenziale di riposo attraverso la membrana cellulare dipende dai seguenti fattori

- La concentrazione intracellulare del K^+ è elevata rispetto a quella extracellulare, in concomitanza con **una elevata P_k**
- Gli ioni K^+ tendono a fluire passivamente fuori dalla cellula attraverso canali selettivi aperti in condizioni di riposo, lasciando sul lato interno una carica netta negativa
- I canali per il Na^+ aperti in condizioni di riposo sono pochi: **il Na^+ contribuisce in modo irrilevante al V_{rip}**
- Il contributo del Cl^- è variabile
- La pompa Na^+/K^+ , mantenendo basse la $[Na^+]_i$ fa sì che il K^+ sia il catione predominante all'interno della cellula. Una piccola componente del V_{rip} deriva direttamente dal pompaggio di una carica netta positiva fuori dalla cellula

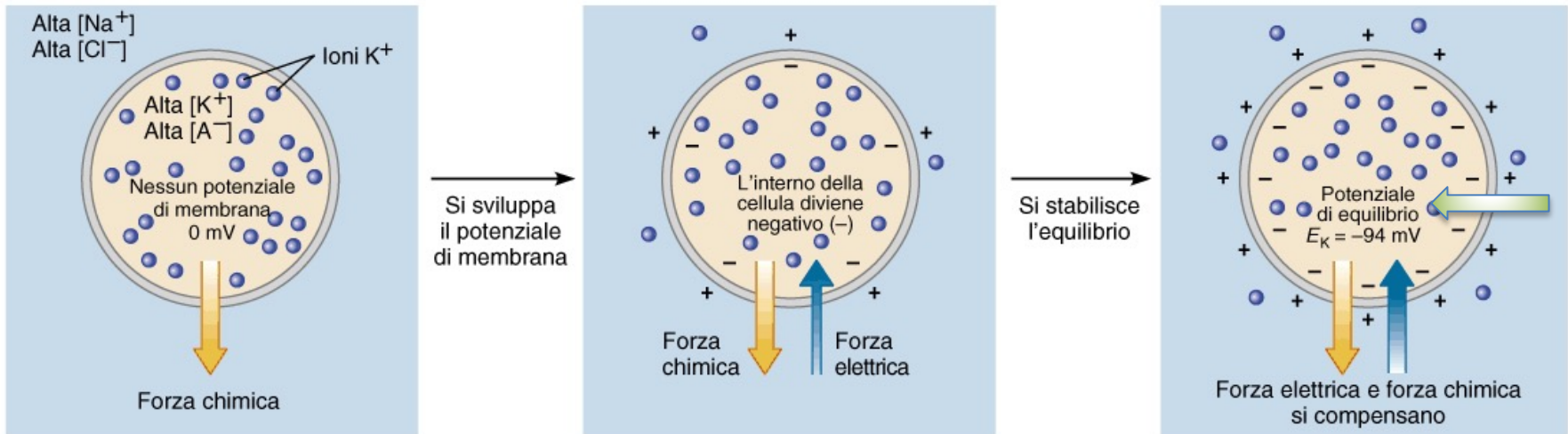
Più la membrana plasmatica è permeabile ad uno ione in condizioni passive (passaggio attraverso canali passivi) più la carica di quello ione inciderà sul valore finale del V_m

Il K^+ è lo ione che più condiziona il valore di V_m perché è lo ione per cui le membrane sono più permeabili

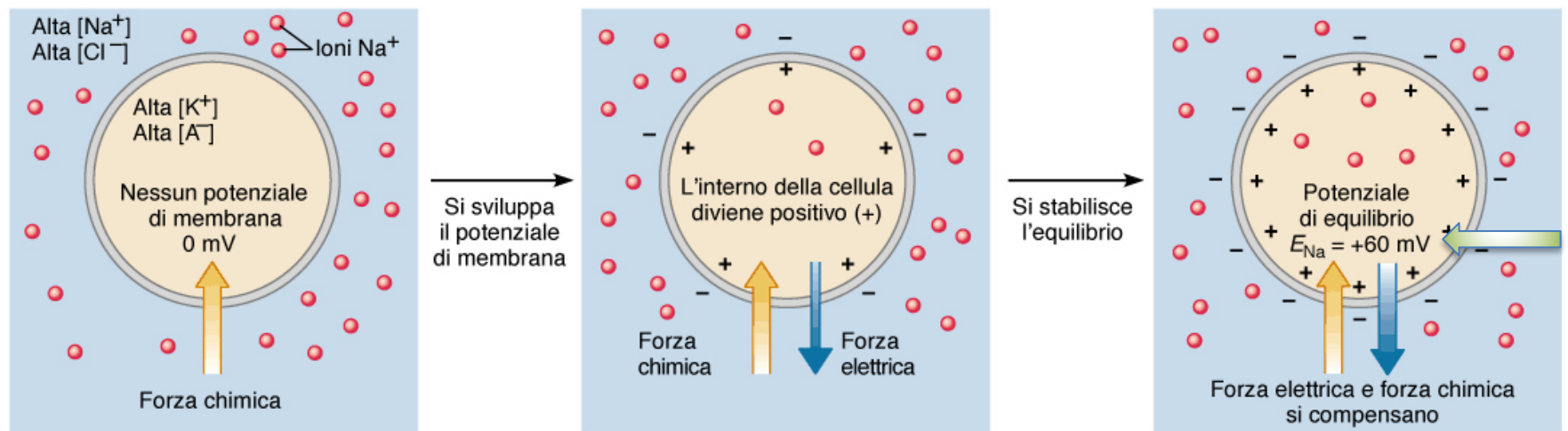
Cosa è il potenziale di equilibrio di uno ione?

L'equilibrio elettrochimico di uno singolo ione (x) corrisponde al suo potenziale di equilibrio (E_x)

Cellula permeabile solo al potassio



Cellula permeabile solo al sodio



Come calcolare il potenziale di equilibrio di uno ione: L'Equazione di Nernst

L'Equazione di Nernst stabilisce una relazione quantitativa tra la differenza di potenziale elettrico e il rapporto di concentrazione di un singolo ione tra i due lati della membrana plasmatica

$$E_x = \frac{RT}{zF} \ln \frac{[X]_e}{[X]_i}$$

E_x : potenziale di equilibrio per lo ione X

R: costante dei gas (8,314 Joule/mol x K)

T: temperatura assoluta (Kelvin)

F costante di Faraday (96.485 coulomb/mol)

Z: valenza dello ione

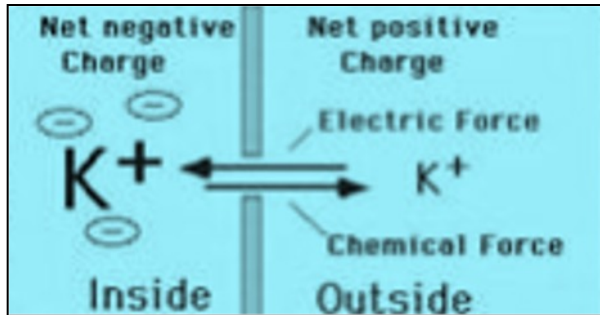
$[X]_e$ e $[X]_i$: concentrazioni dello ione ai due lati della membrana

Ad una temperatura di 311,15 Kelvin (pari a 38 ° C) e con il ln trasformato in log (ln = 2,302 log)

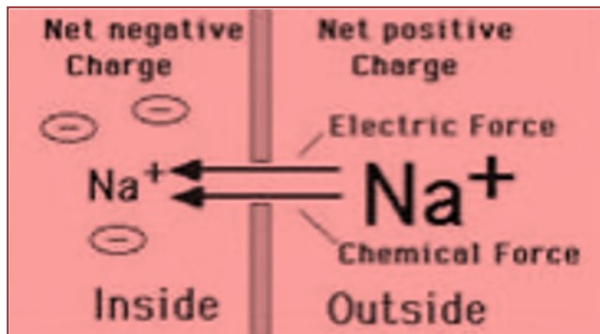
$$E_x = \frac{8,314 \times 311,15 \times 2,302}{z \times 96.485} \log \frac{[X]_e}{[X]_i} = 0,061 \log \frac{[X]_e}{[X]_i}$$

$$E_x = RT/zF \log [X]_e / [X]_i$$

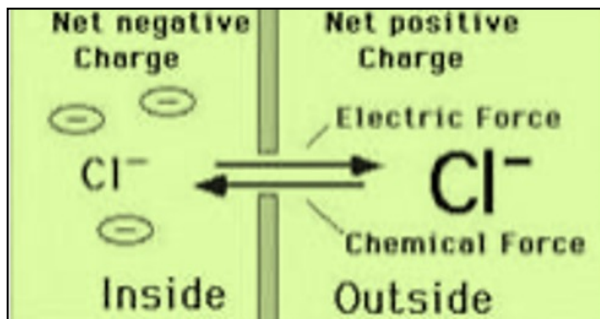
$$E_K = 61 \times \log 4 \text{ mM}/140 \text{ mM} = -94 \text{ mV}$$



$$E_{Na} = 61 \times \log 120 \text{ mM}/10 \text{ mM} = +65 \text{ mV}$$



$$E_{Cl} = -61 \times \log 120 \text{ mM}/4 \text{ mM} = -90 \text{ mV}$$



Il potenziale di membrana è determinato da più specie ioniche

Equazione di Goldman, Hodgkin e Katz

$$E_{\text{ioni}} = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_K [K^+]_e + {}^+P_{Na} [Na^+]_e + {}^-P_{Cl} [Cl^-]_i}{P_K [K^+]_i + {}^+P_{Na} [Na^+]_i + {}^-P_{Cl} [Cl^-]_e}$$

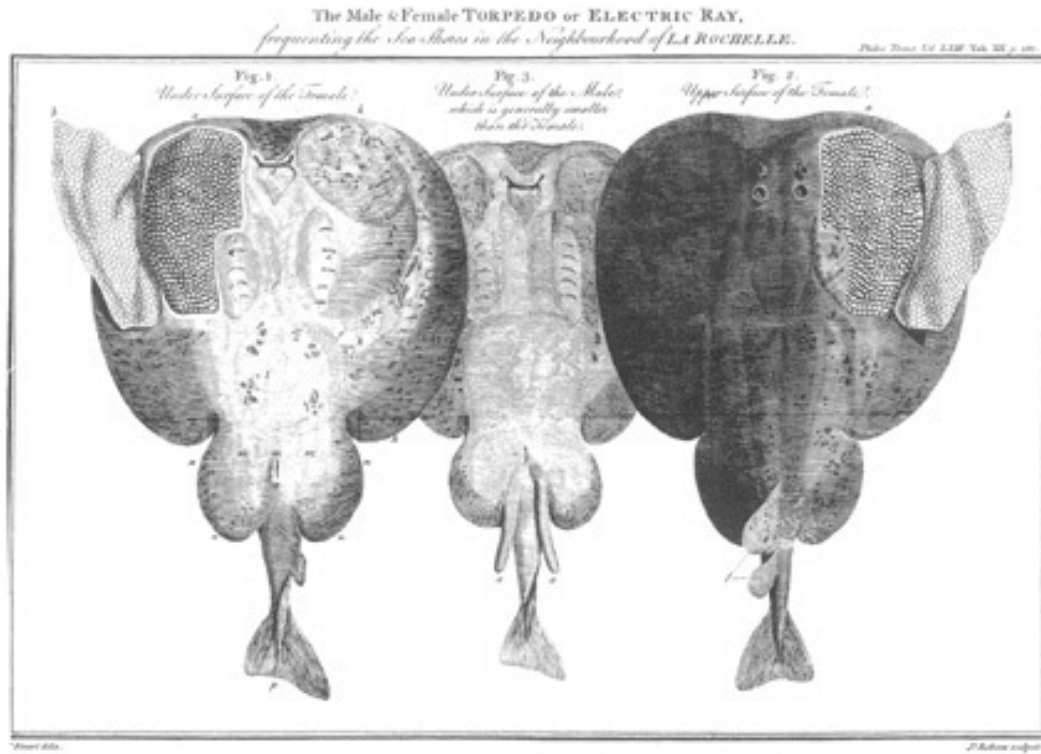
- Dove "⁺" rappresenta la permeabilità passiva per lo ione Na⁺ o Cl⁻ relativa alla permeabilità passiva del K⁺
- Il Cl⁻ è invertito perché ha carica negativa

Esempio di sviluppo Equazione di GHK con K⁺ e Na⁺

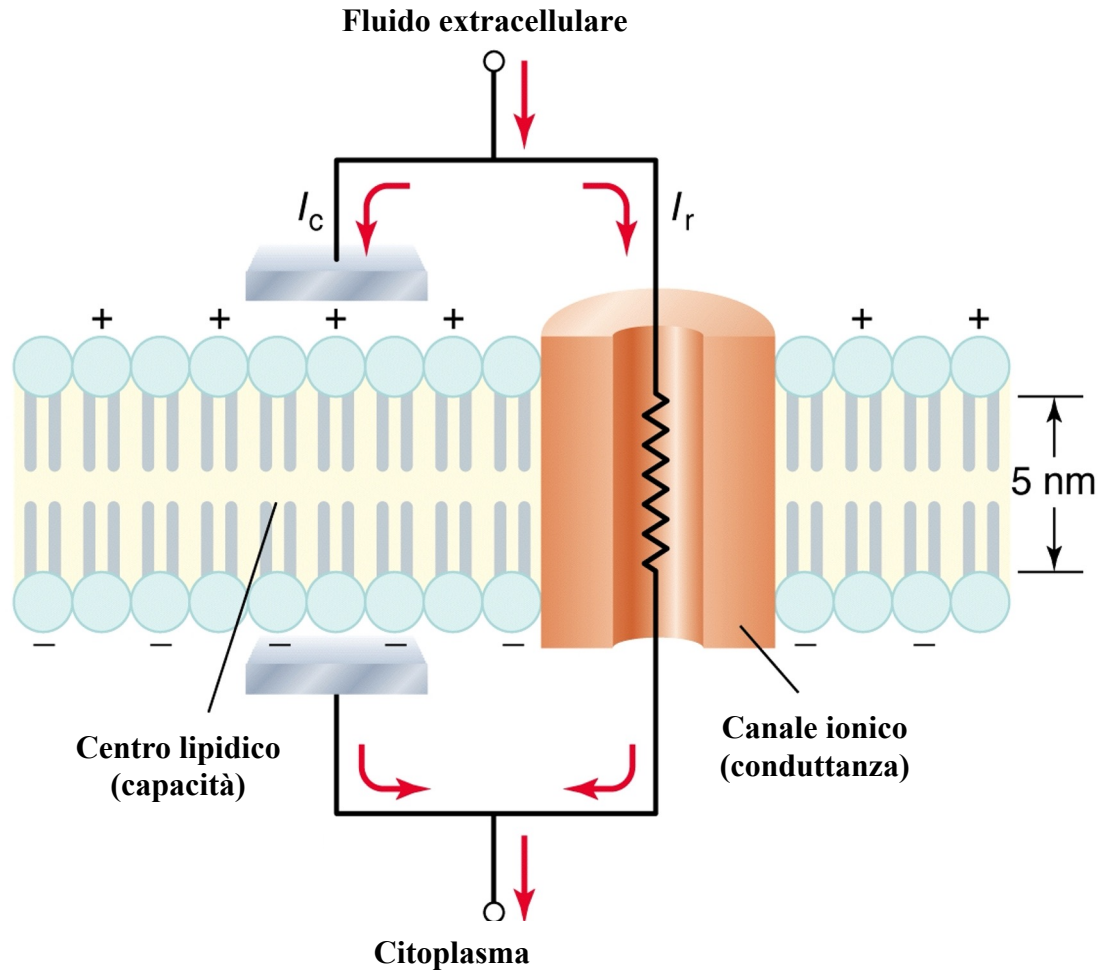
$$E_{Na,K} = 0,061 \log \frac{1 [K^+]_e + 0,01 [Na^+]_e}{\log 1 [K^+]_i + 0,01 [Na^+]_i} = 0,061 \log \frac{2,5 \text{ mM} + (0,01 \times 120 \text{ mM})}{140 \text{ mM} + (0,01 \times 10 \text{ mM})} = -96 \text{ mV}$$

La permeabilità al K⁺ in condizioni passive è la più alta tra gli ioni → P_K = 1
 se consideriamo la permeabilità al Na⁺ 100 volte inferiore alla P_K → P_{Na} = 0.01

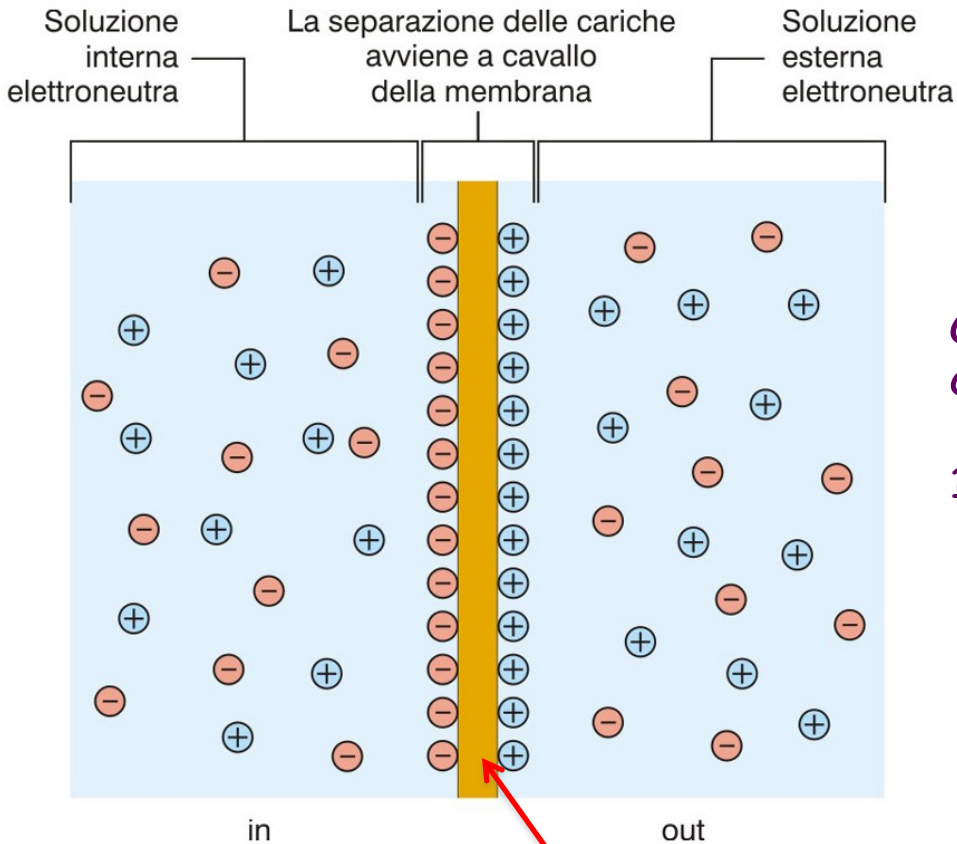
La scoperta dell' "elettricità animale"



Circuito equivalente di membrana



La membrana cellulare agisce come un condensatore

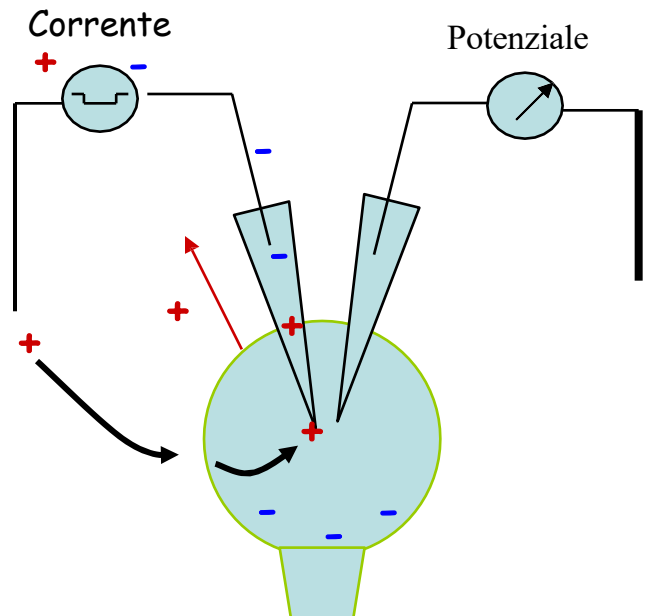


Capacità elettrica di una membrana cellulare:

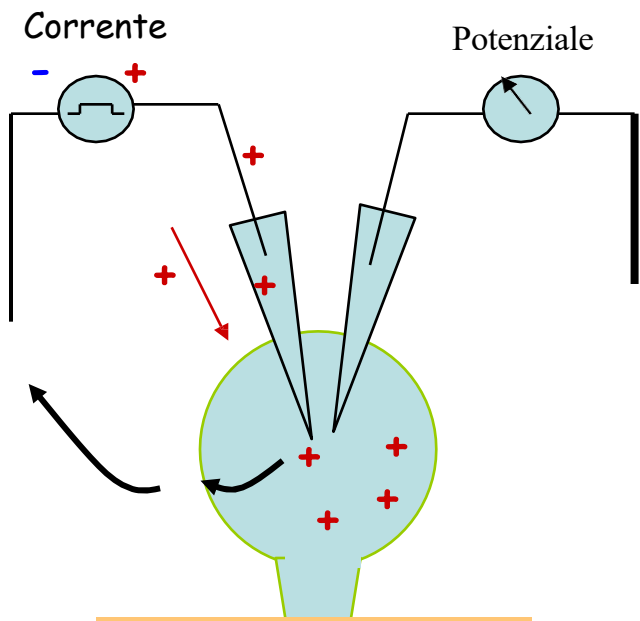
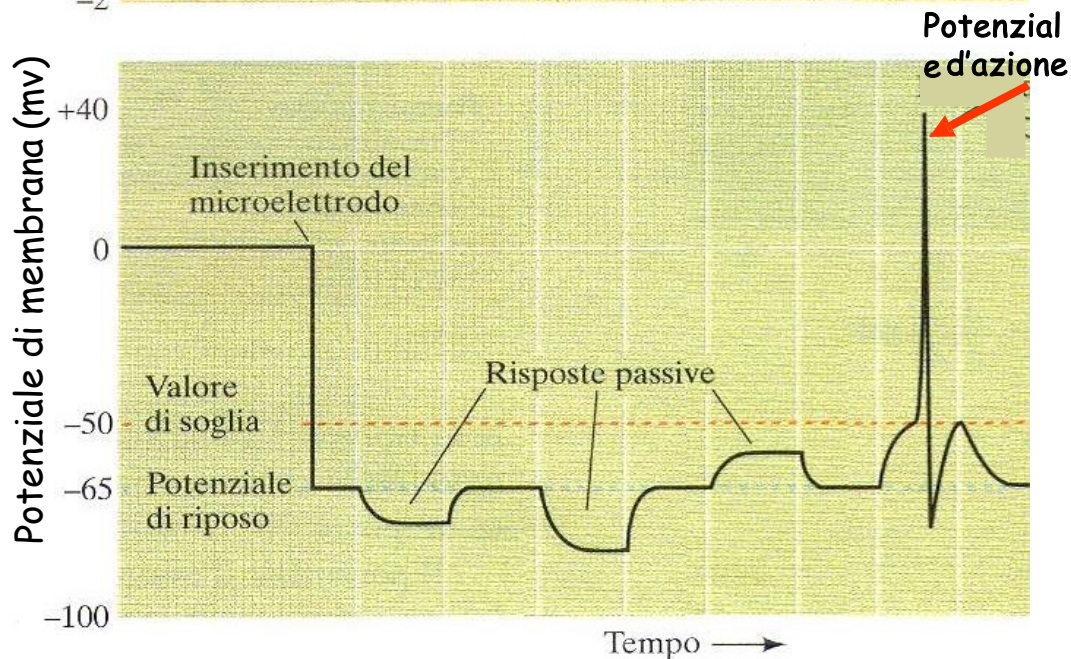
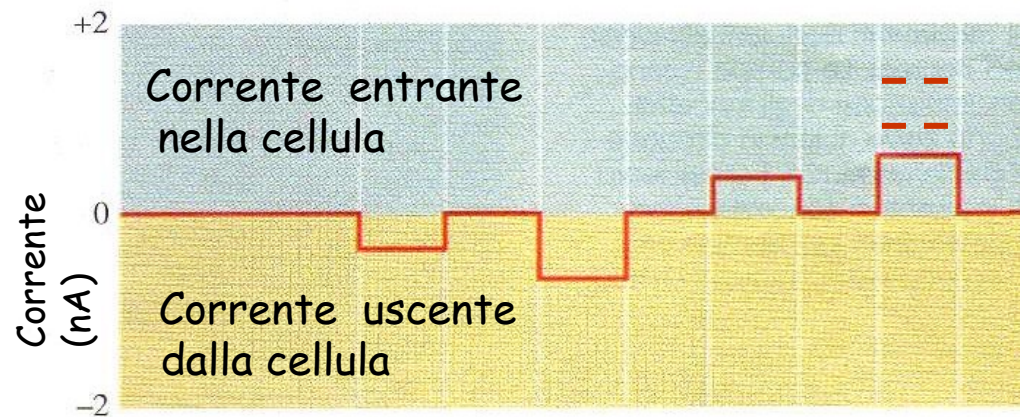
$1 \mu\text{F}/\text{cm}_2$ (farad = coulomb/volt)

Lo spostamento di carica sui due lati della membrana prende il nome di "*corrente capacitiva*"

Variazioni del potenziale di riposo in condizioni sperimentali

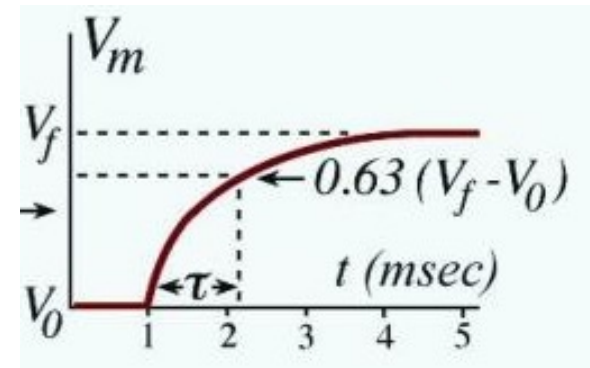
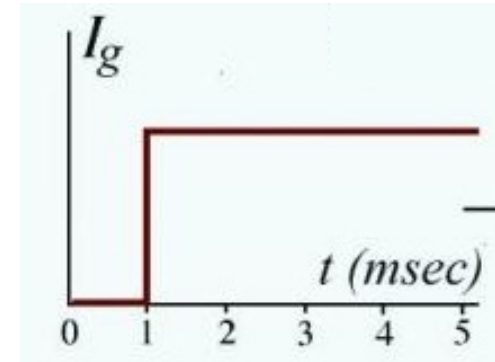
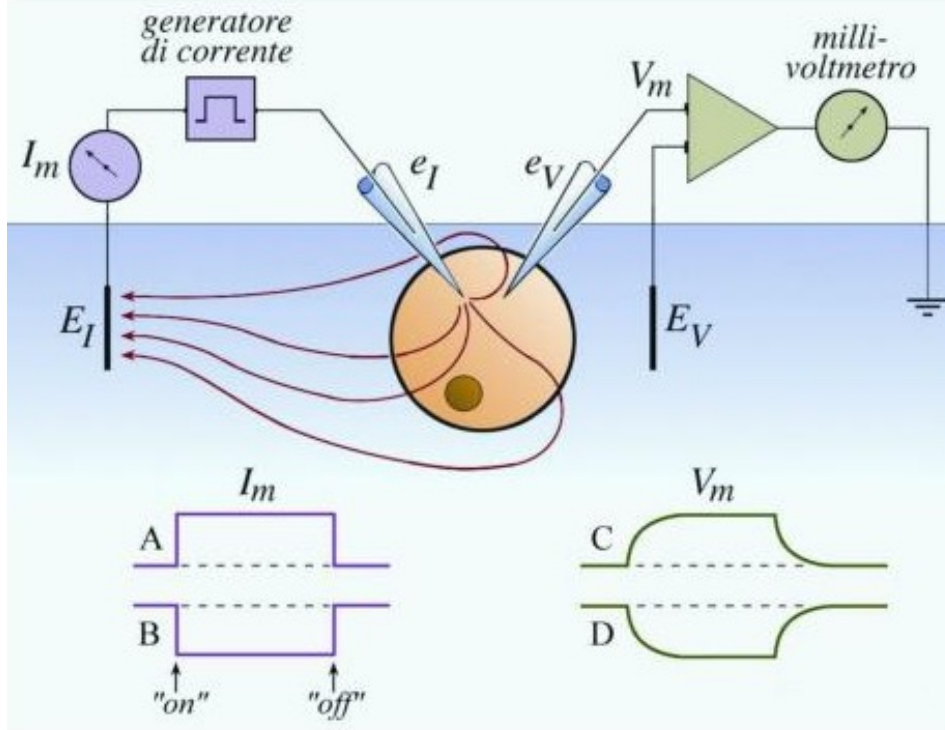


Iperpolarizzazione



Depolarizzazione

La variazione passiva del potenziale è detta Potenziale Elettrotonico ed è dovuta alle componenti capacitive e resistive della corrente che passa attraverso la membrana



Poiché la membrana si comporta come un condensatore, in seguito ad uno stimolo elettrico il potenziale di membrana (V_m) non cambia istantaneamente ma impiega in certo tempo per passare dal suo valore iniziale V_0 a quello finale V_f

