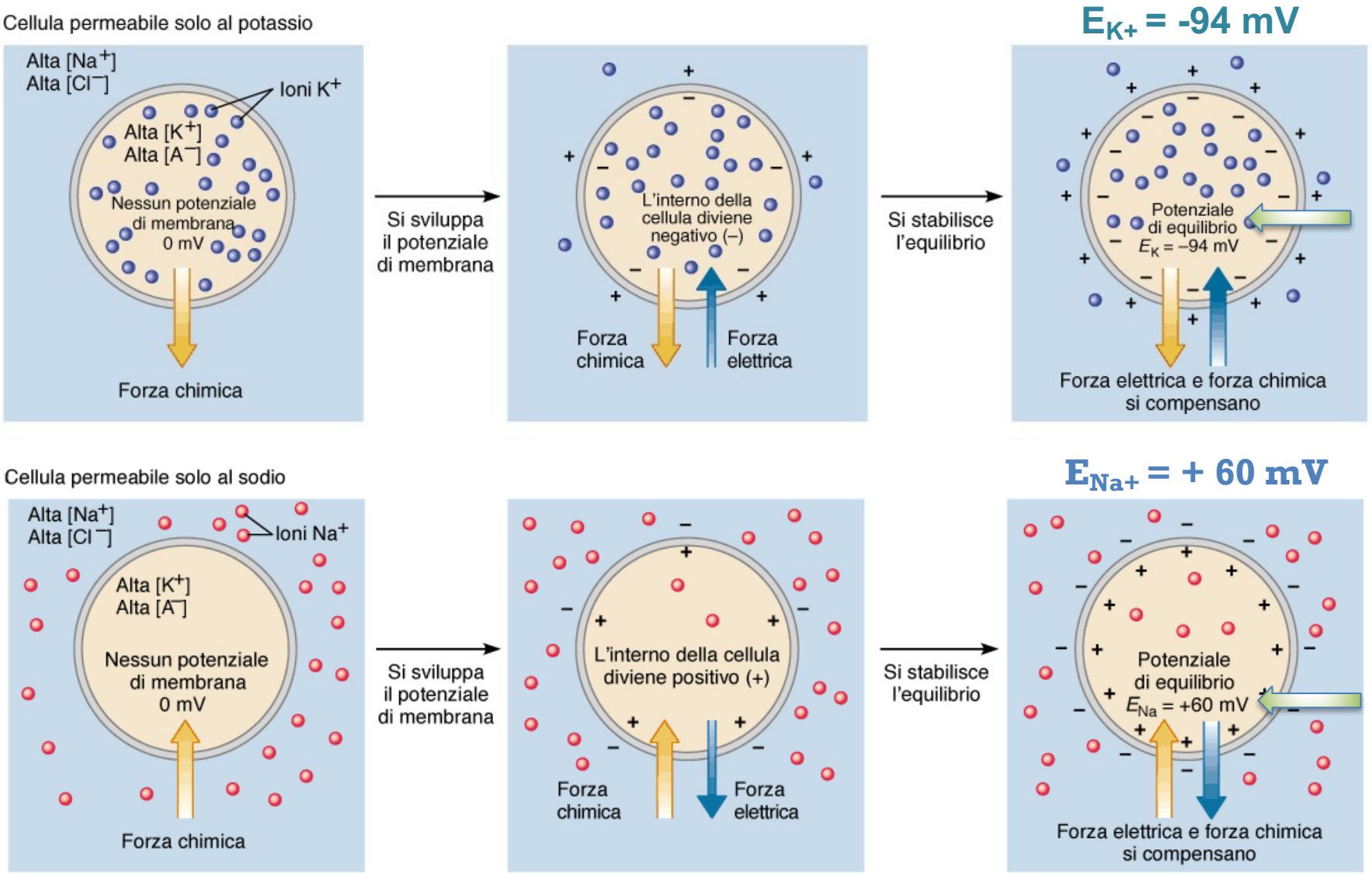
Più la membrana plasmatica è permeabile ad uno ione in condizioni passive (passaggio attraverso canali passivi) più la carica di quello ione inciderà sul valore finale del Vm

Il K^+ è lo ione che più condiziona il valore di Vm 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)



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

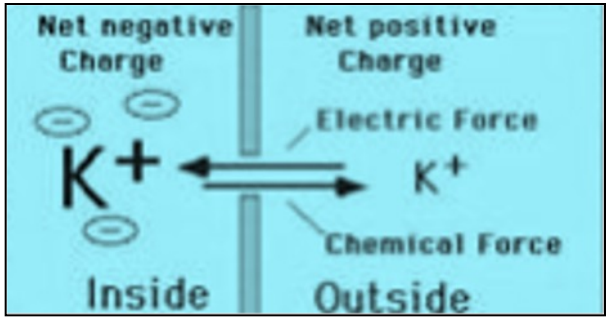
$$E_x = RT/zF \ \ln [X]_e/[X]_i$$

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

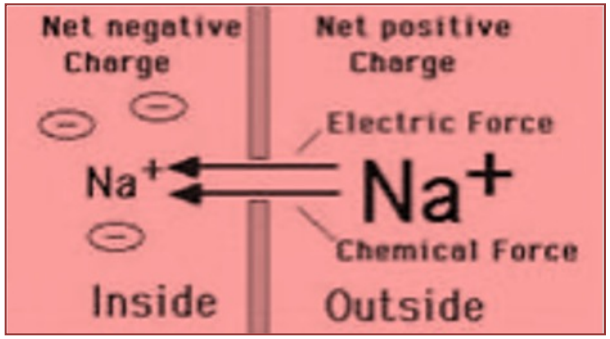
Ad una temperatura di 311,15 Kelvin (pari a 38 ° C) e con il ln trasformato in log (ln = 2,302 log)

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

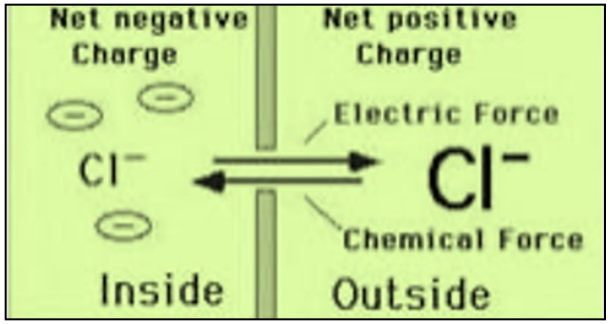
$$E_x = RT/zF \log [X]_e / [X]_i$$



$E_k = 61 \times \log 4\ mM/140mM = -94\ mV$



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



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

Il potenziale di membrana è determinato da più specie ioniche
Equazione di Goldman, Hodgkin e Katz

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

- 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

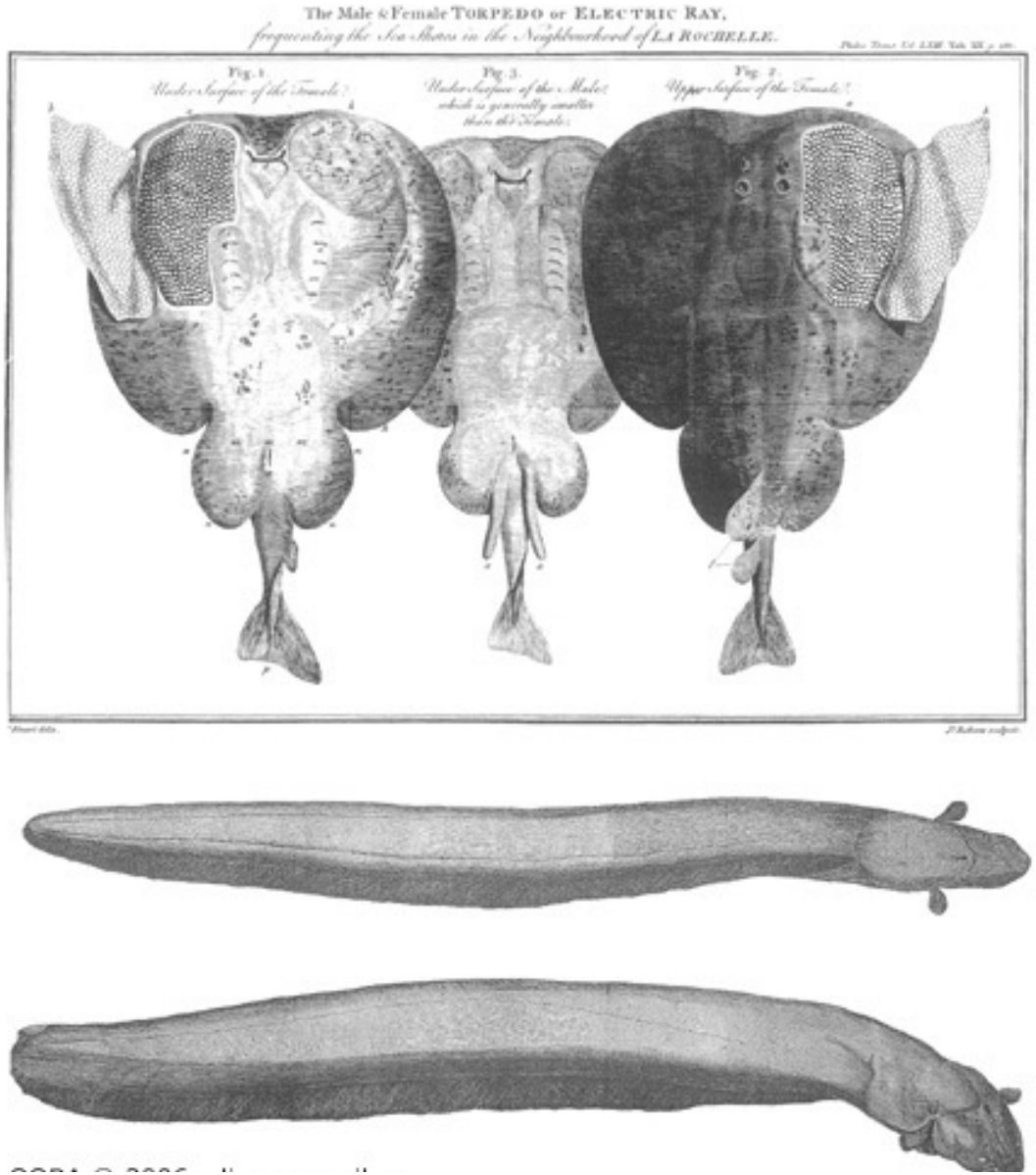
Esempio di sviluppo Equazione di Goldman, Hdgkin and Katz con K^+ e Na^+

$$E_{Na,K} = 0{,}061 \log \frac{1\,[K^+]_e + 0.01\,[Na^+]_e}{\log 1\,[K^+]_i + 0.01\,[Na^+]_i} = 0{,}061 \log \frac{2{,}5\ mM + (0.01 \times 120\ mM)}{140\ mM + (0.01 \times 10\ mM)} = -96\ mV$$

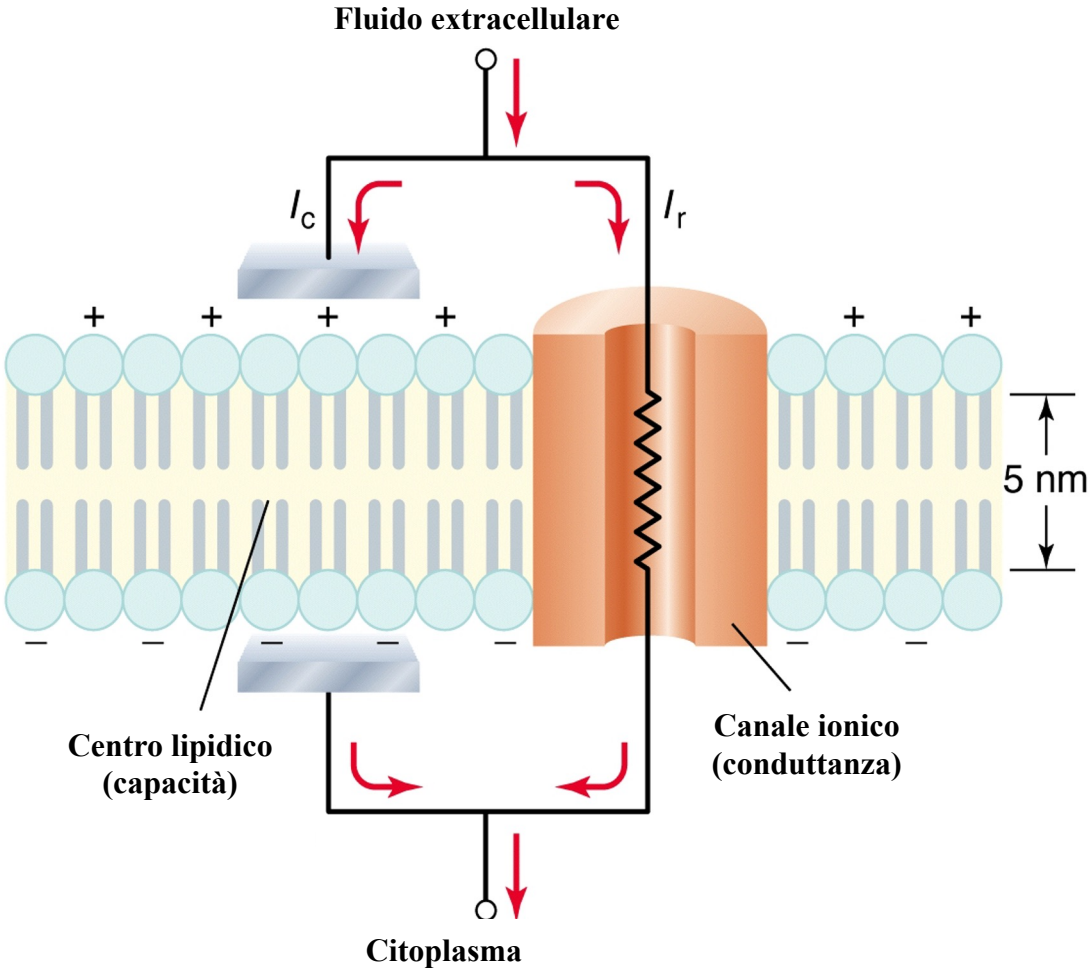
La permeabilità al K^+ in condizioni passive è la più alta tra gli ioni ➡ $P_k = 1$

se consideriamo la permeabilità al Na^+ 100 volte inferiore alla P_k ➡ $P_{Na} = 0.01$

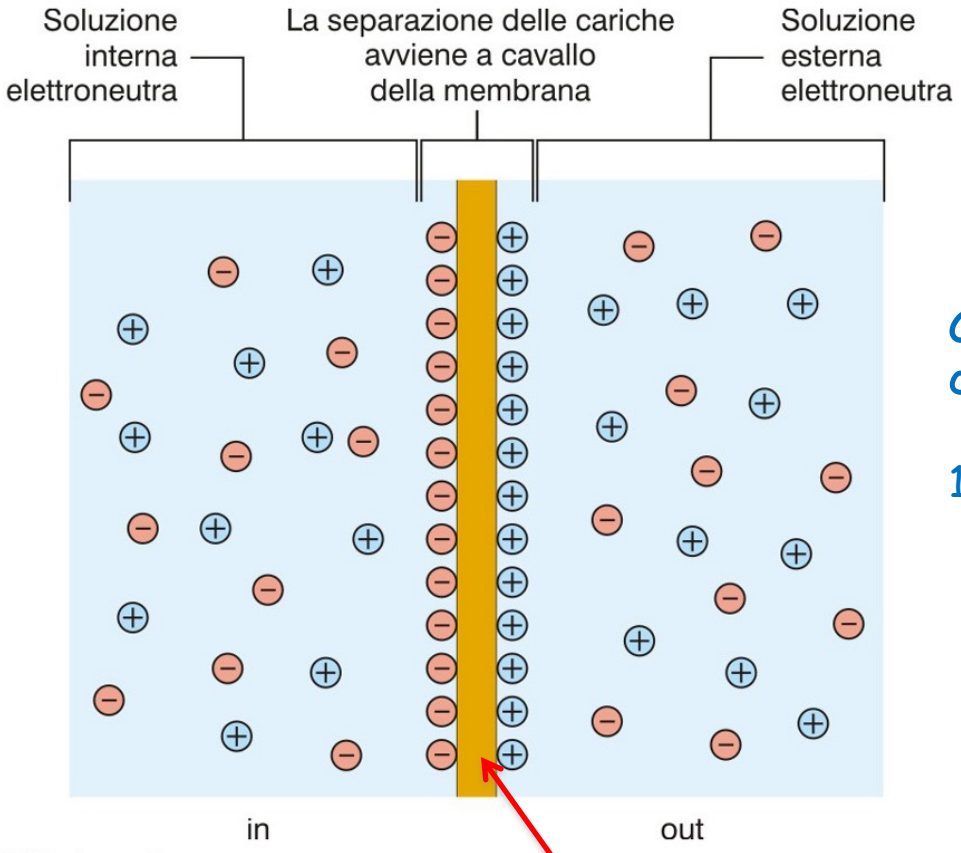
La scoperta dell' "*elettricità animale*"



Circuito equivalente di membrana



La membrana cellulare agisce come un condensatore

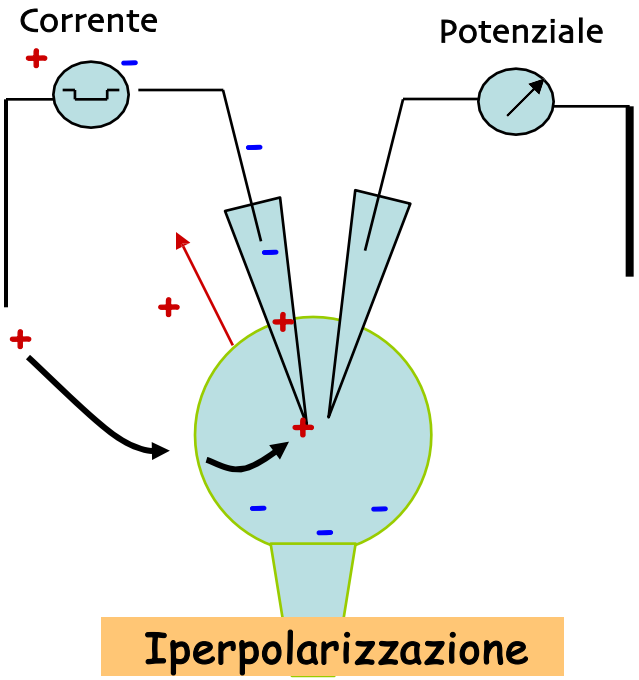


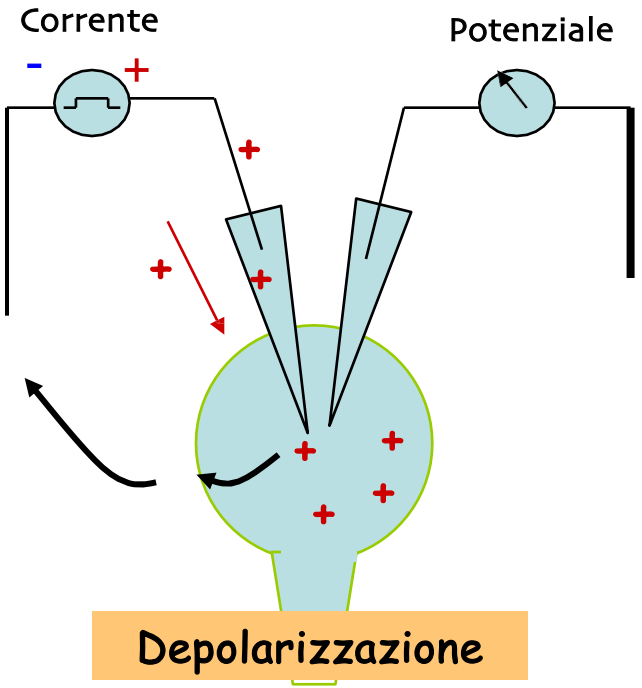
Capacità elettrica di una membrana cellulare:

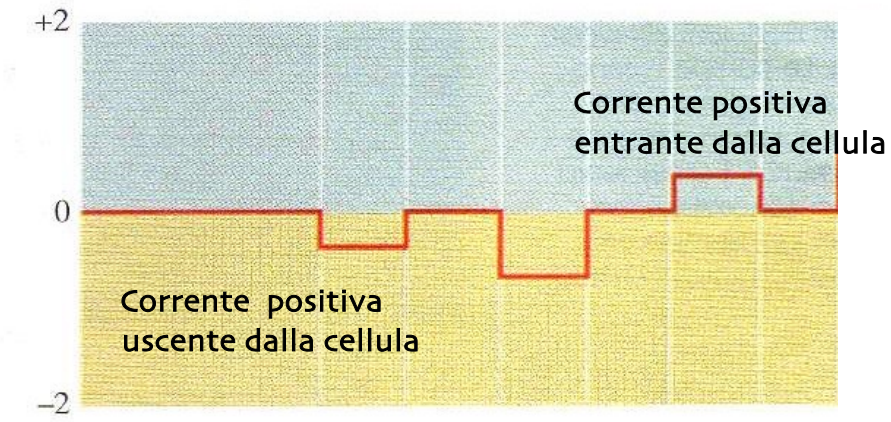
1 $\mu F/cm_2$(**farad** = coulomb/volt)

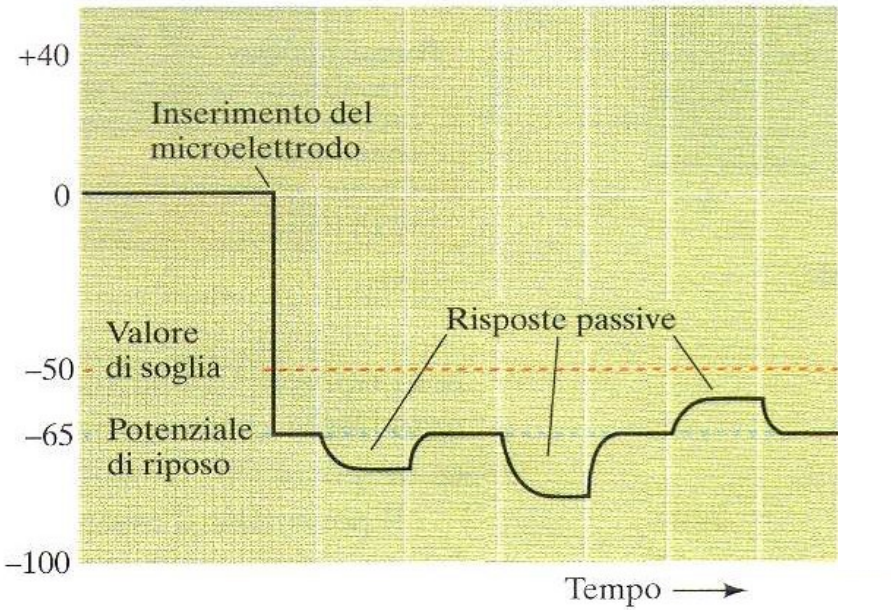
Lo spostamento di carica sui due lati della membrana prende il nome di "*corrente capacitiva*"

Variazioni del potenziale di riposo in condizioni sperimentali

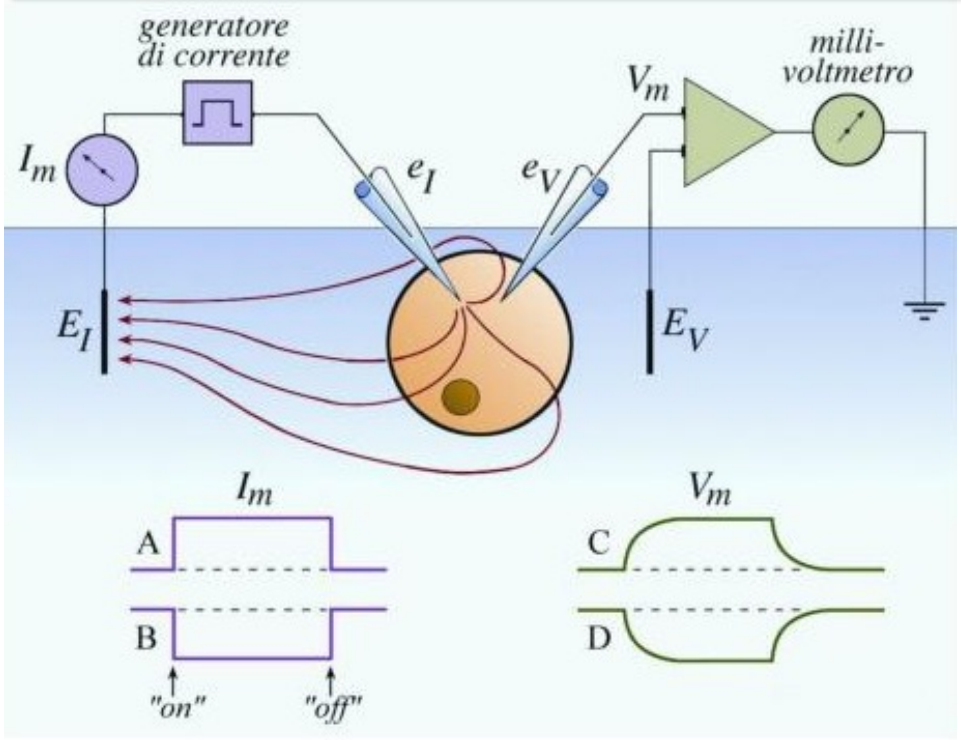


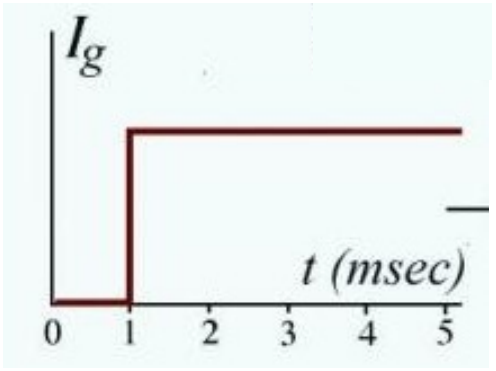


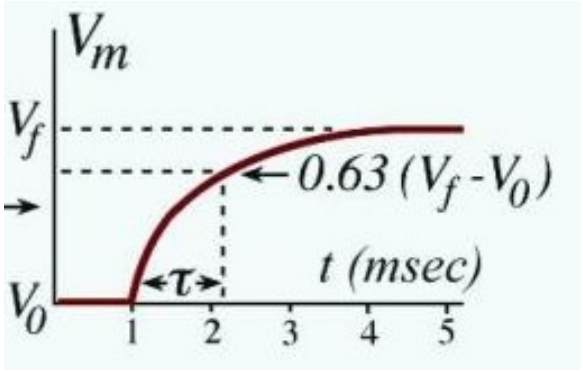




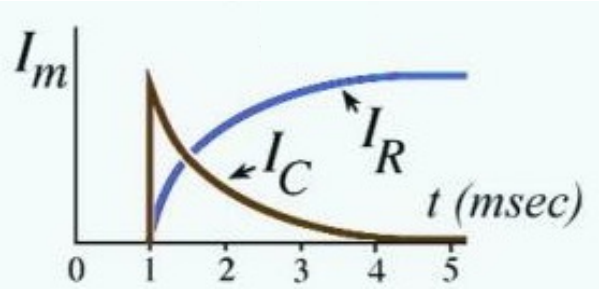
La variazione passiva del potenziale è detta Potenziale Elettrotonico ed è dovuta alle componenti capacitive e resistive della corrente che passa attraverso la membrana





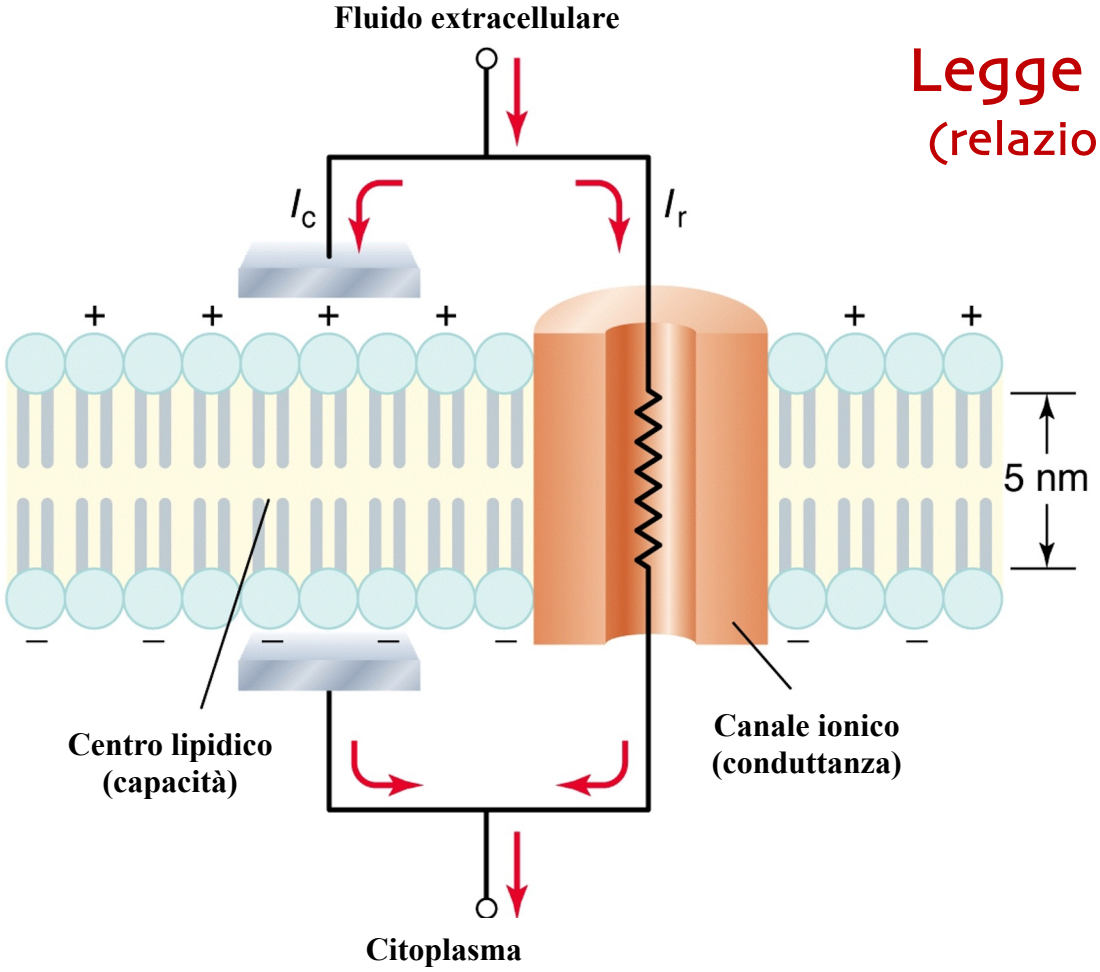


Poiché la membrana si comporta come un condensatore, in seguito ad uno stimolo elettrico il potenziale di membrana (V_m) **non cambia istantaneamente** ma impiega in certo tempo per passare dal suo valore iniziale V_o a quello finale V_f



Capacità e conduttanza sono proprietà elettriche passive delle membrane

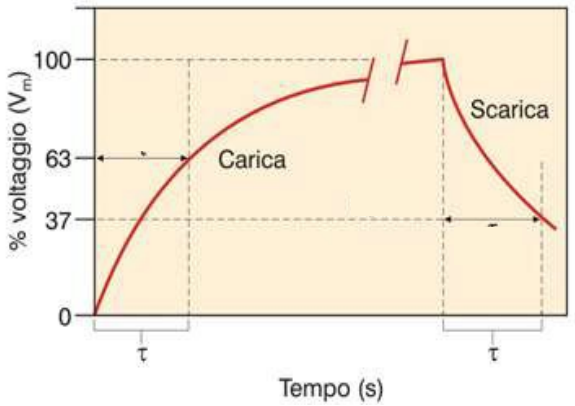
Circuito equivalente di membrana



Legge di Ohm: $\Delta V_m = \Delta I \times R$

(relazione corrente-voltaggio lineare)

$\Delta V_m = \Delta I / g$



R = Resistenza (Ohm)

g= conduttanza (Siemens)

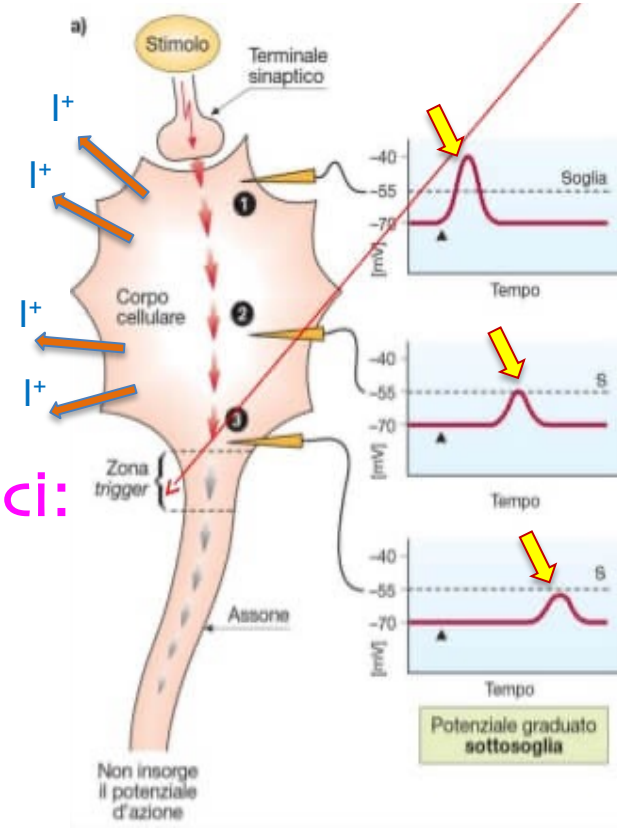
I = corrente (Ampere)

V = voltaggio (Volt)

Ricapitolando:
Proprietà elettriche passive delle membrane

1. Capacità, resistenza e conduttanza

2. Relazione lineare tra corrente e voltaggio, in accordo con la legge di Ohm: $\Delta V_m = \Delta I \times R$

3. Generazione di potenziali elettrotonici:

- locali
- decadono con la distanza
- si possono sommare tra loro