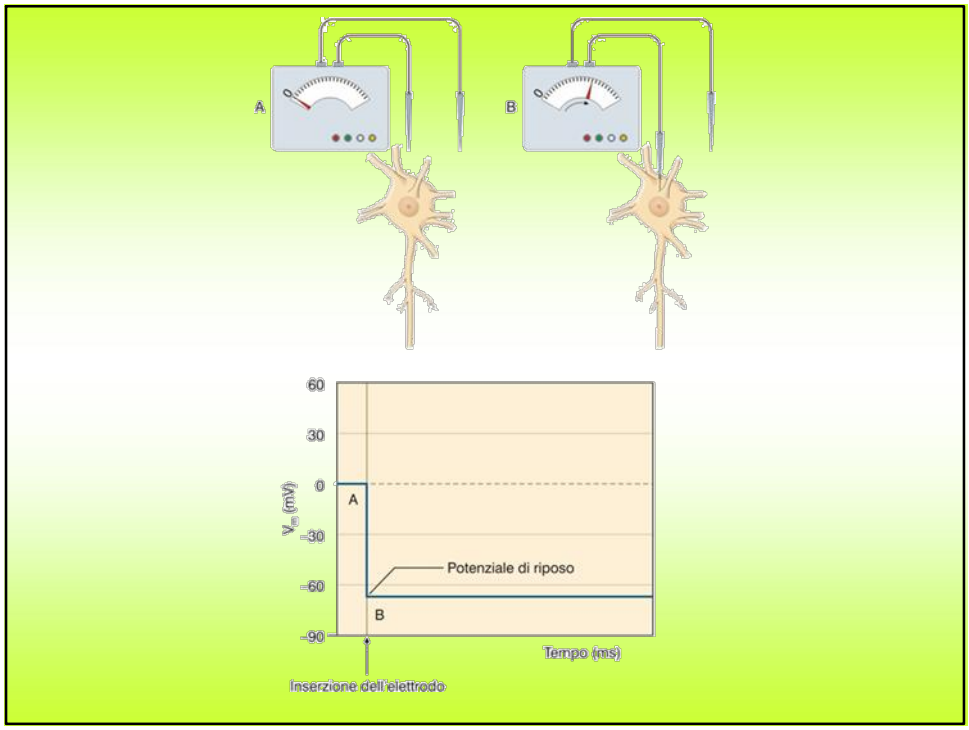
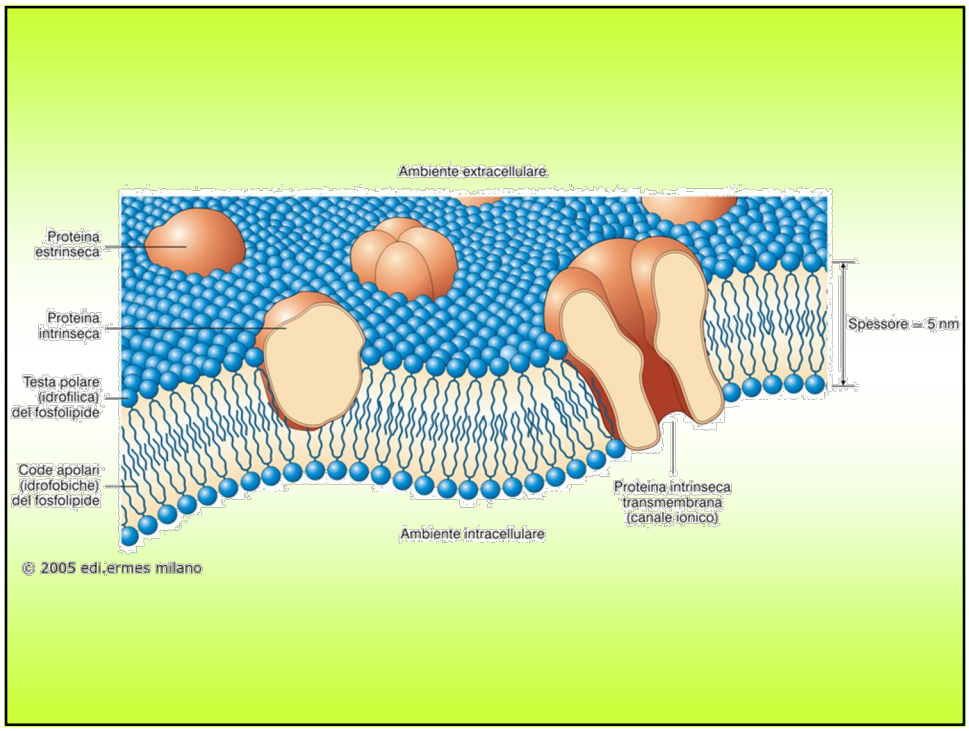
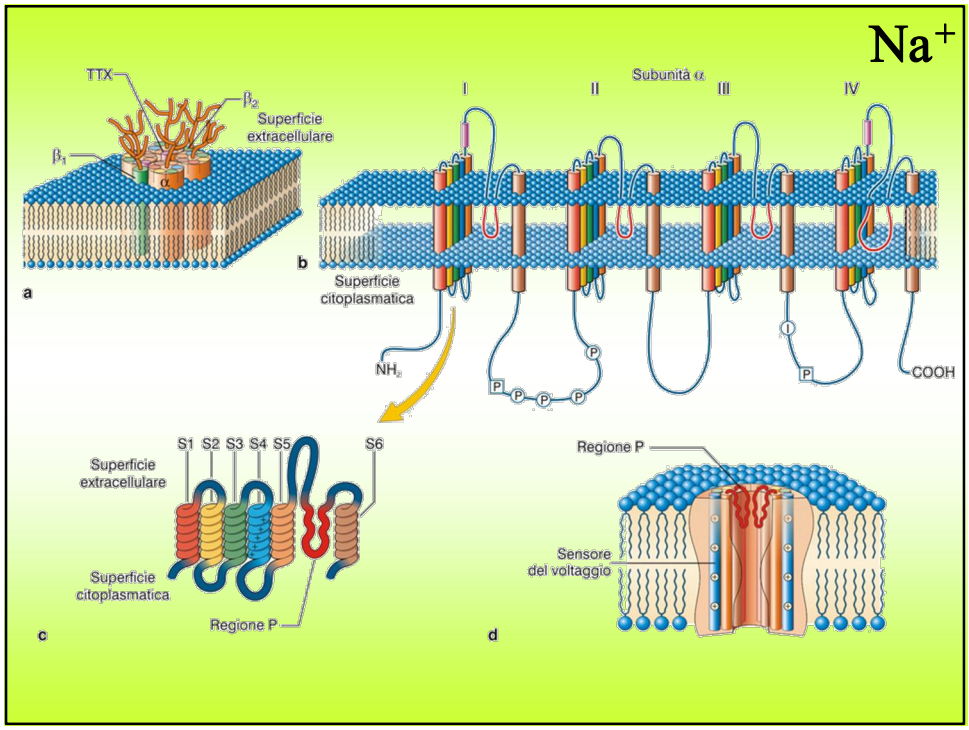
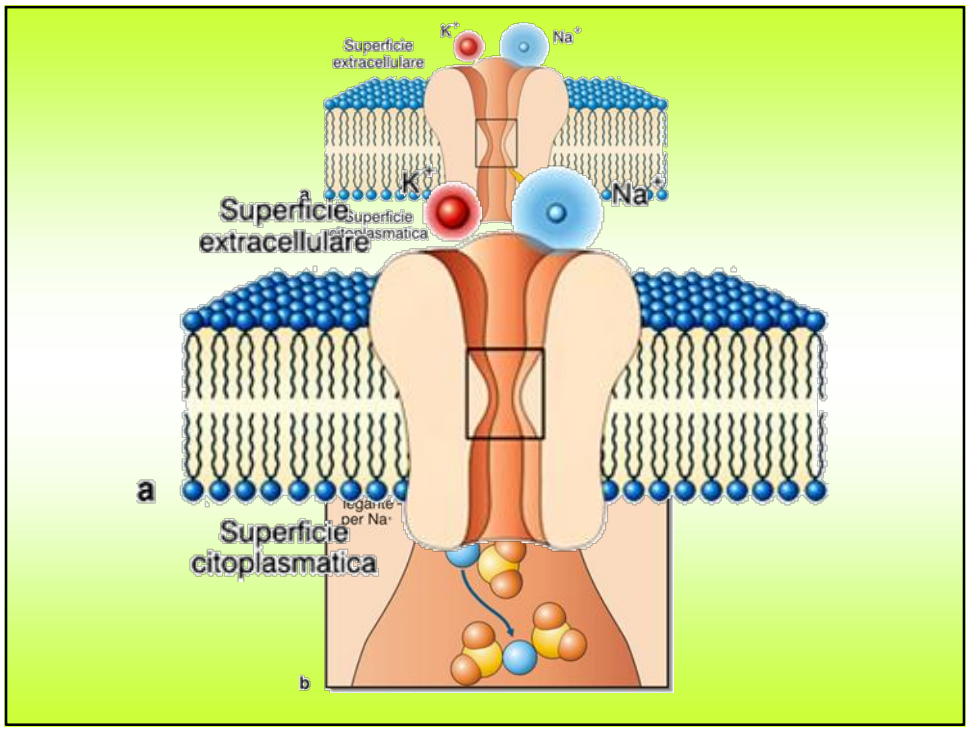
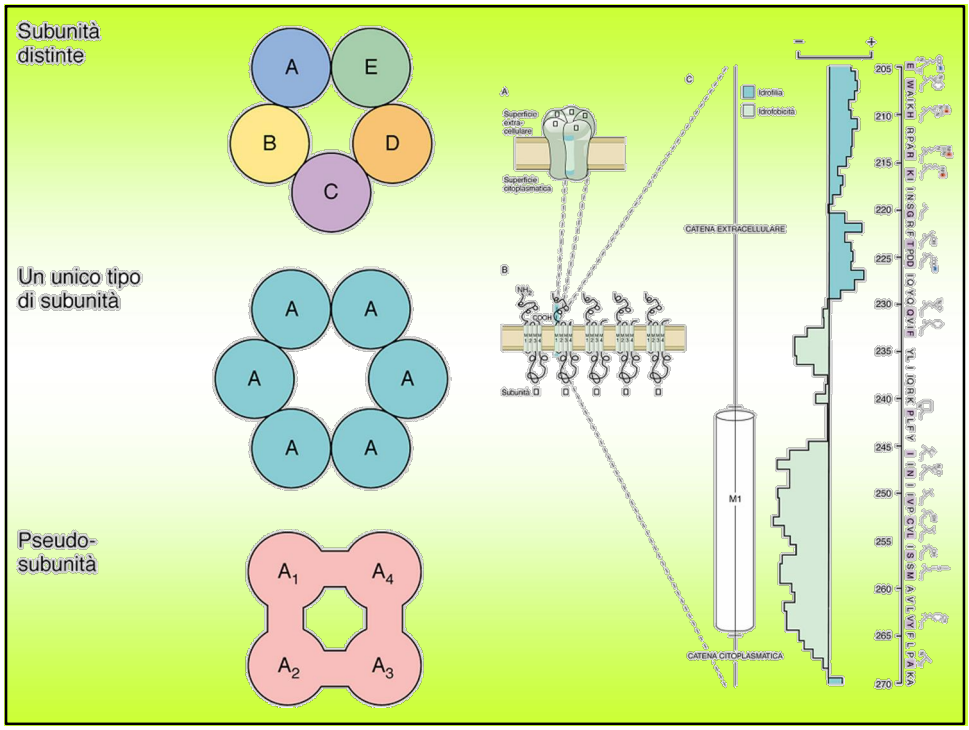
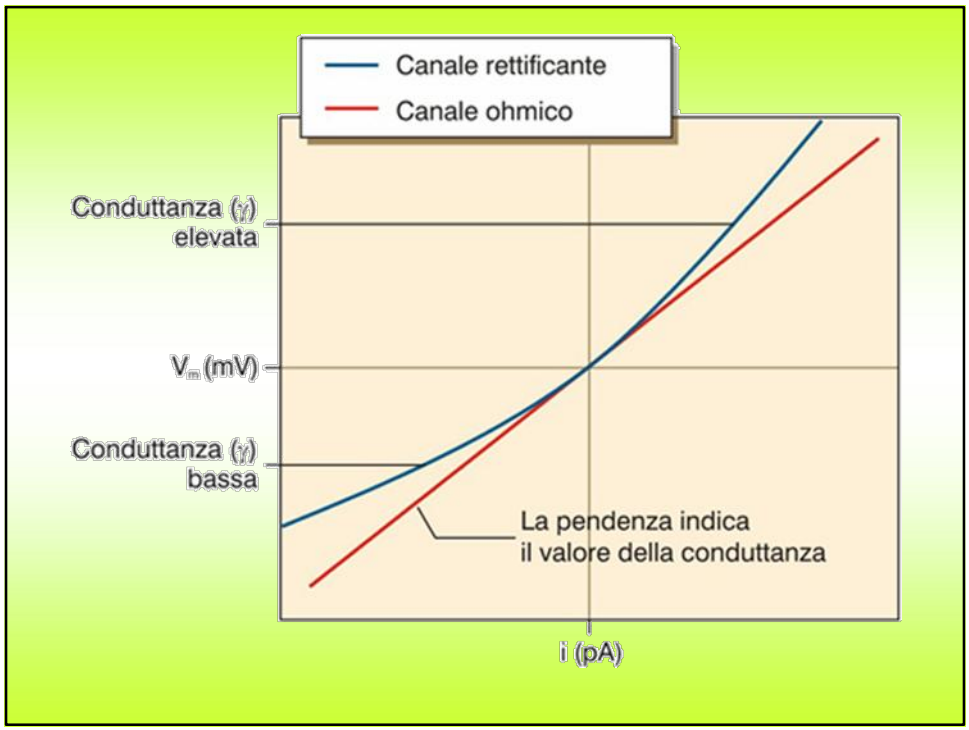

A
B
60
30
0
−30
−60
−90
V_m (mV)
A
Potenziale di riposo
B
Tempo (ms)
Inserzione dell'elettrodo

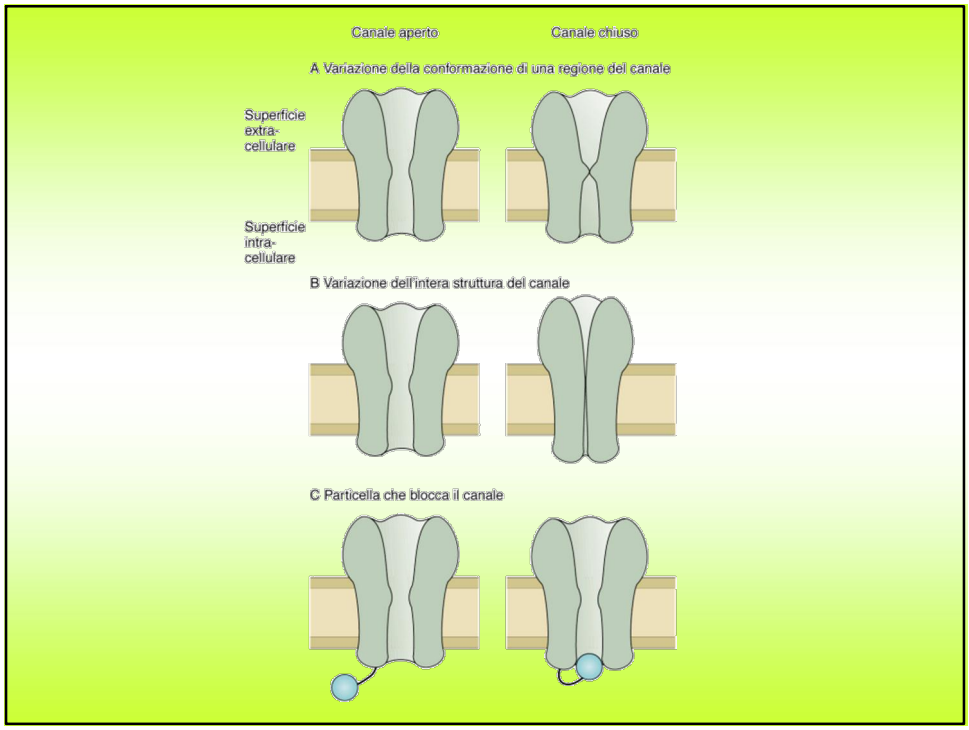

Ambiente extracellulare
Proteina estrinseca
Proteina intrinseca
Testa polare (idrofilica) del fosfolipide
Code apolari (idrofobiche) del fosfolipide
Spessore = 5 nm
Proteina intrinseca transmembrana (canale ionico)
Ambiente intracellulare
© 2005 edi.ermes milano

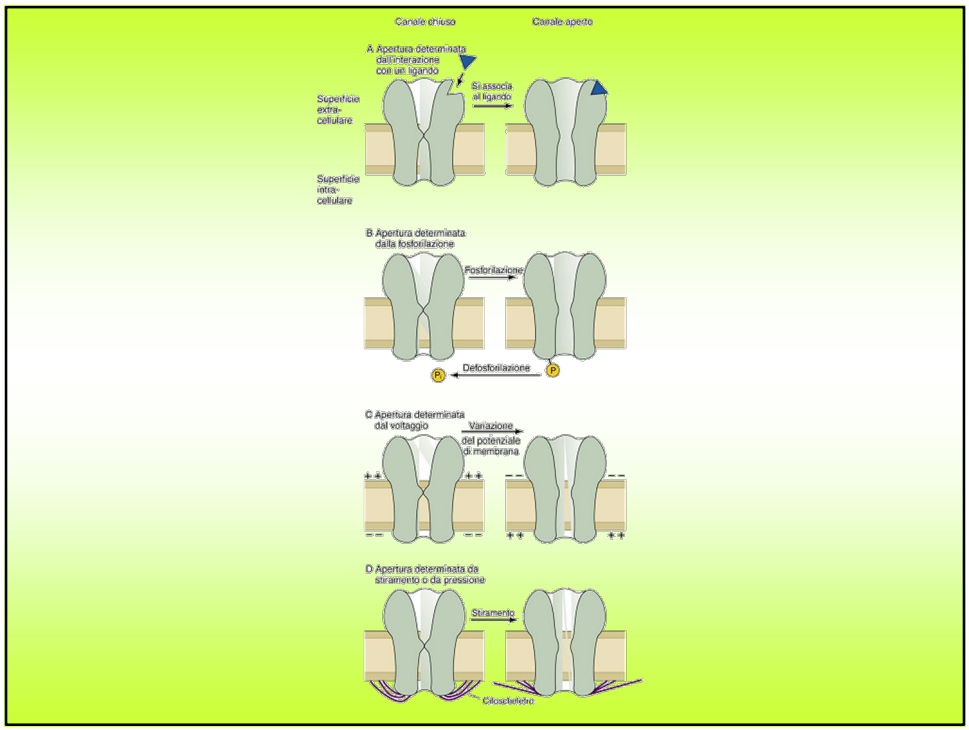

Na+
TTX
β2
Superficie extracellulare
β1
α
a
b
Subunità α
I
II
III
IV
Superficie citoplasmatica
NH2
COOH
P
S1 S2 S3 S4 S5
S6
Superficie extracellulare
Superficie citoplasmatica
Regione P
c
Regione P
Sensore del voltaggio
d

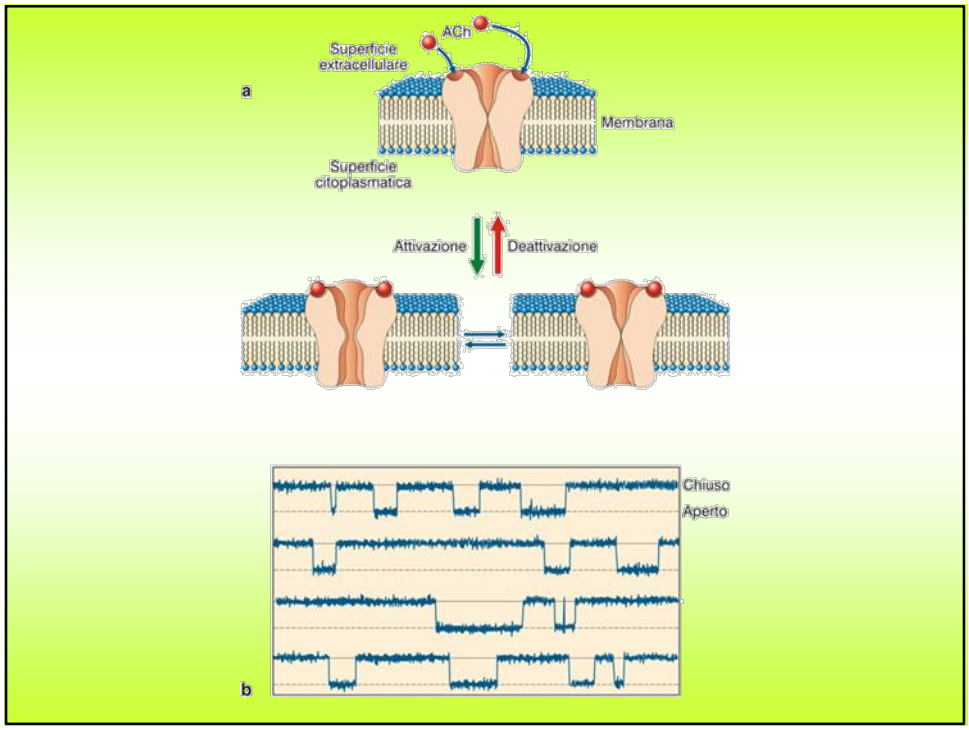

K+
Na+
Superficie extracellulare
a
Superficie extracellulare
Superficie citoplasmatica
Superficie citoplasmatica
b

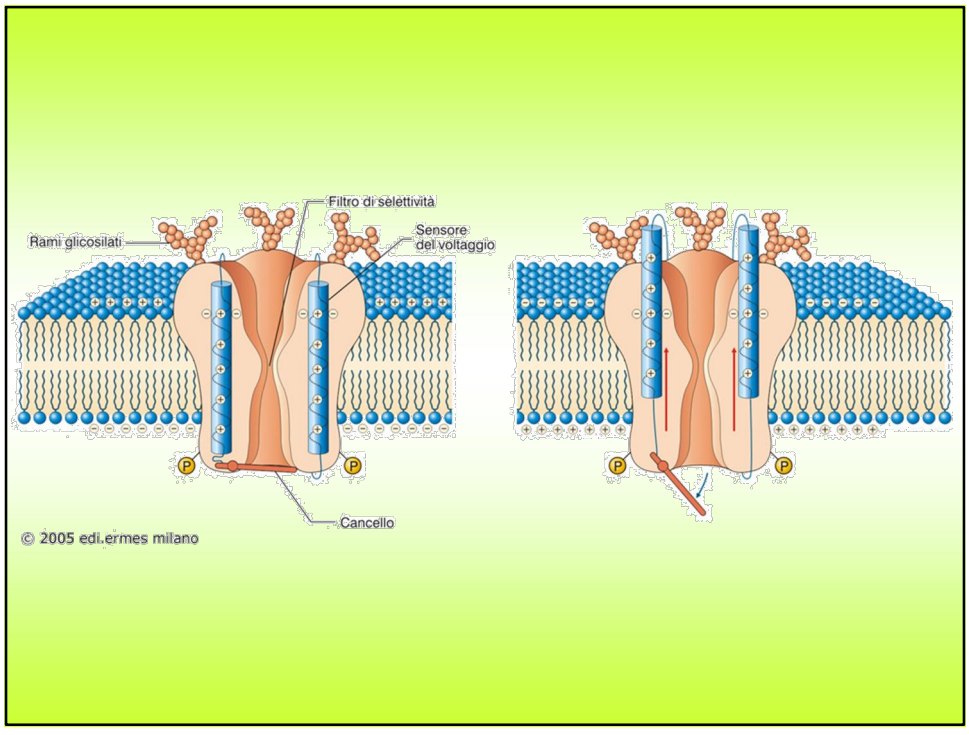

Subunità distinte
A
E
B
D
C
Un unico tipo di subunità
A
A
A
A
A
A
Pseudo-subunità
A1
A4
A2
A3
Superficie extra-cellulare
Superficie citoplasmatica
Idrofilia
Idrofobicità
CATENA EXTRACELLULARE
M1
CATENA CITOPLASMATICA
Subunità
205
210
215
220
225
230
235
240
245
250
255
260
265
270

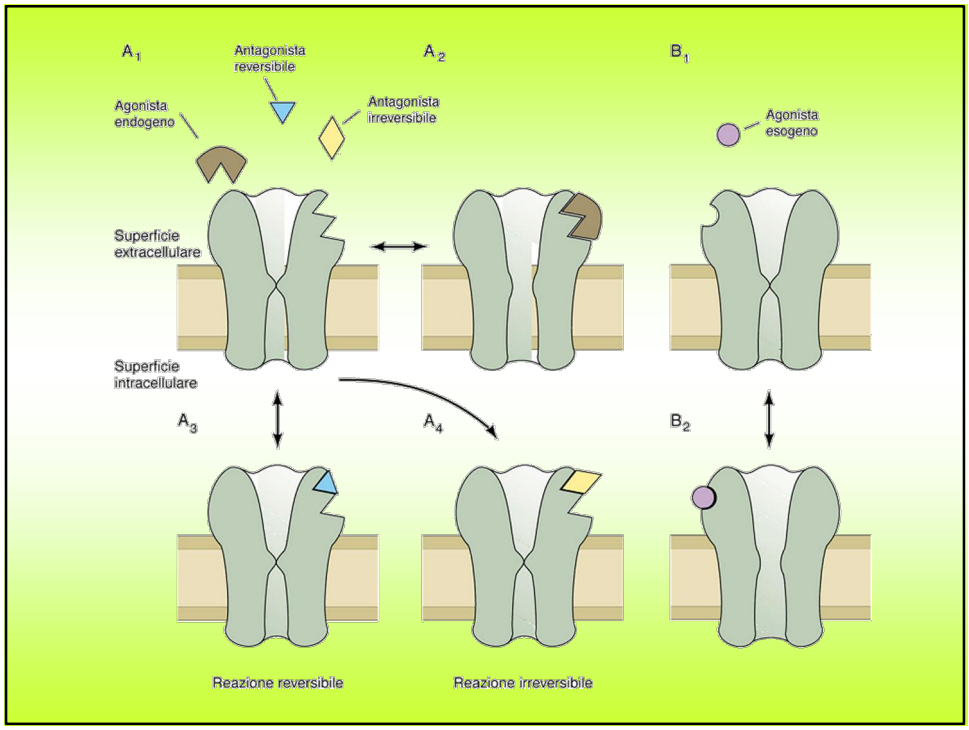

Canale rettificante
Canale ohmico
Conduttanza (γ) elevata
Vm (mV)
Conduttanza (γ) bassa
La pendenza indica il valore della conduttanza
i (pA)

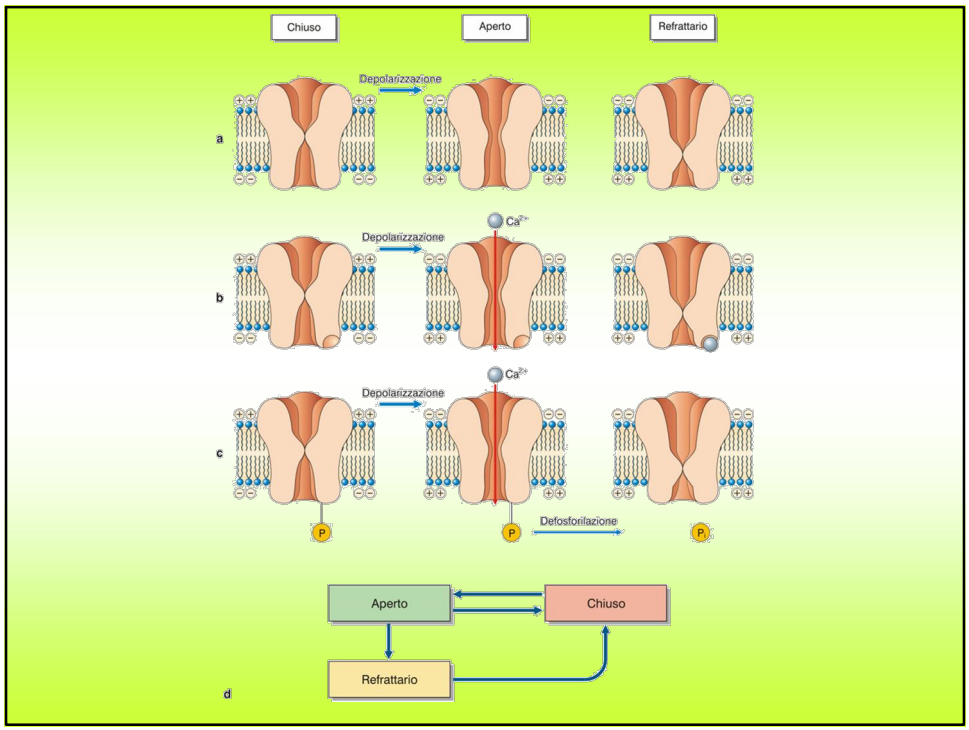

Canale aperto
Canale chiuso
A Variazione della conformazione di una regione del canale
Superficie extra-cellulare
Superficie intra-cellulare
B Variazione dell'intera struttura del canale
C Particella che blocca il canale

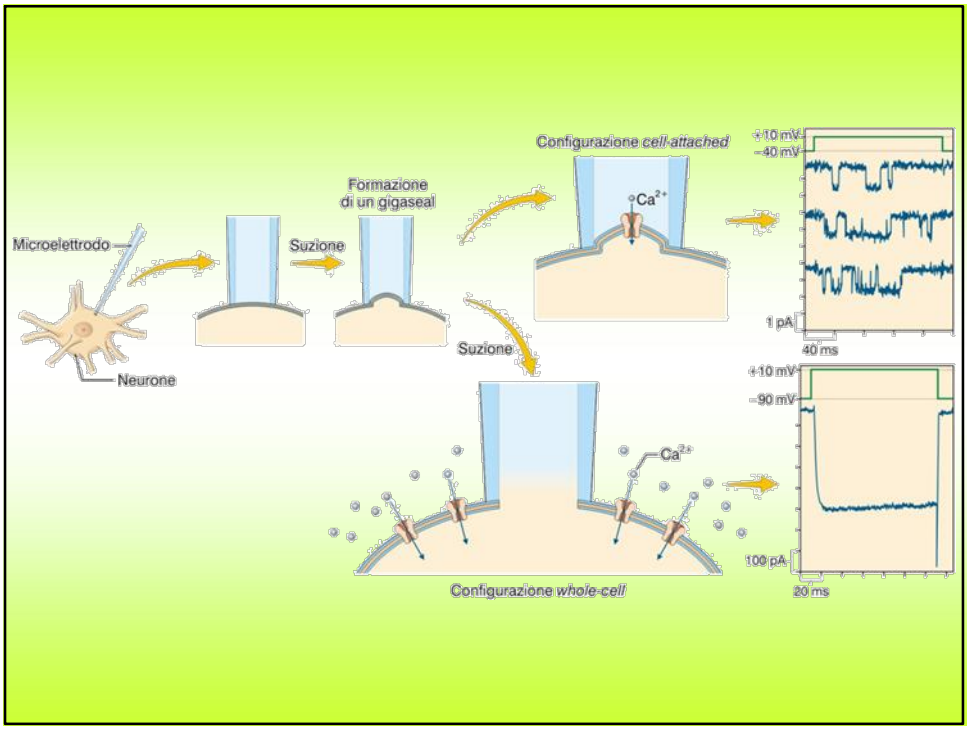

Canale chiuso
Canale aperto
A Apertura determinata dall'interazione con un ligando
Si associa al ligando
Superficie extra-cellulare
Superficie intra-cellulare
B Apertura determinata dalla fosforilazione
Fosforilazione
Defosforilazione
P
C Apertura determinata dal voltaggio
Variazione del potenziale di membrana
D Apertura determinata da stiramento o da pressione
Stiramento
Citoscheletro

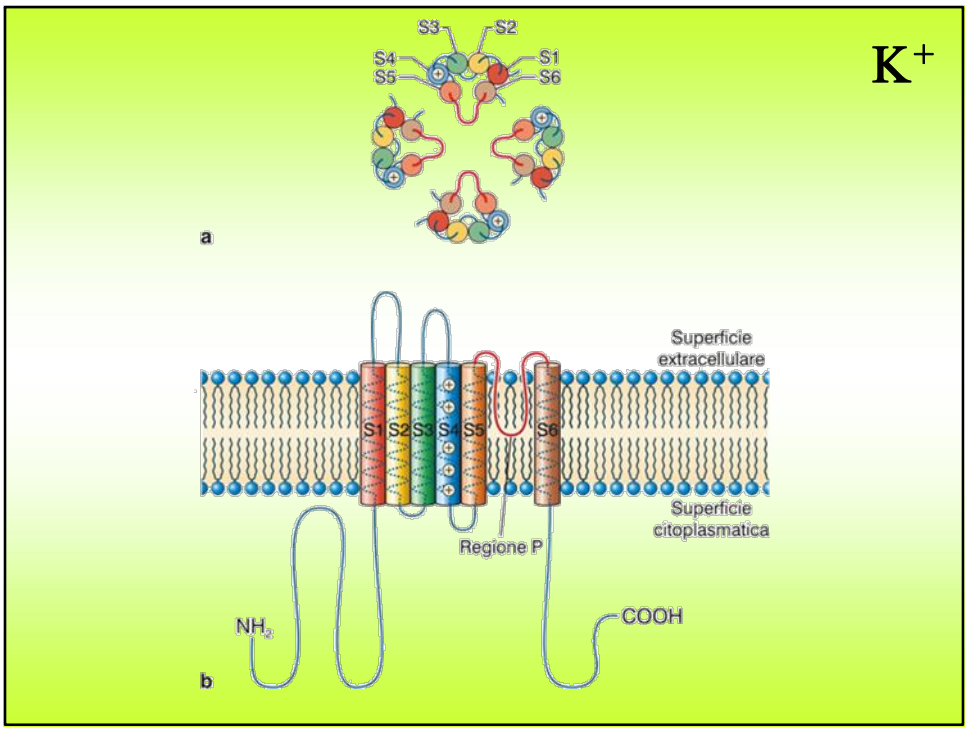

a
ACh
Superficie extracellulare
Membrana
Superficie citoplasmatica
Attivazione
Deattivazione
b
Chiuso
Aperto


Filtro di selettività
Rami glicosilati
Sensore del voltaggio
P
P
Cancello
© 2005 edi.ermes milano
P
P


A1
Antagonista reversibile
A2
B1
Agonista endogeno
Antagonista irreversibile
Agonista esogeno
Superficie extracellulare
Superficie intracellulare
A3
A4
B2
Reazione reversibile
Reazione irreversibile


Chiuso
Aperto
Refrattario
Depolarizzazione
a
Depolarizzazione
Ca2+
b
Depolarizzazione
Ca2+
c
P
P
P
Defosforilazione
Aperto
Chiuso
Refrattario
d


Microelettrodo
Neurone
Suzione
Formazione di un gigaseal
Configurazione cell-attached
Ca2+
+10 mV
−40 mV
1 pA
40 ms
Suzione
Ca2+
+10 mV
−90 mV
100 pA
20 ms
Configurazione whole-cell


K+
S3
S2
S4
S5
S1
S6
a
Superficie extracellulare
S1
S2
S3
S4
S5
S6
Superficie citoplasmatica
Regione P
NH2
COOH
b

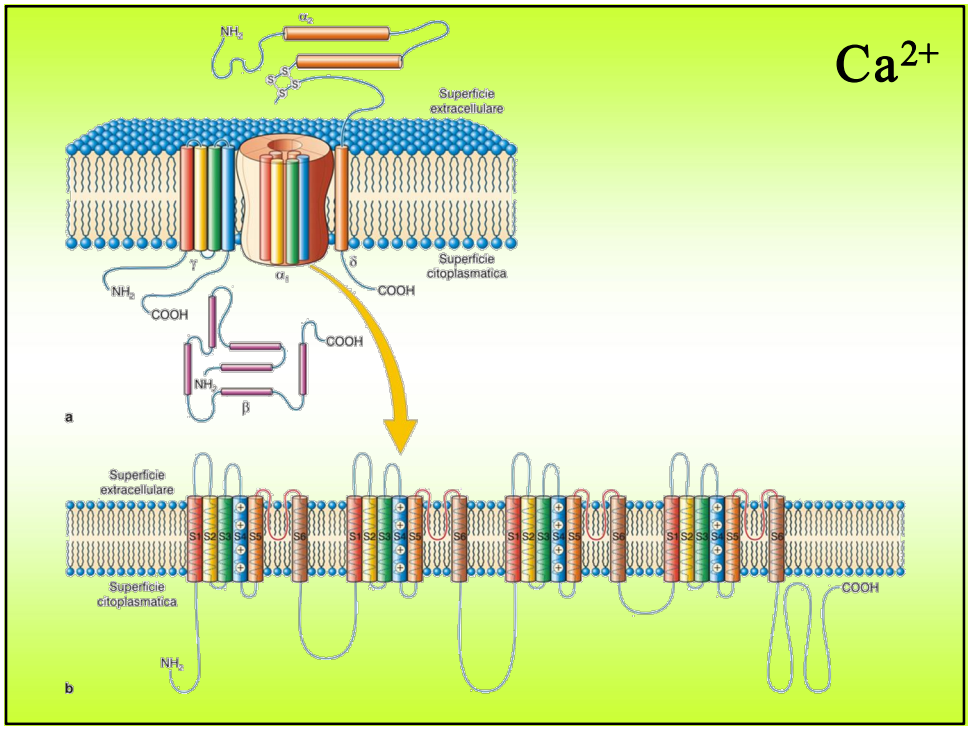


Tabella 7.1 Distribuzione dei principali ioni ai capi della membrana di un neurone a riposo: l'assone gigante del Calamaro.

Specie ionica	Concentrazione citoplasmatica (mM)	Concentrazione nel liquido extracellulare (mM)	Potenziale di equilibrio[1] (mV)
K^+	400	20	– 75
Na^+	50	440	+ 55
Cl^-	52	560	– 60
A^- (ioni organici)	385	–	–

1. Potenziale di membrana al quale non vi è alcun flusso netto di ioni attraverso la membrana della cellula.

$$E_X = \frac{RT}{zF} \ln \frac{[X]_e}{[X]_i}$$ **Equazione di Nernst**

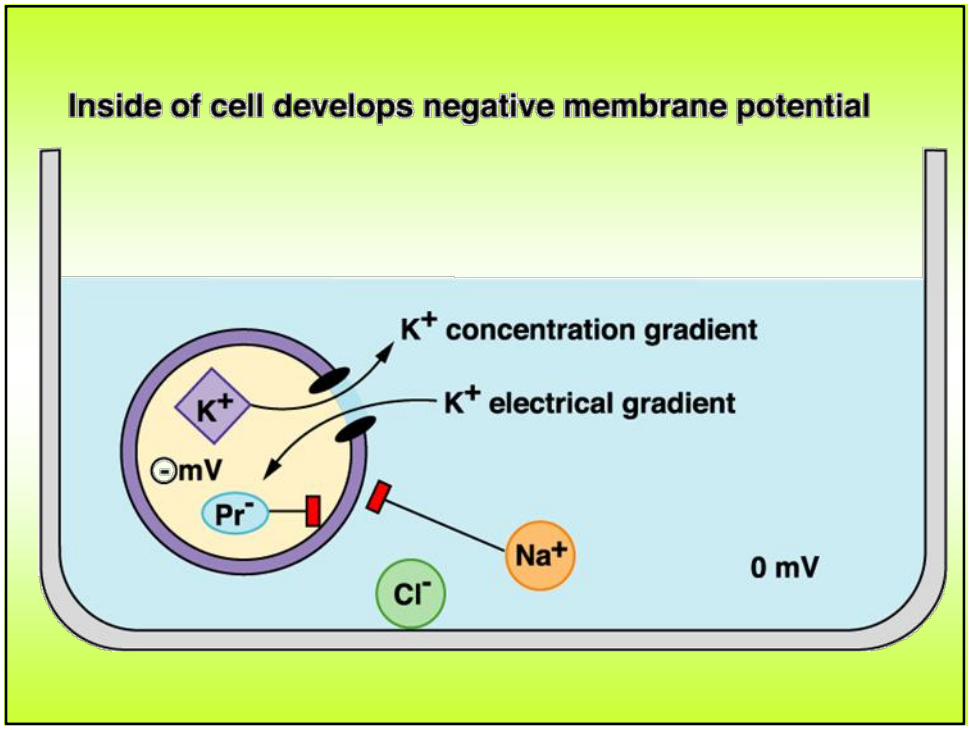
$$E_X = \frac{58\ \text{mV}}{z} \log \frac{[X]_e}{[X]_i}$$

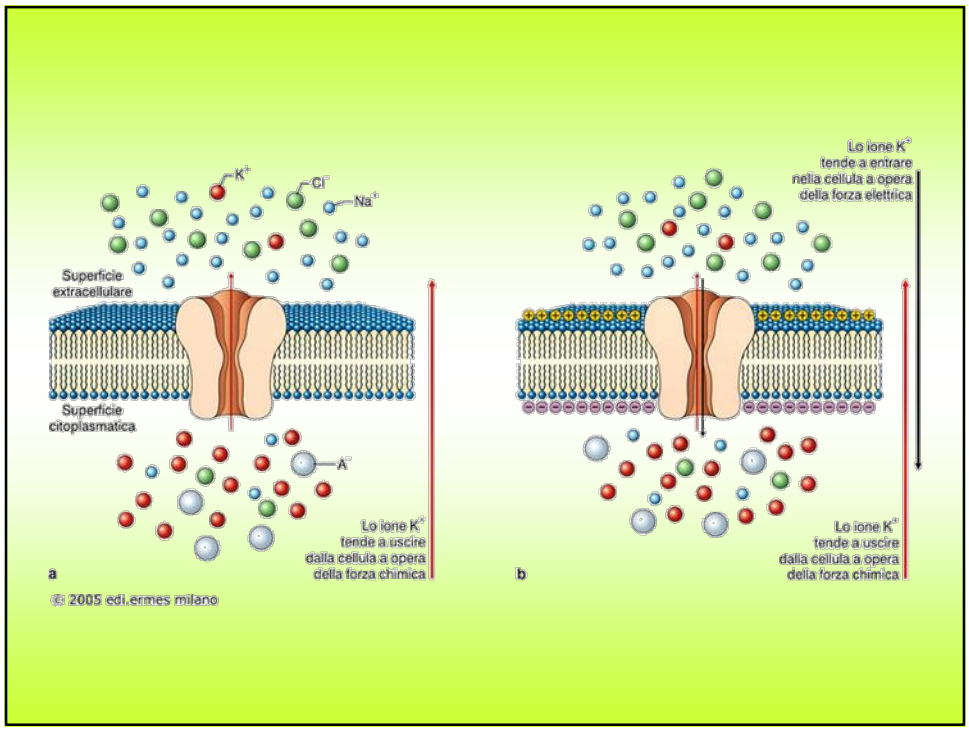
$$E_K = \frac{58\ \text{mV}}{1} \log \frac{[20]}{[400]} = -75\ \text{mV}$$

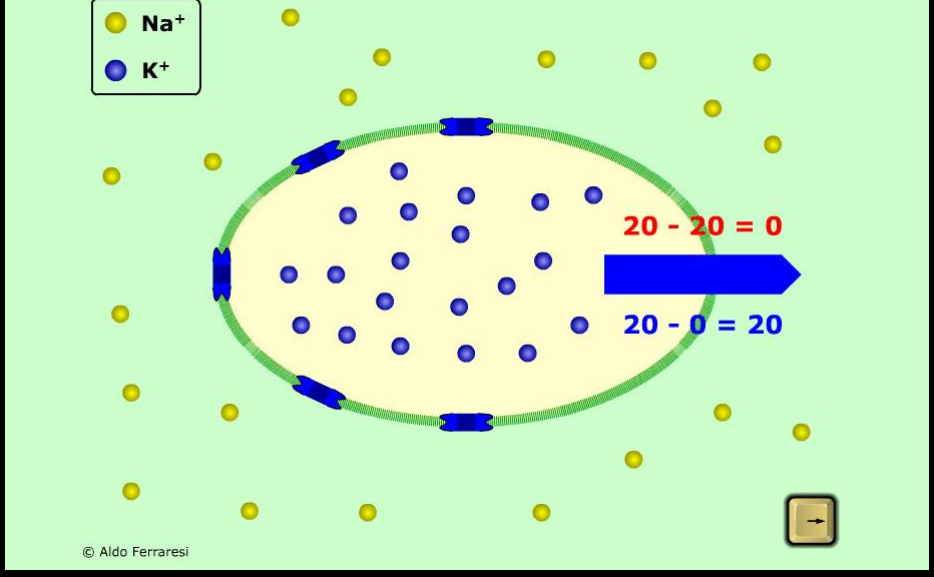
$$E_{Na} = \frac{RT}{F} \ln \frac{[Na]_e}{[Na]_i} = +58\ \text{mV} \log \frac{[440]}{[50]} = +55\ \text{mV}$$

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

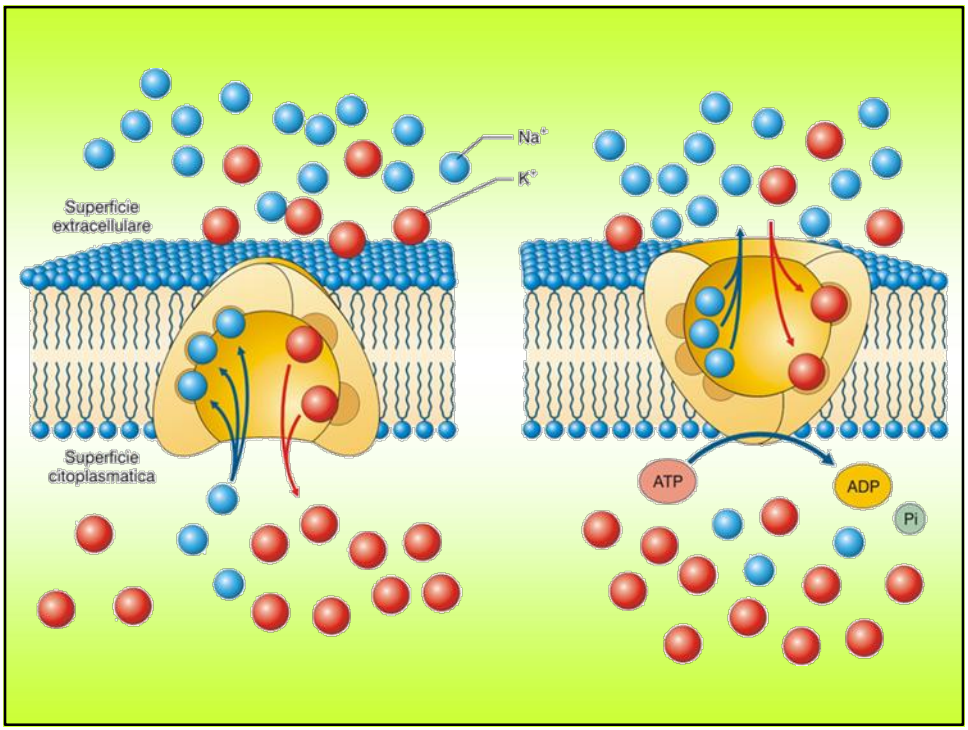
Equazione di Goldman

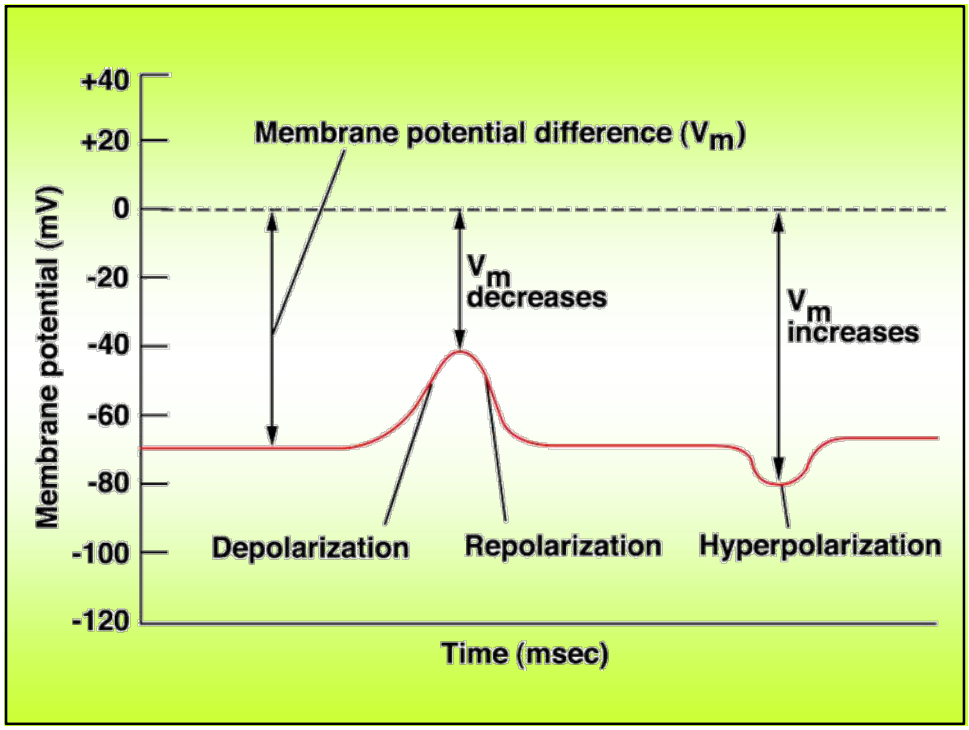

Inside of cell develops negative membrane potential
K+ concentration gradient
K+ electrical gradient
K+
-mV
Pr-
Na+
Cl-
0 mV

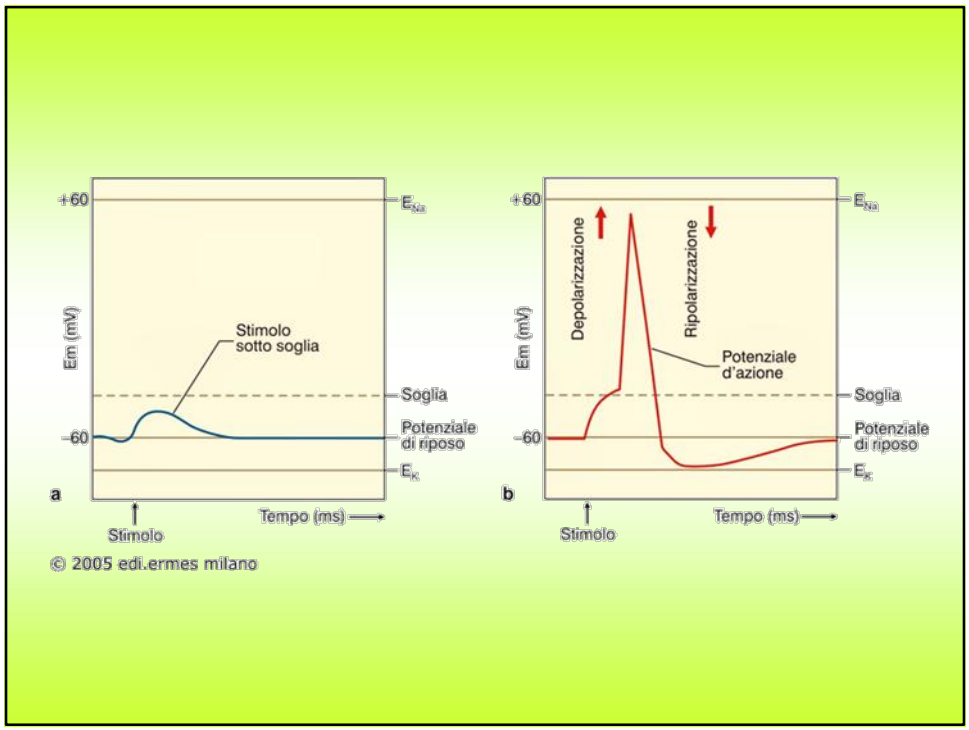

K+
Cl-
Na+
Superficie extracellulare
Superficie citoplasmatica
A-
Lo ione K+ tende a uscire dalla cellula a opera della forza chimica
a
Lo ione K+ tende a entrare nella cellula a opera della forza elettrica
Lo ione K+ tende a uscire dalla cellula a opera della forza chimica
b
© 2005 edi.ermes milano

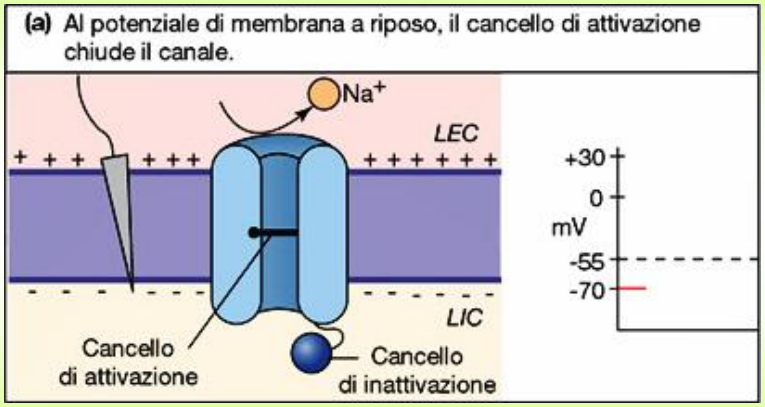


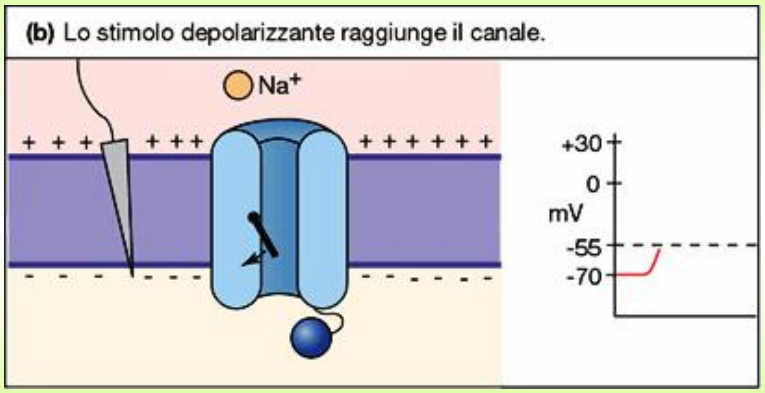
In rosso sono indicati i valori del potenziale elettrico, (determinati da entrambi gli ioni), in azzurro quelli del gradiente di concentrazione del potassio (che può attraversare la membrana). Sono riportati il valore intracellulare, quello extracellulare ed il valore netto. Il potassio continua ad uscire fin quando viene raggiunto l'equilibrio del potenziale elettrochimico.

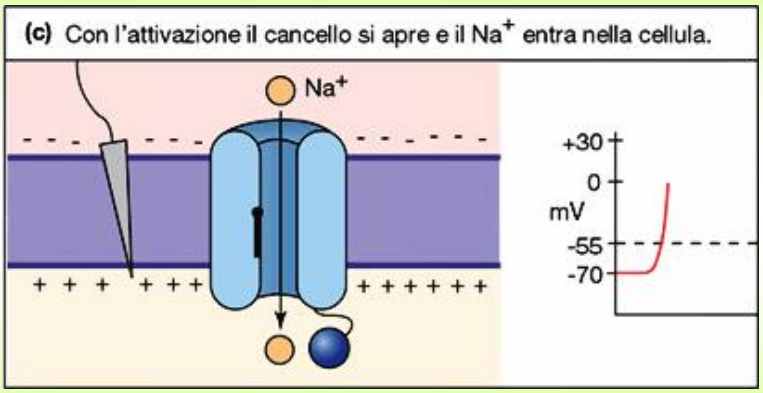


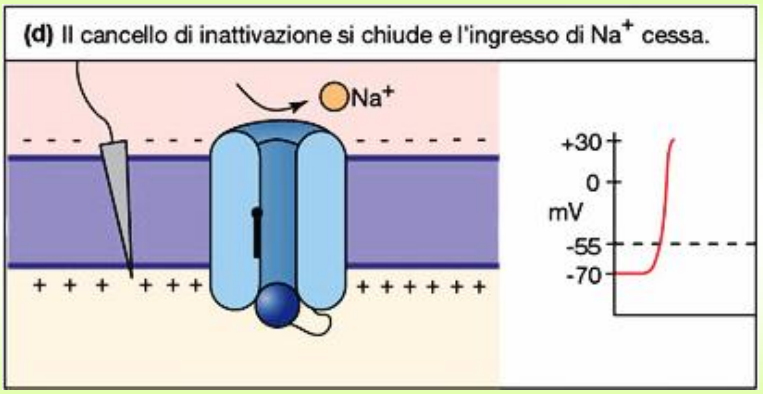

+40
+20
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
Membrane potential (mV)
Membrane potential difference (V_m)
V_m decreases
V_m increases
Depolarization
Repolarization
Hyperpolarization
Time (msec)

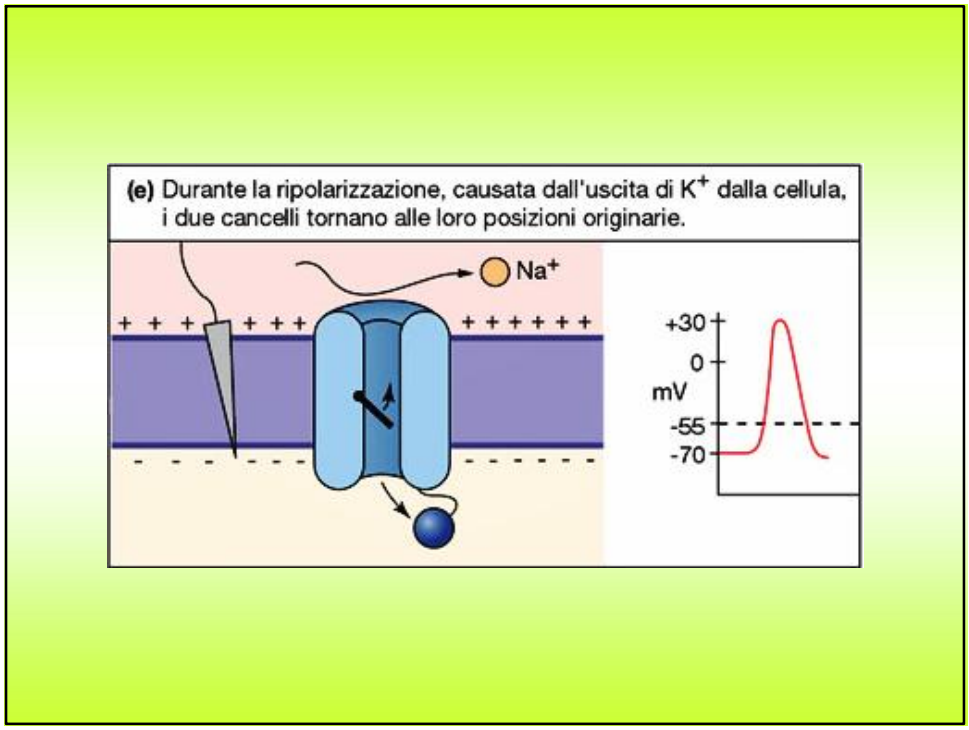

+60
E_{Na}
Em (mV)
Stimolo sotto soglia
Soglia
-60
Potenziale di riposo
E_K
a
Stimolo
Tempo (ms)
Depolarizzazione
Ripolarizzazione
Potenziale d'azione
b
© 2005 edi.ermes milano

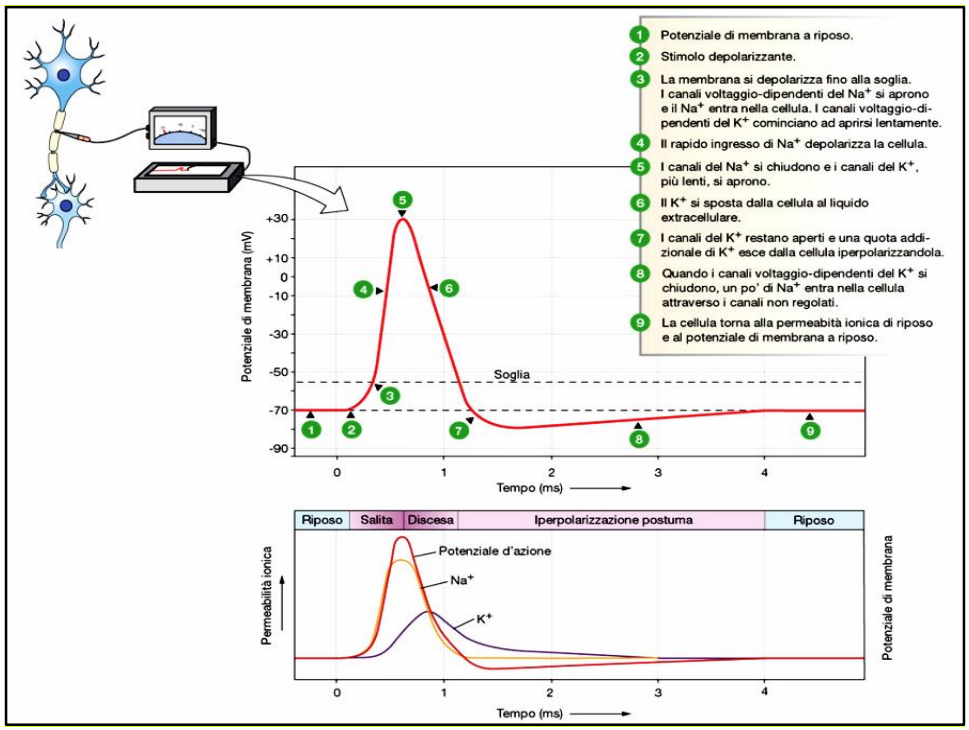

(a) Al potenziale di membrana a riposo, il cancello di attivazione chiude il canale.
Na+
LEC
LIC
Cancello di attivazione
Cancello di inattivazione
+30
0
mV
-55
-70

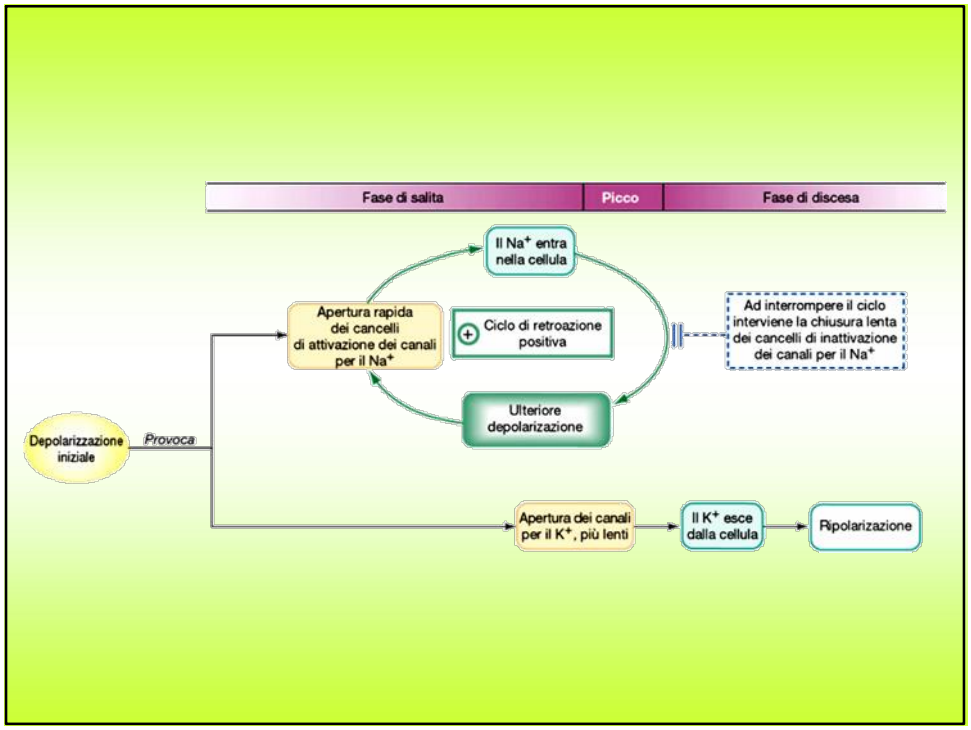

(b) Lo stimolo depolarizzante raggiunge il canale.
Na+
+30
0
mV
-55
-70

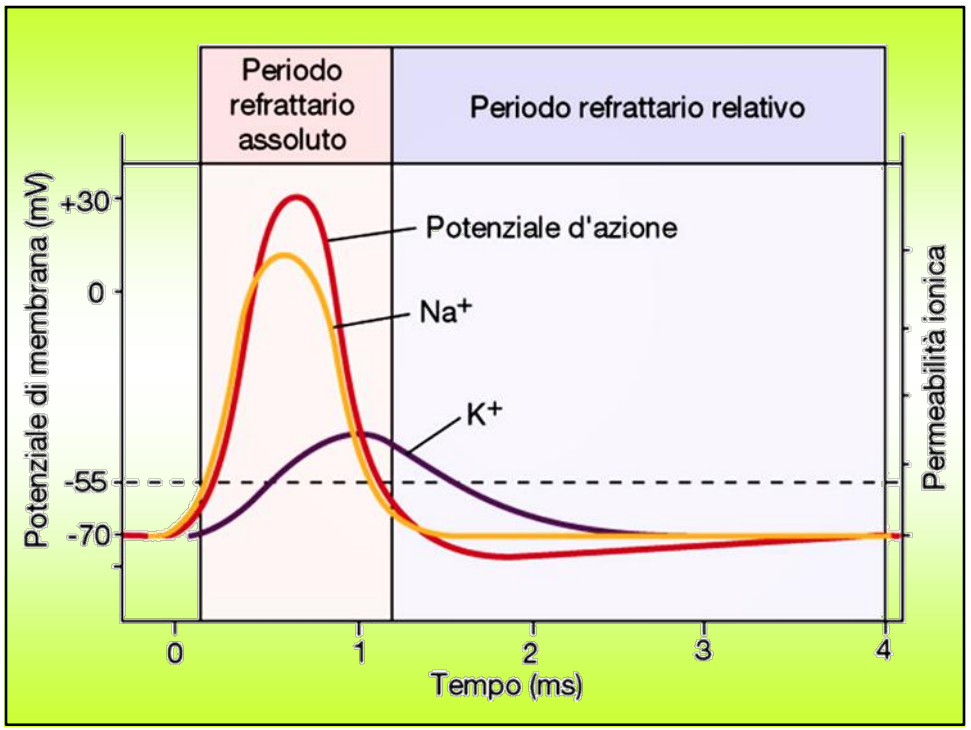

(c) Con l'attivazione il cancello si apre e il Na+ entra nella cellula.
Na+
+30
0
mV
-55
-70


(d) Il cancello di inattivazione si chiude e l'ingresso di Na+ cessa.
Na+
+30
0
mV
-55
-70


(e) Durante la ripolarizzazione, causata dall'uscita di K+ dalla cellula, i due cancelli tornano alle loro posizioni originarie.
Na+
+30
0
mV
-55
-70


1 Potenziale di membrana a riposo.
2 Stimolo depolarizzante.
3 La membrana si depolarizza fino alla soglia. I canali voltaggio-dipendenti del Na+ si aprono e il Na+ entra nella cellula. I canali voltaggio-dipendenti del K+ cominciano ad aprirsi lentamente.
4 Il rapido ingresso di Na+ depolarizza la cellula.
5 I canali del Na+ si chiudono e i canali del K+, più lenti, si aprono.
6 Il K+ si sposta dalla cellula al liquido extracellulare.
7 I canali del K+ restano aperti e una quota addizionale di K+ esce dalla cellula iperpolarizzandola.
8 Quando i canali voltaggio-dipendenti del K+ si chiudono, un po' di Na+ entra nella cellula attraverso i canali non regolati.
9 La cellula torna alla permeabità ionica di riposo e al potenziale di membrana a riposo.
Potenziale di membrana (mV)
+30
+10
0
-10
-30
-50
-70
-90
Soglia
0
1
2
3
4
Tempo (ms)
Riposo
Salita
Discesa
Iperpolarizzazione posturna
Riposo
Permeabilità ionica
Potenziale d'azione
Na+
K+
Potenziale di membrana
0
1
2
3
4
Tempo (ms)


Fase di salita
Picco
Fase di discesa
Il Na+ entra nella cellula
Apertura rapida dei cancelli di attivazione dei canali per il Na+
Ciclo di retroazione positiva
Ad interrompere il ciclo interviene la chiusura lenta dei cancelli di inattivazione dei canali per il Na+
Ulteriore depolarizzazione
Depolarizzazione iniziale
Provoca
Apertura dei canali per il K+, più lenti
Il K+ esce dalla cellula
Ripolarizzazione


Periodo refrattario assoluto
Periodo refrattario relativo
Potenziale d'azione
Na+
K+
Potenziale di membrana (mV)
+30
0
-55
-70
Permeabilità ionica
0
1
2
3
4
Tempo (ms)