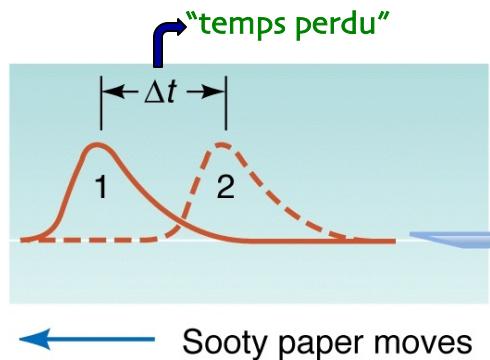
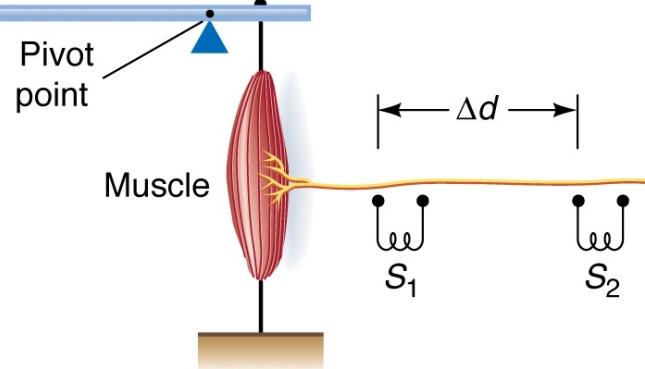


Velocità di propagazione di un potenziale d'azione



Chimografo/miografo

Lever moves
when muscle
contracts



1945: Hermann von Helmholtz misura per la prima volta la velocità di propagazione dell'impulso nervoso lungo un nervo di rana (25 m/sec)

$$V_p = \Delta d / \Delta t$$

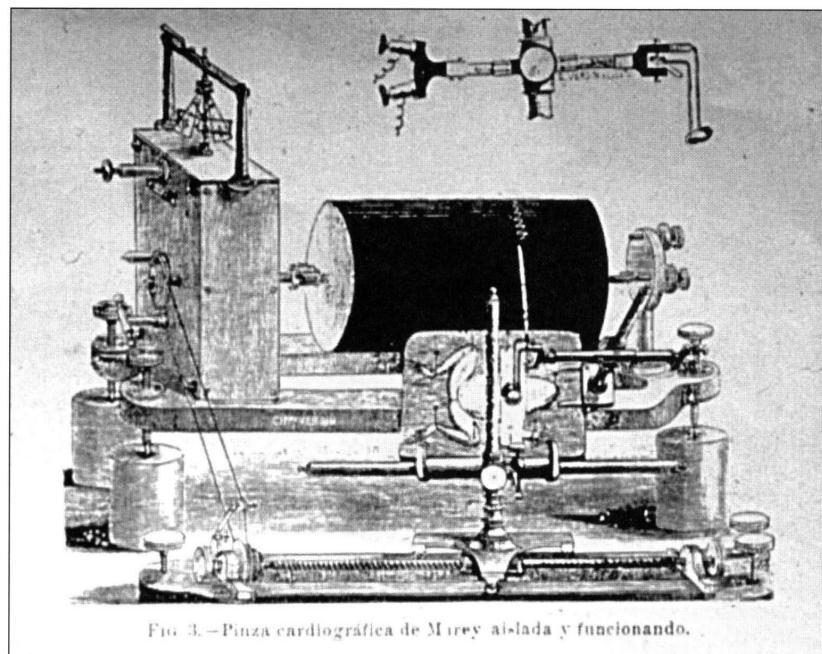
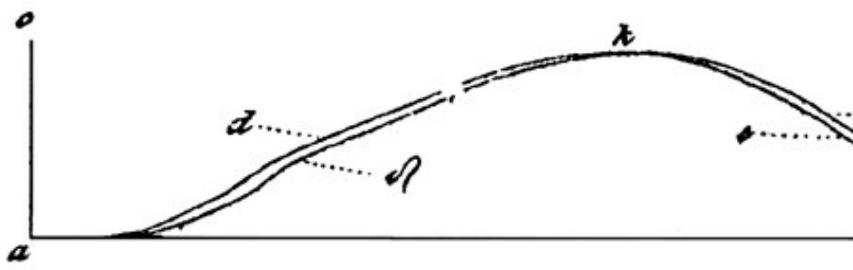
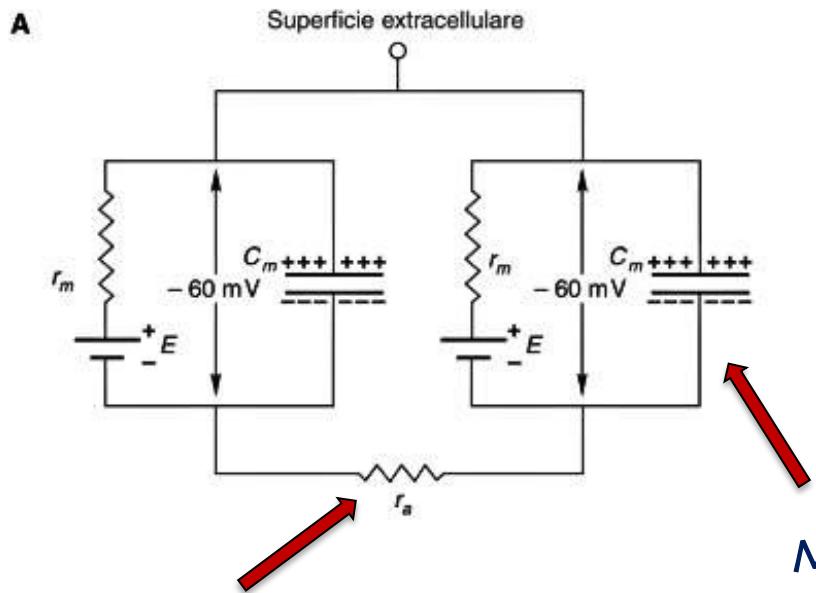


FIG. 3. — Pinza cardiográfica de Mirey aislada y funcionando.

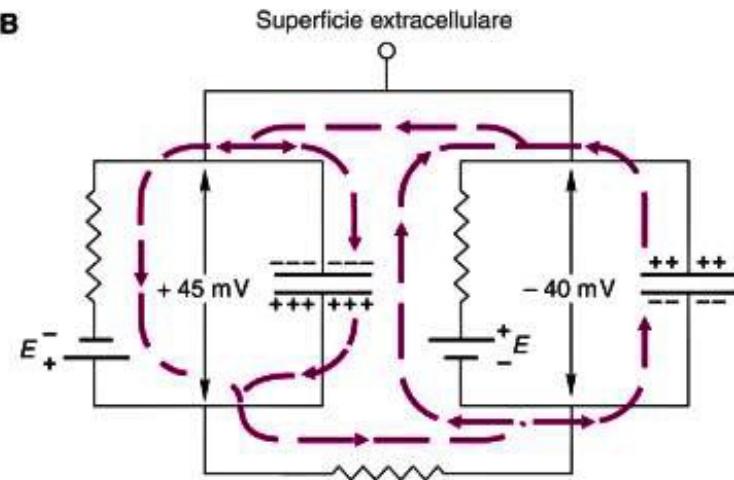
La resistenza assiale e la capacità limitano la velocità di propagazione di un potenziale d'azione

Il tempo necessario perché la depolarizzazione si propaghi lungo l'assone è funzione della resistenza assiale (r_a) e della sua capacità (C_m) per unità di lunghezza



Maggiore è la r_a , minore sarà la corrente (I) che passa nel tratto di membrana adiacente

E' necessario più tempo per depolarizzare la membrana

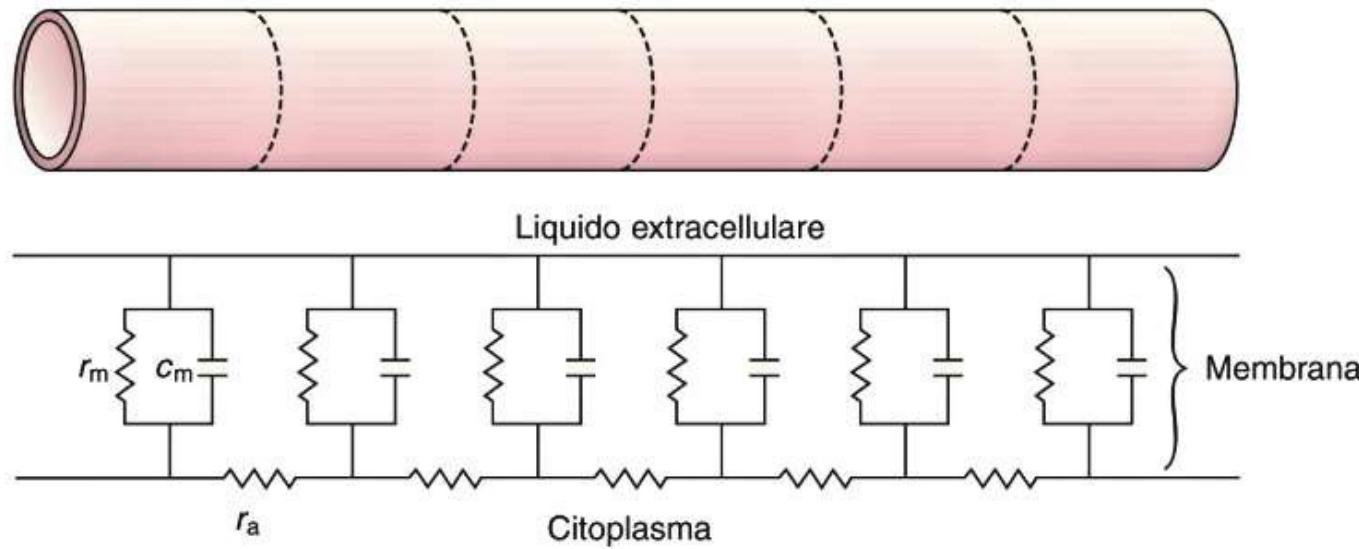


Maggiore è la C_m , maggiore dovrà essere la carica (Q) per far variare il potenziale

Per determinare una data depolarizzazione, la I deve scorrere per un tempo maggiore

Quindi: la velocità di propagazione di un potenziale d'azione è inversamente proporzionale alla R_a e alla C_m

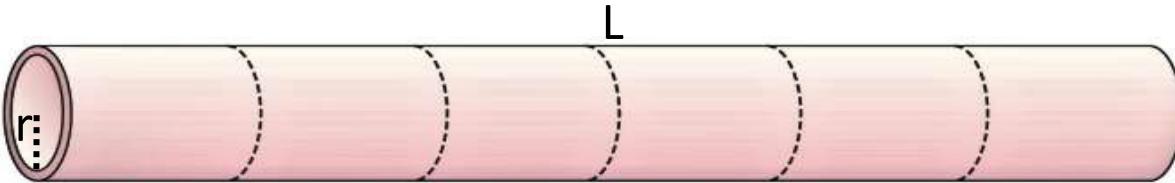
$$v \sim 1/r_a C_m$$



Per aumentare la velocità di propagazione si può:

- Aumentare il diametro assiale della fibra nervosa
- Diminuire la capacità della membrana

Relazione tra velocità di conduzione e diametro assonale



$$R_m = 1/r$$

(in quanto l'area della superficie di un cilindro di lunghezza L , è $A_s = 2\pi r L$)

$$R_I = 1/r^2$$

(in quanto l'area della sezione trasversa dell'assone è $A_x = \pi r^2$)

Per ogni incremento di r la riduzione di R_I sarà maggiore della riduzione di R_m

Poiché $\lambda = \sqrt{\frac{R_m}{R_I}} = \sqrt{\frac{1/r}{1/r^2}} = \sqrt{1/r \times r^2} = \sqrt{r}$

$\gg r = \gg \lambda$

$\tau = R_m \times C_m$ rimane costante perché:

C_m aumenta proporzionalmente all'area della superficie

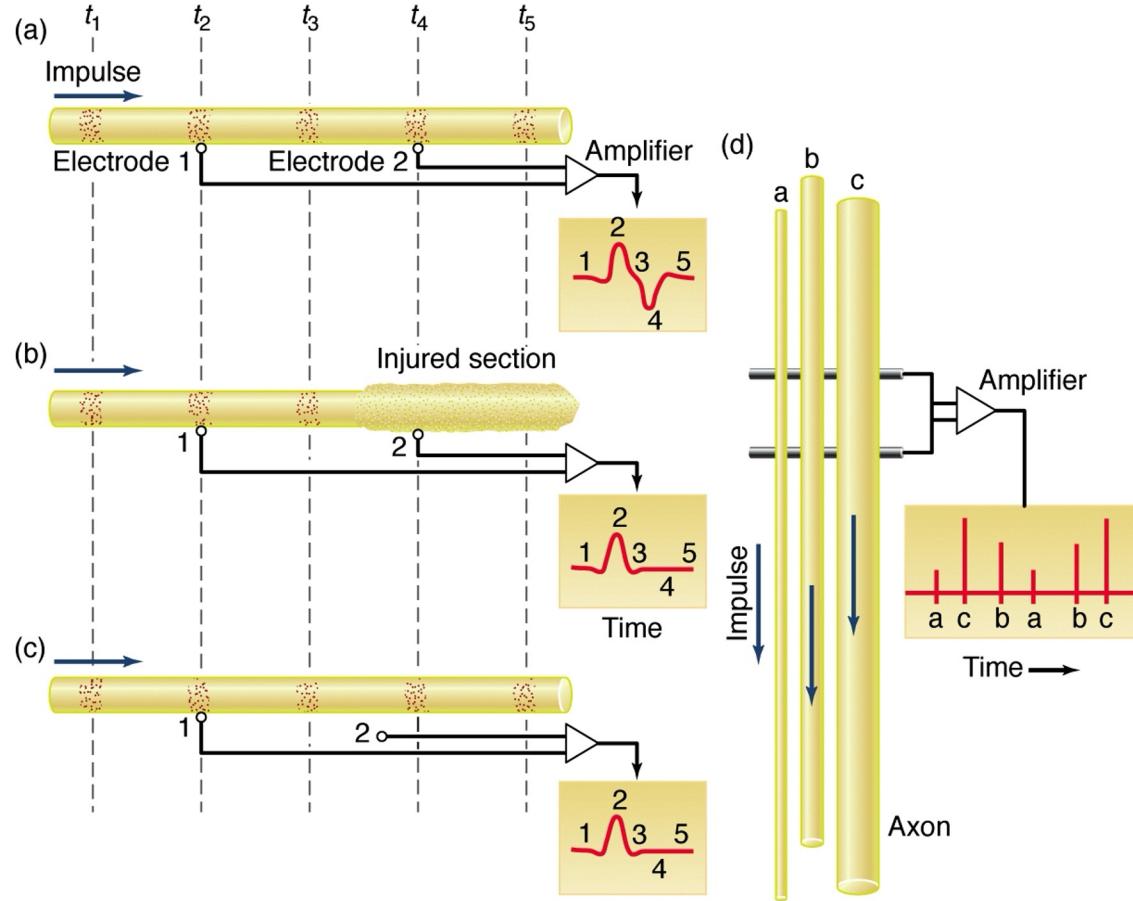
R_m diminuisce proporzionalmente all'aumento dell'area di membrana

Registrazioni extracellulari della conduzione dell'impulso

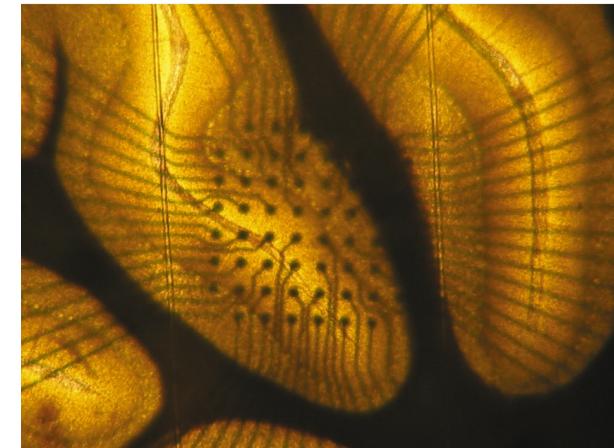
In vivo:

Elettrodo vicino ad una sorgente eletrogenica: *segnali di singole unità (a-c)*

Elettrodo capta sorgenti differenti: *Segnale (potenziale) di campo (d)*



In vitro (su fettine di preparato):

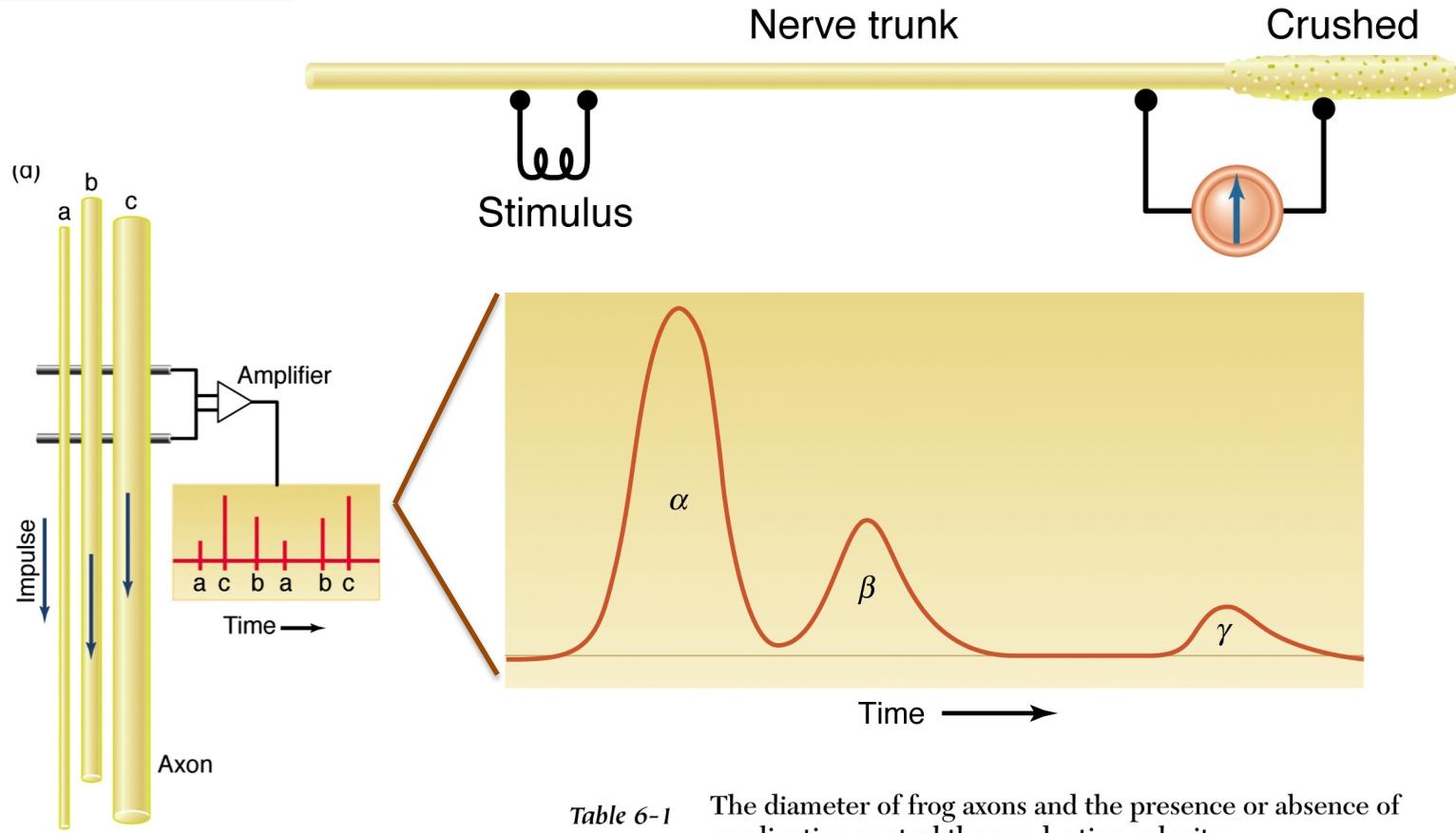


MEA: multi electrode array

Derivazione di segnali elettrici da molti punti di un preparato contemporaneamente

I medesimi elettrodi possono essere utilizzati per applicare stimolazioni al preparato

Registrazioni extracellulari da nervo sciatico di rana



Sono fattori determinanti:

°diametro assonale

°presenza di una guaina mielinica

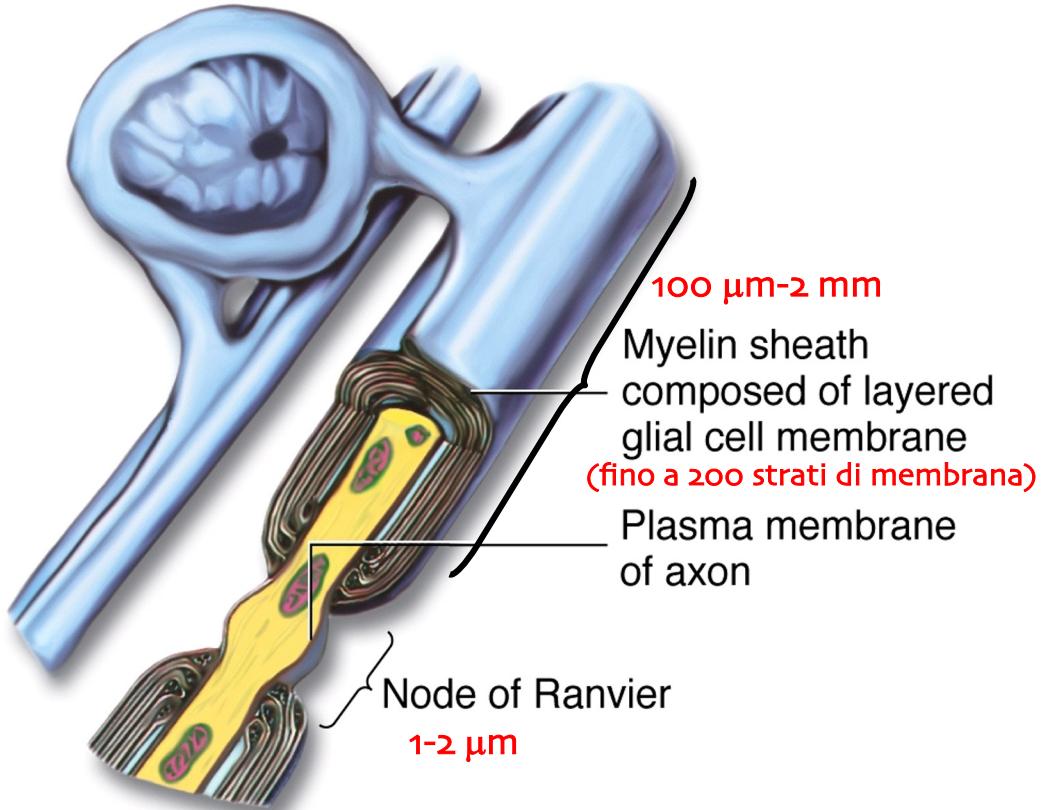
Table 6-1 The diameter of frog axons and the presence or absence of myelination control the conduction velocity.

Fiber type	Average axon diameter (μm)	Conduction velocity ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
Myelinated fibers		
A α	18.5	42
A β	14.0	25
A γ	11.0	17
B	Approximately 3.0	4.2
Unmyelinated fibers		
C	2.5	0.4–0.5

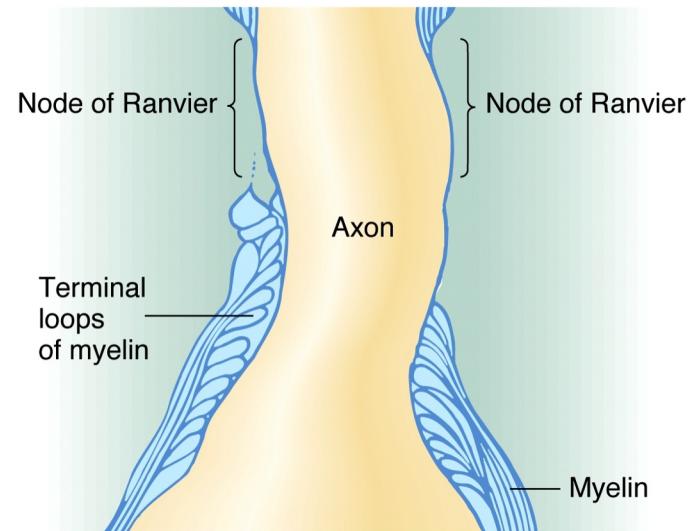
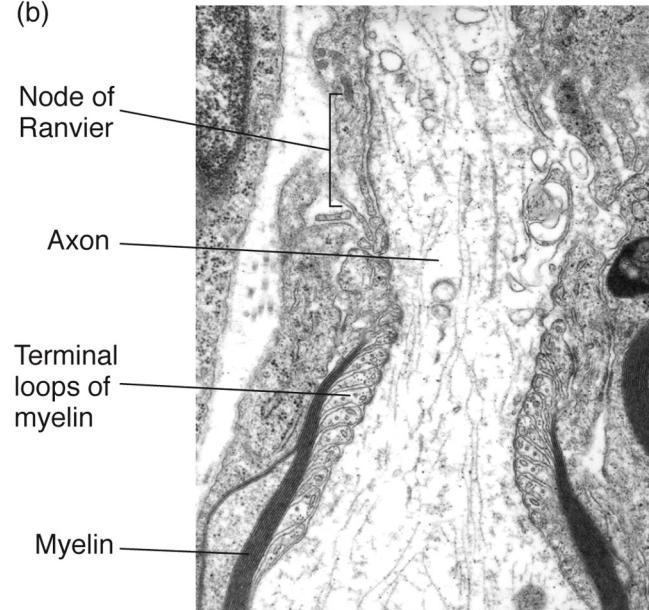
Source: Erlanger and Gasser, 1937.

Relazione tra velocità di conduzione e presenza di una guaina mielinica

(a) Oligodendrocyte



(b)



Ricapitolando: la velocità di conduzione dei segnali elettrici lungo gli assoni dipende dal diametro assonale e dalla presenza o meno di una guaina mielinica

Sono fattori determinanti:

- °diametro assonale
- °presenza di una guaina mielinica

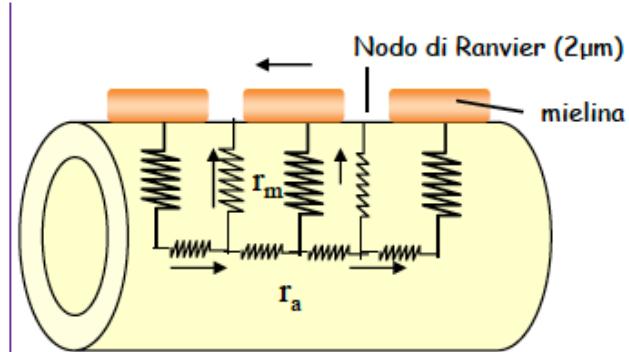
La mielina aumenta la resistenza di membrana (R_m) e riduce la capacità (C_m) effettiva della membrana neuronale



Table 6-1 The diameter of frog axons and the presence or absence of myelination control the conduction velocity.

Fiber type	Average axon diameter (μm)	Conduction velocity ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
Myelinated fibers		
A α	18.5	42
A β	14.0	25
A γ	11.0	17
B	Approximately 3.0	4.2
Unmyelinated fibers		
C	2.5	0.4–0.5

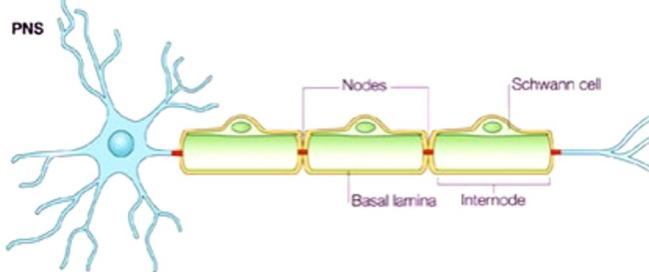
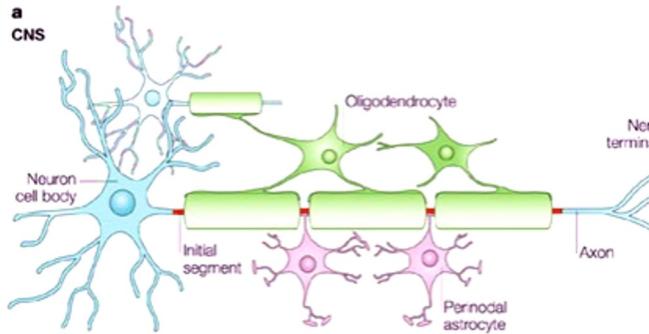
Source: Erlanger and Gasser, 1937.



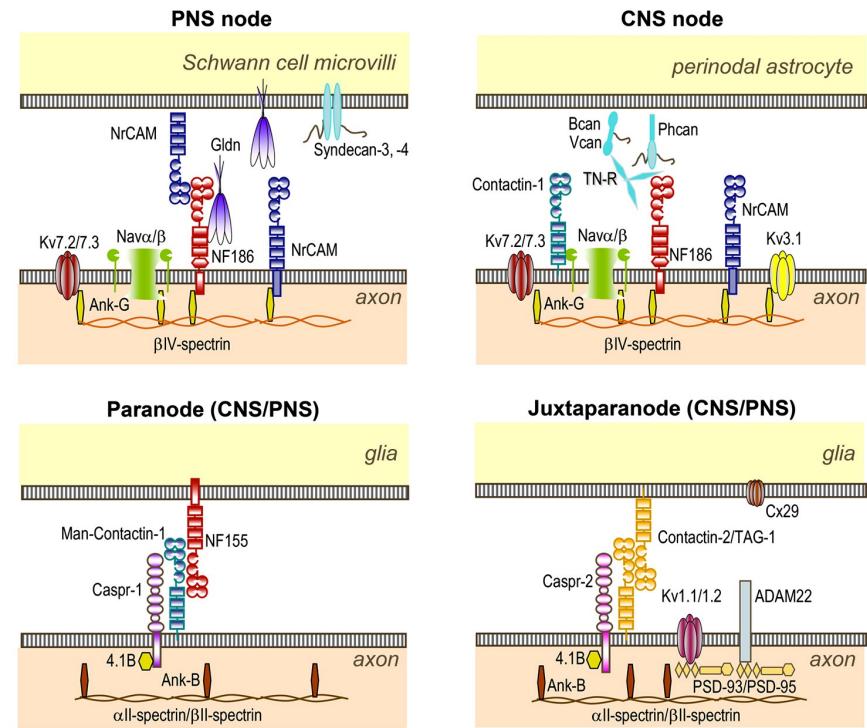
Aumento della λ → aumento dell'efficienza di diffusione longitudinale della corrente

Riduzione di C_m → riduzione della forza elettrostatica tra le cariche

Il nodo di Ranvier è un dominio funzionale complesso

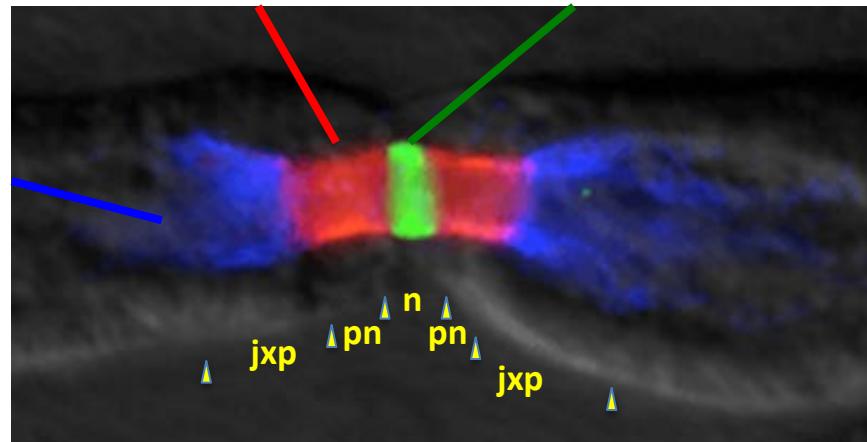


Kv channels

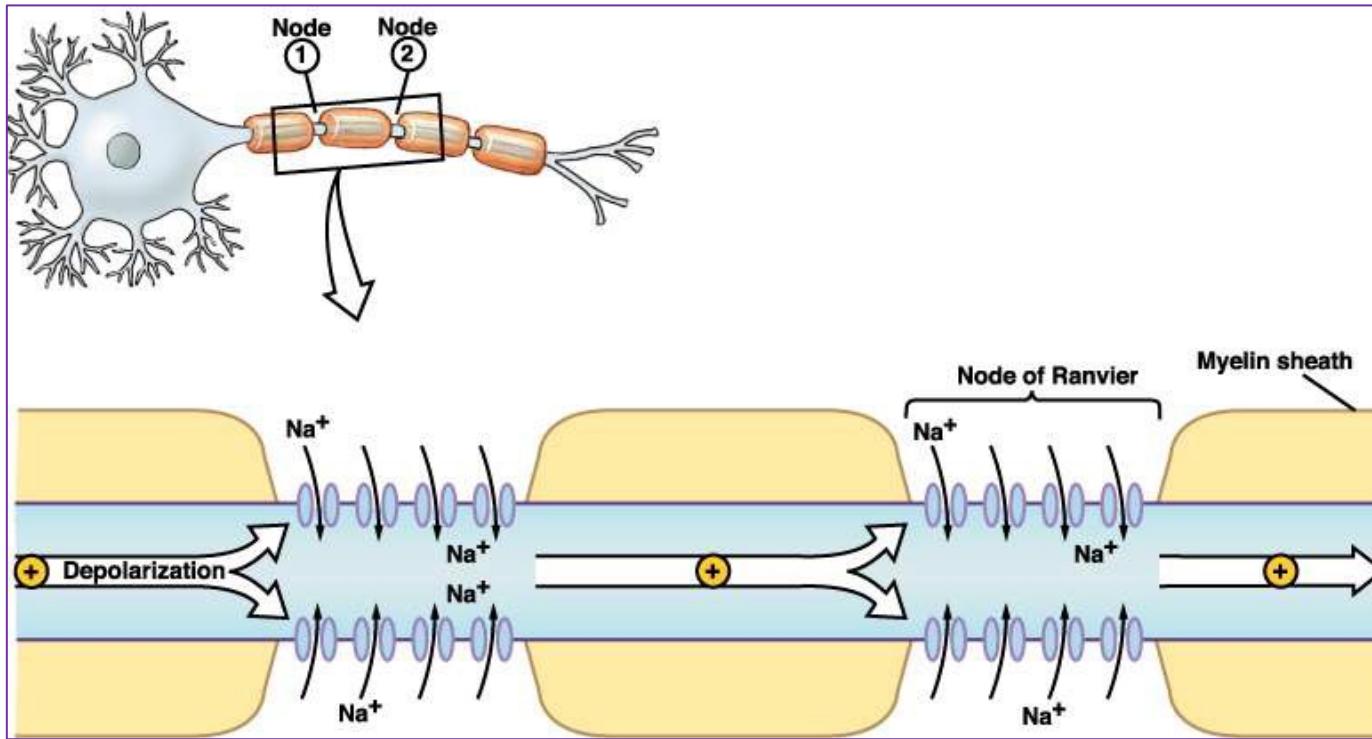


Casper

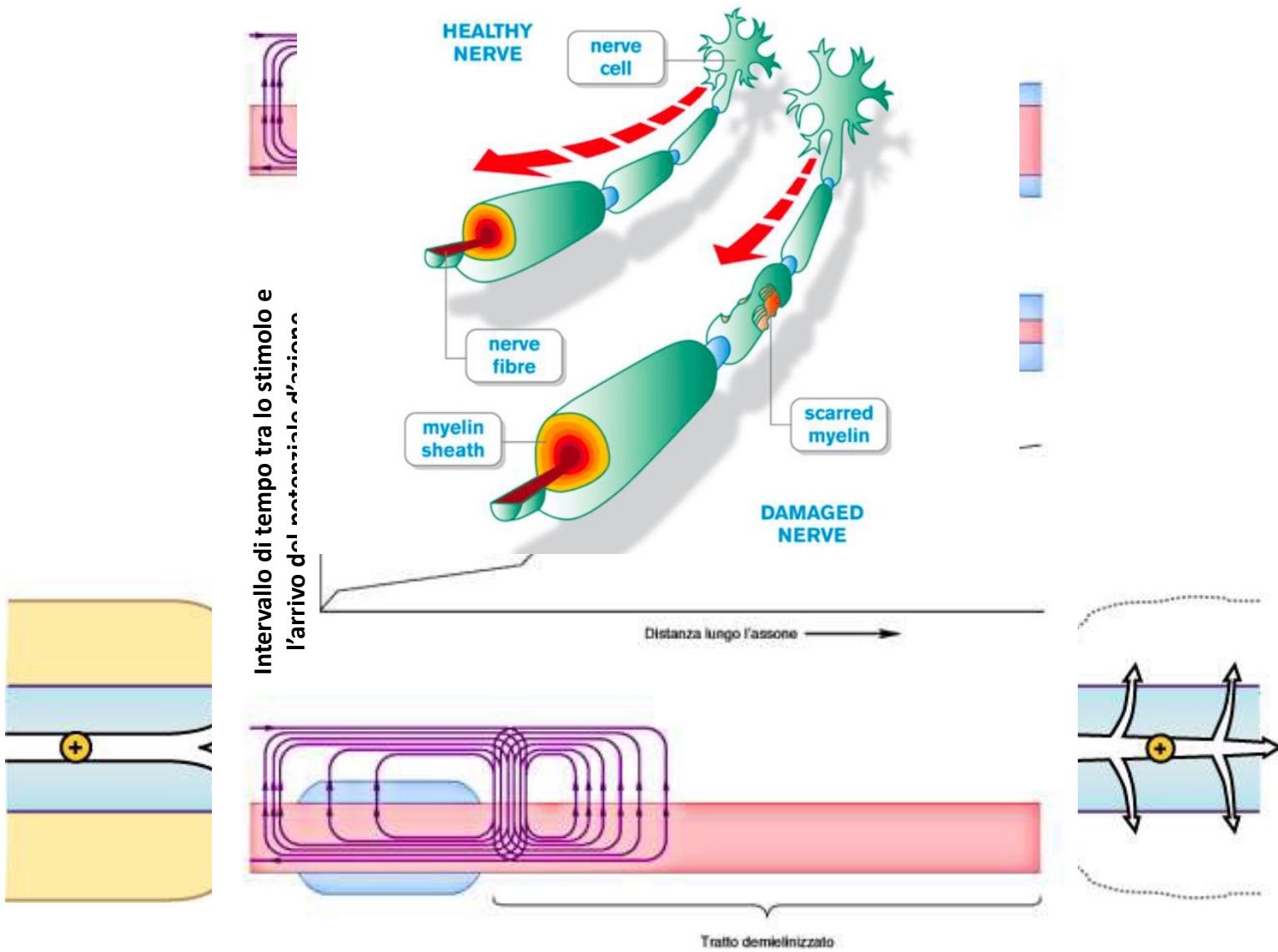
NaV channels



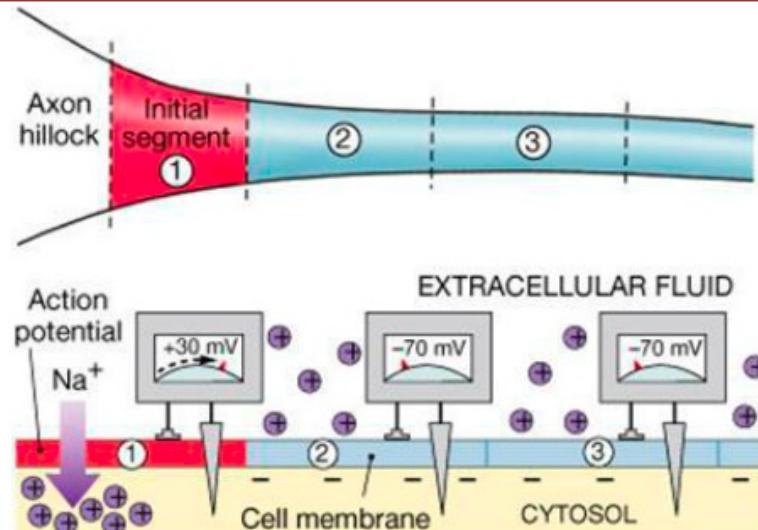
La presenza di Na_v nella zona dei nodi di Ranvier è alla base della *conduzione saltatoria*



La velocità di conduzione diminuisce nei casi di degenerazione della guaina mielinica

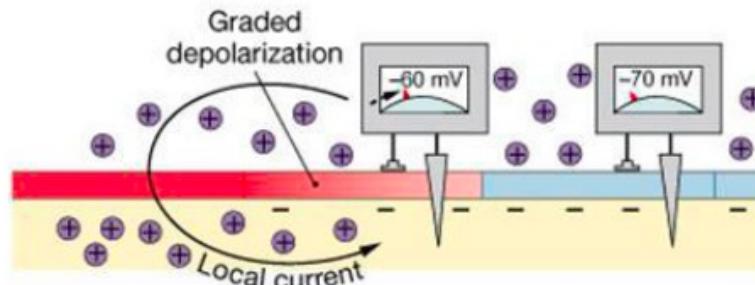


Propagazione di un potenziale d'azione lungo un assone amielinico



STEP 1:

As an action potential develops in the initial segment, the transmembrane potential depolarizes to +30 mV.

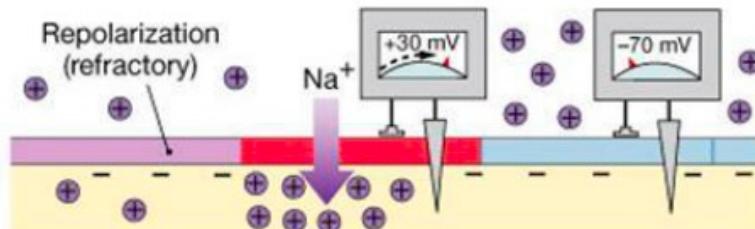


STEP 2:

A local current depolarizes the adjacent portion of the membrane to threshold.

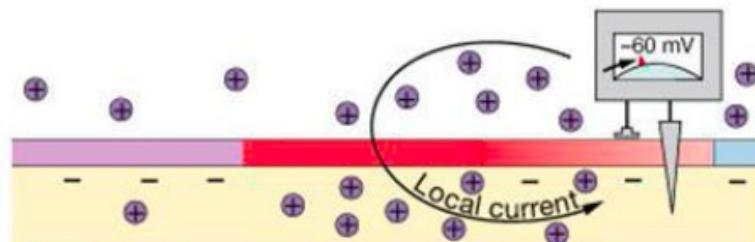
Velocità di conduzione

Assoni amielinici: frazioni di m/sec



STEP 3:

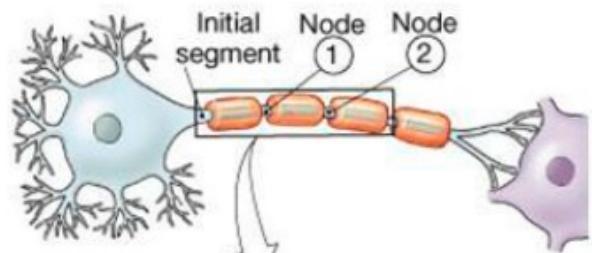
An action potential develops at this location, and the initial segment enters the refractory period.



STEP 4:

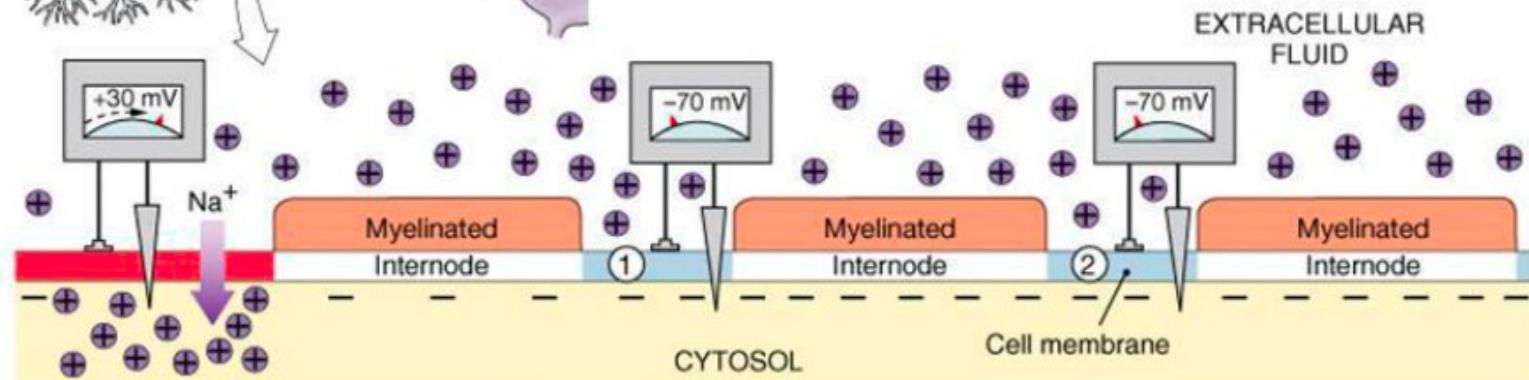
A local current depolarizes the adjacent portion of the membrane to threshold, and the cycle is repeated.

Propagazione di un potenziale d'azione lungo un assone mielinizzato

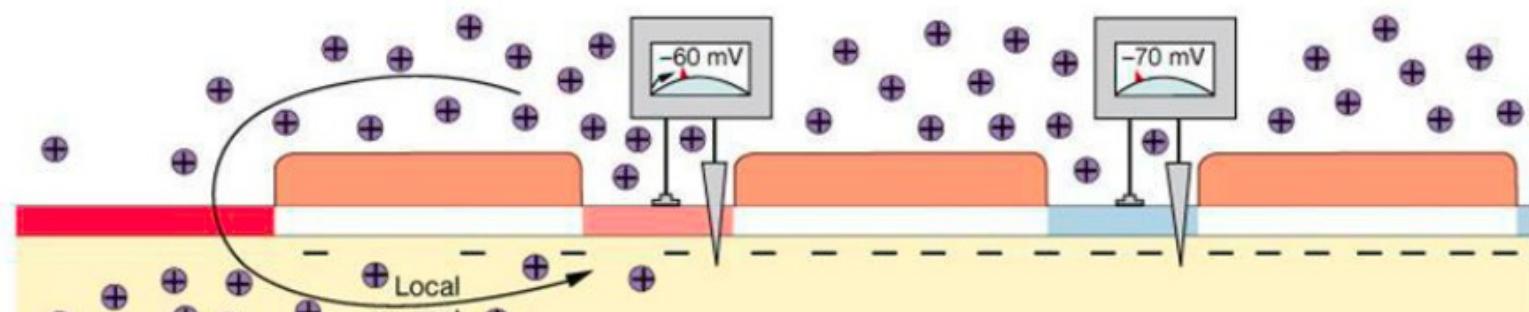


Velocità di conduzione

Assoni mielinici: fino a 120 m/sec



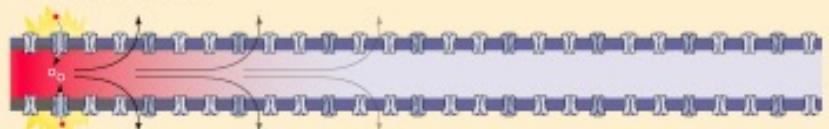
STEP 1: Action potential at initial segment



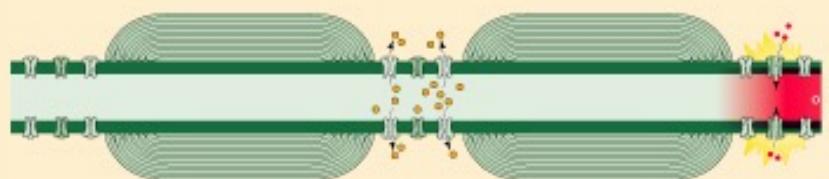
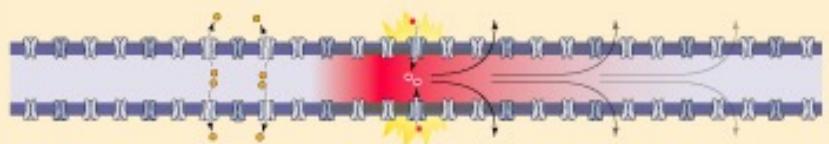
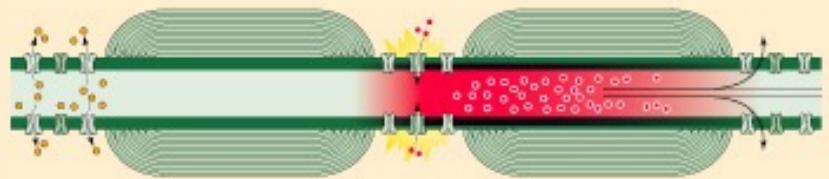
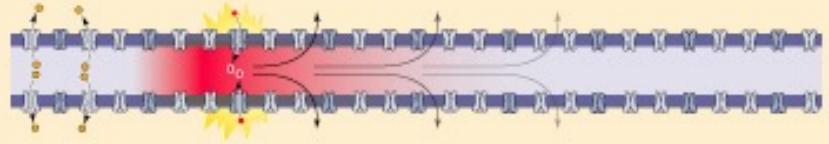
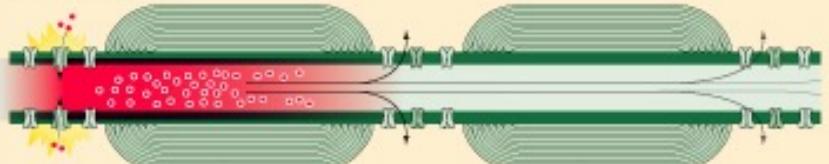
STEP 2: Depolarization to threshold at node 1

Differenza di conduzione di un potenziale d'azione lungo un assone amielinico e uno mielinico

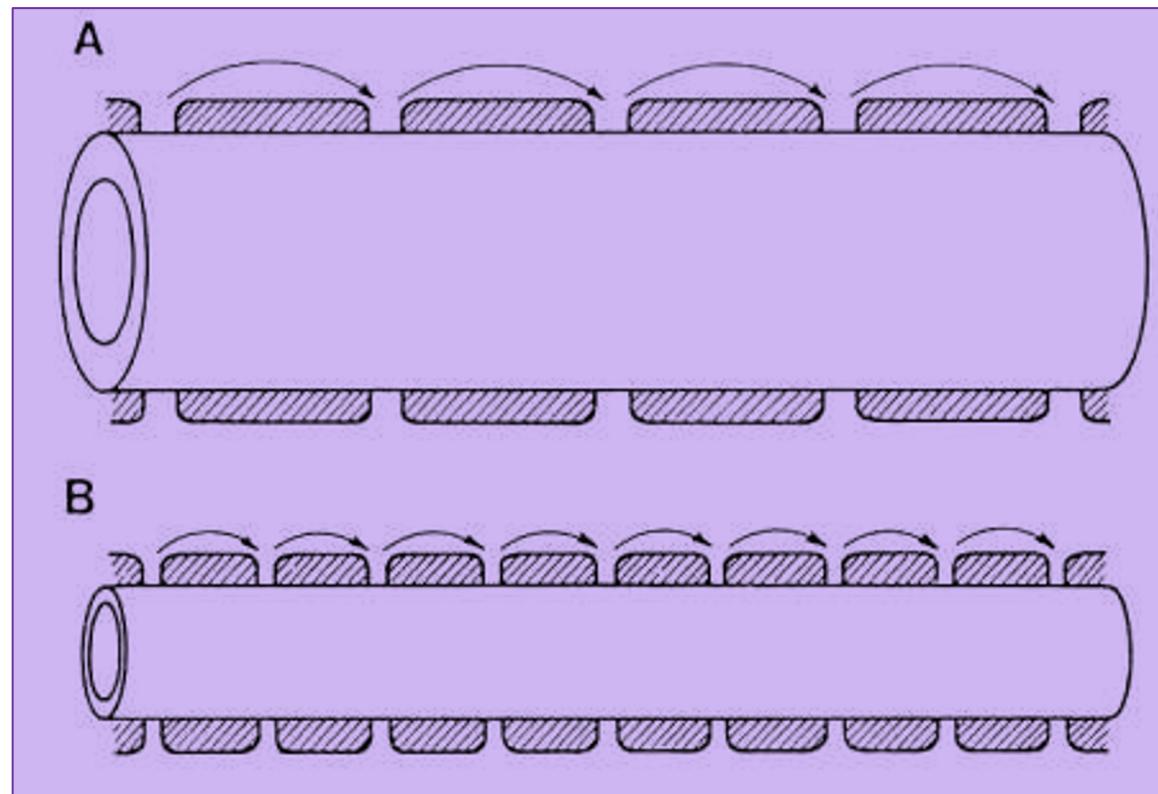
Assone amielinico



Assone mielinico



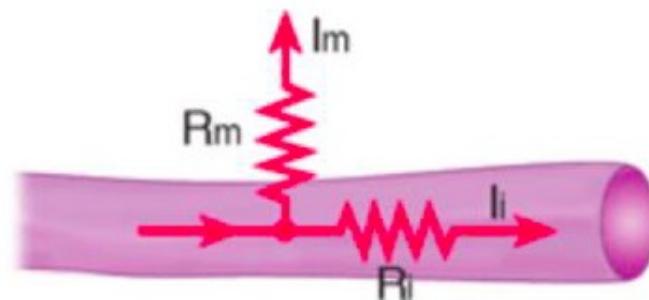
Il diametro influenza la velocità di conduzione anche tra assoni mielinizzati



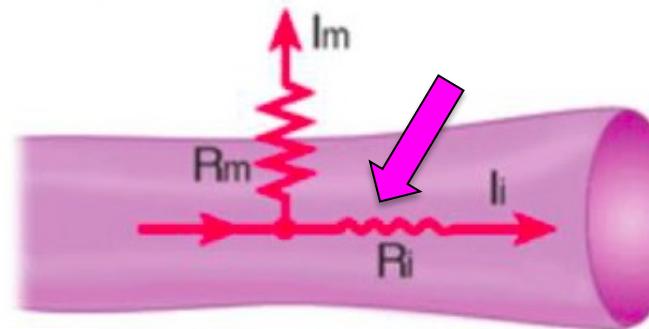
- La velocità di propagazione dipende dal numero di nodi che il potenziale d'azione deve «saltare»
- Le fibre con diametro maggiore presentano un numero minore di nodi e, quindi, conducono più rapidamente

Riassumendo

Confronto fra le velocità di conduzione dei vari tipi di assoni

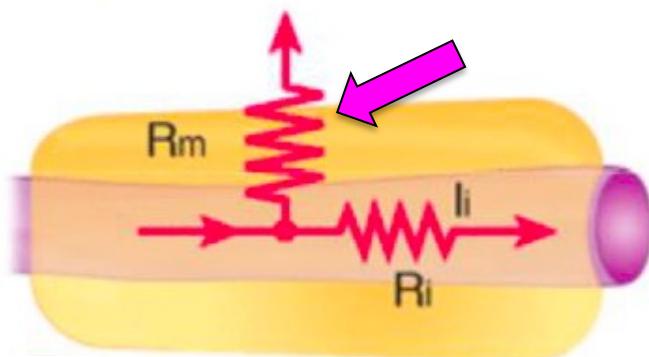


Assone normale (20 μm)



Assone di grande diametro

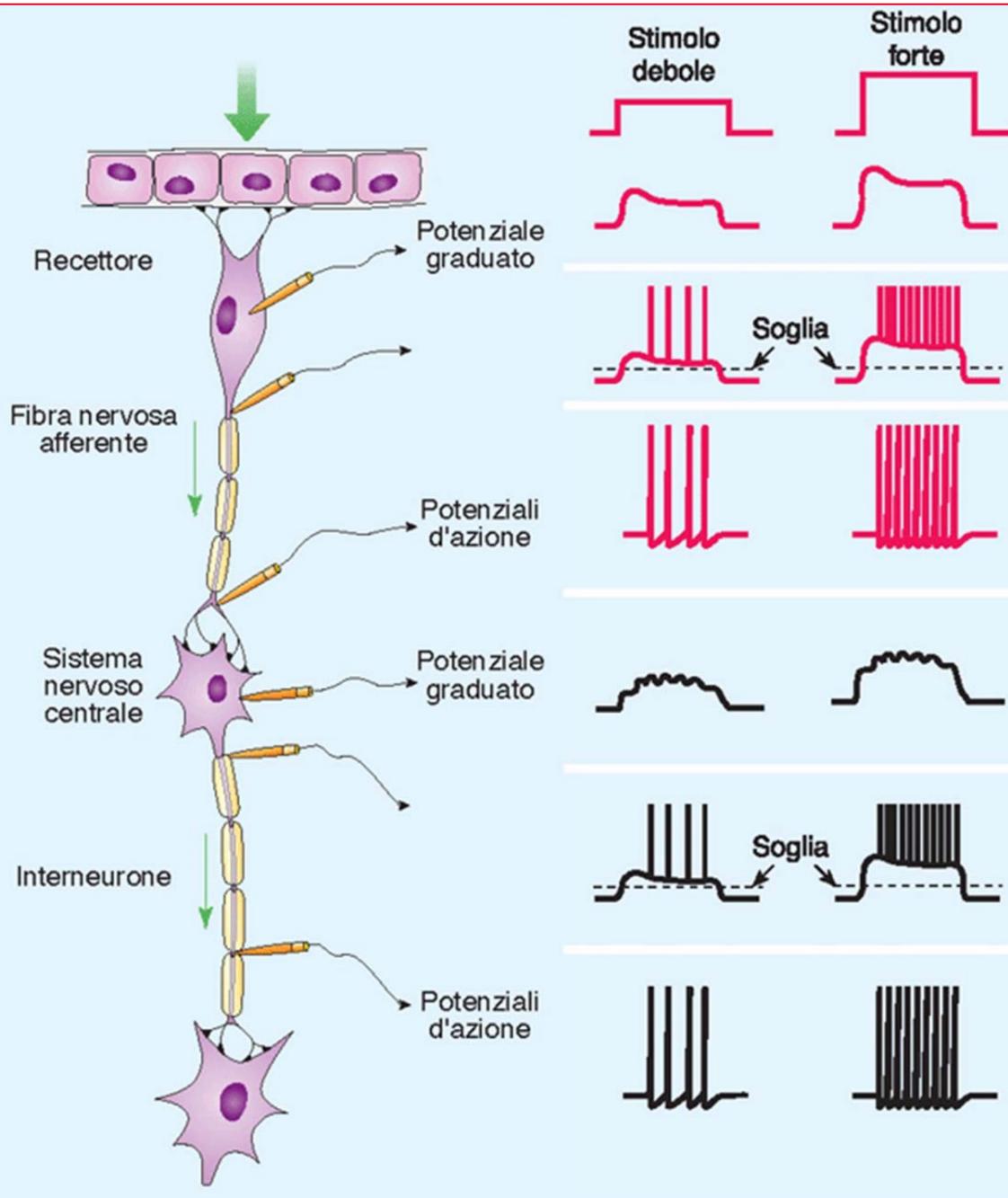
R_i diminuisce e la λ aumenta



Assone con guaina mielinica

R_m aumenta e la λ aumenta

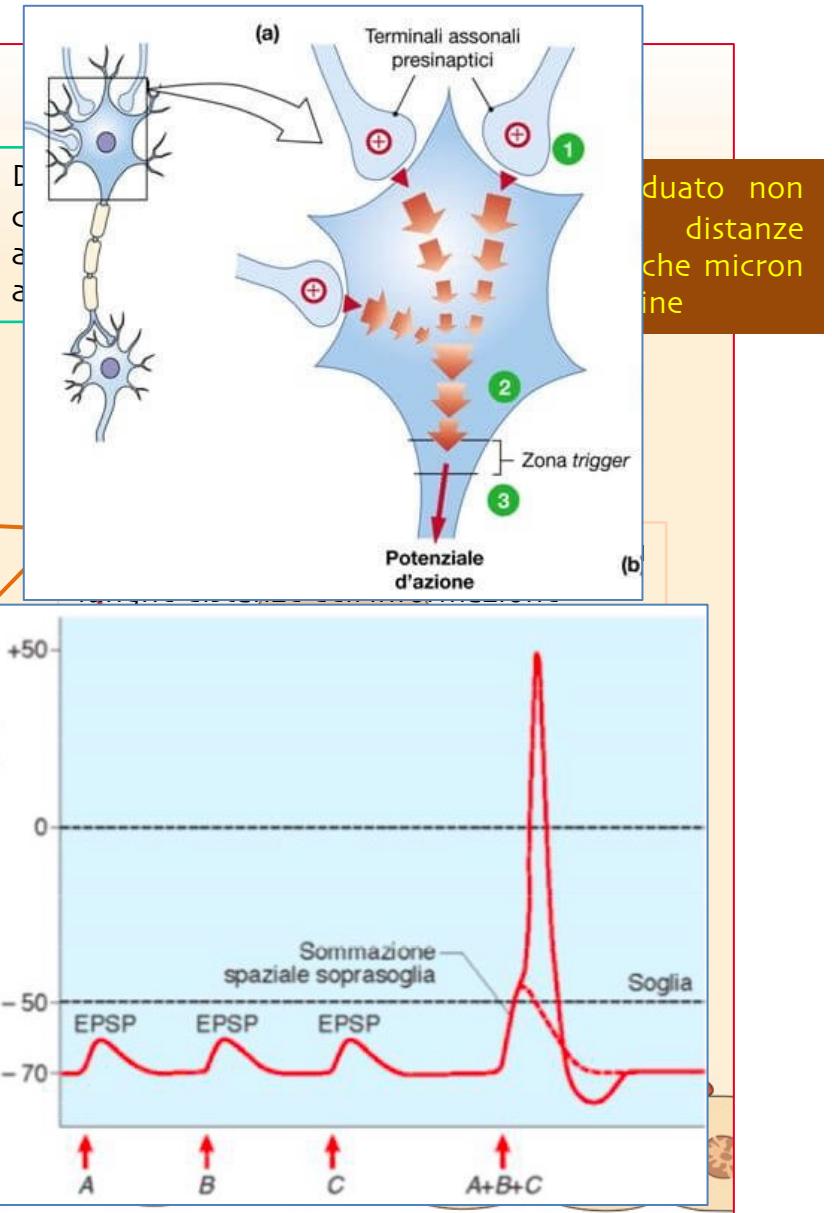
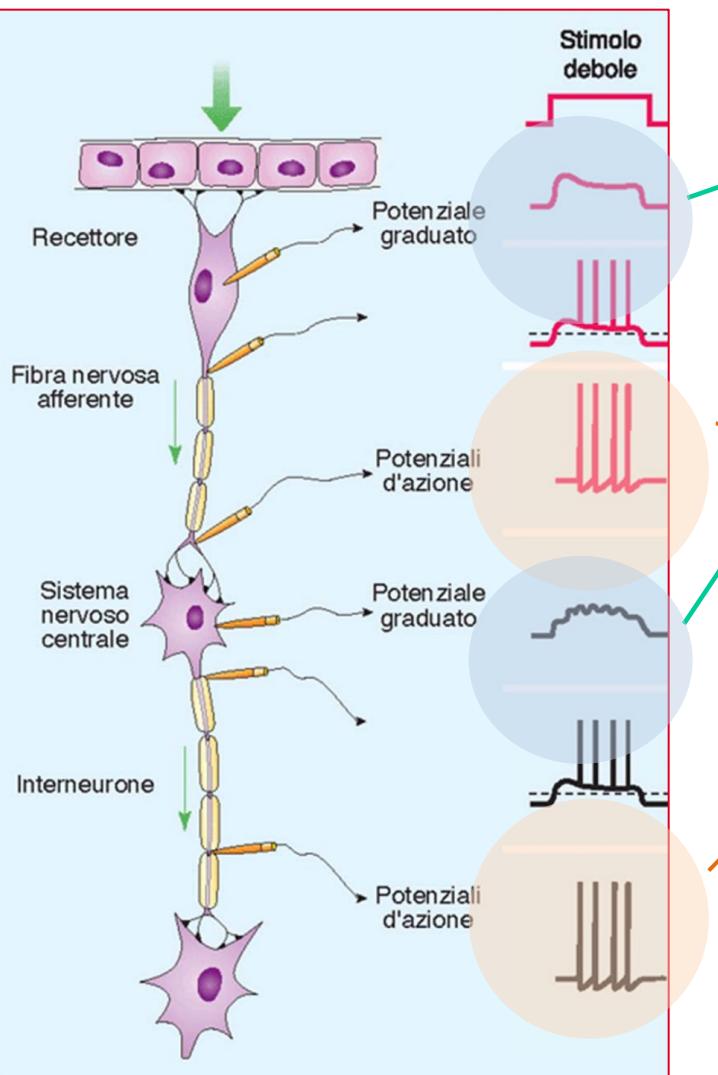
$$V_x = V_0 e^{\frac{-x}{\lambda}}$$
$$\lambda = \sqrt{\frac{R_m}{R_i + R_e}}$$



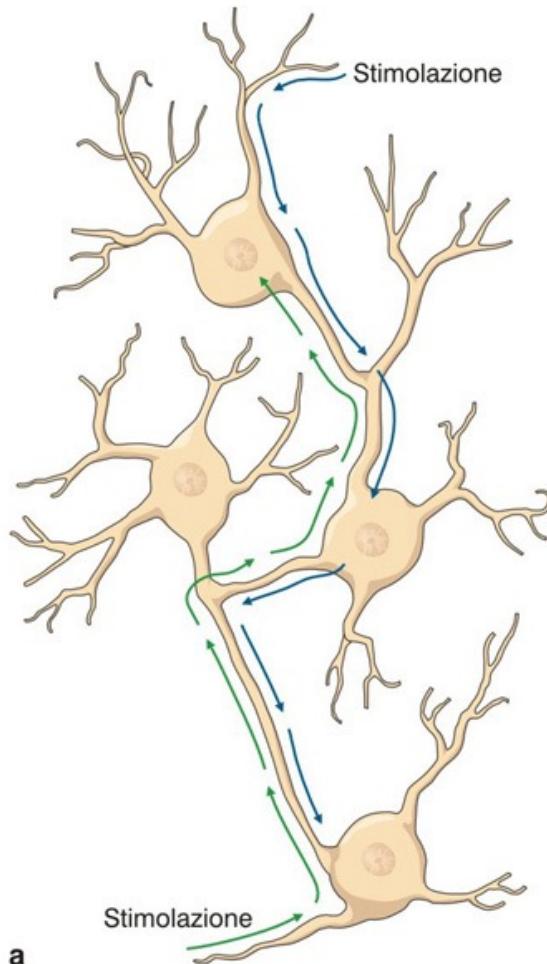
Come si propagano i segnali elettrici lungo un circuito neuronale?

La trasmissione di un segnale in un circuito neuronale avviene attraverso l'alternanza di potenziali elettrici graduali e potenziali elettrici tutto-o-nulla

Come si propagano i segnali elettrici lungo un circuito neuronale?

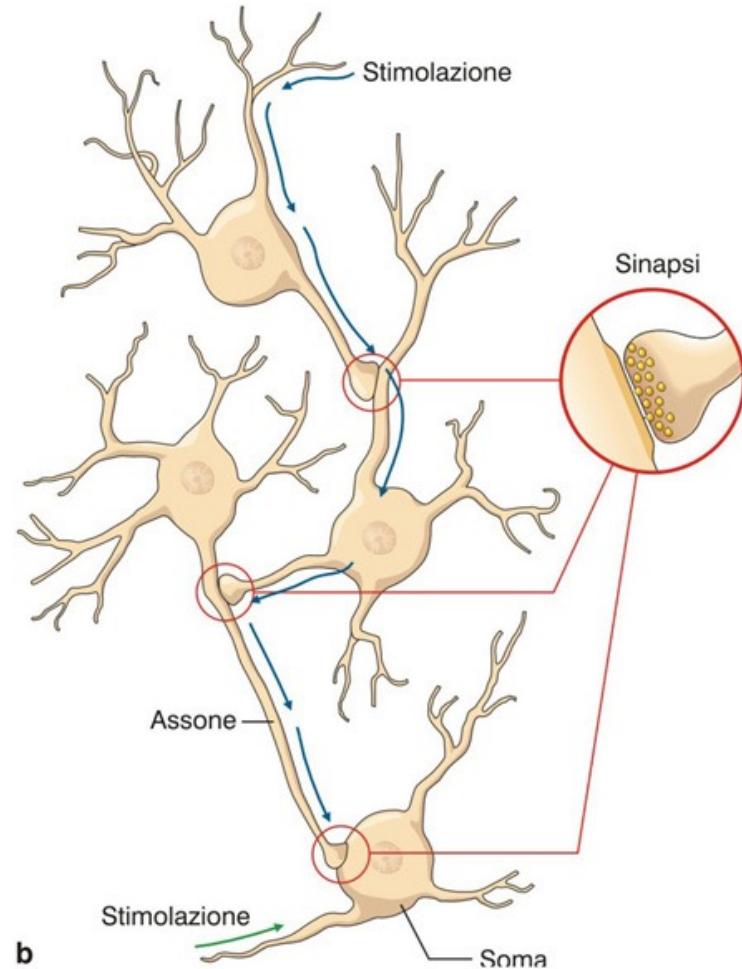


Teoria Reticolare:
cellule nervose unite da ponti protoplasmatici



a

Teoria Neuronale:
cellule nervose sono morfologicamente
indipendenti, ma in comunicazione tra loro
mediante contatti specializzati (sinapsi)



b

I neuroni che costituiscono un circuito nervoso sono entità separate che comunicano tramite giunzioni specializzate

1897: Sir Charles Sherrington denomina "sinapsi" la giunzione funzionale tra due neuroni

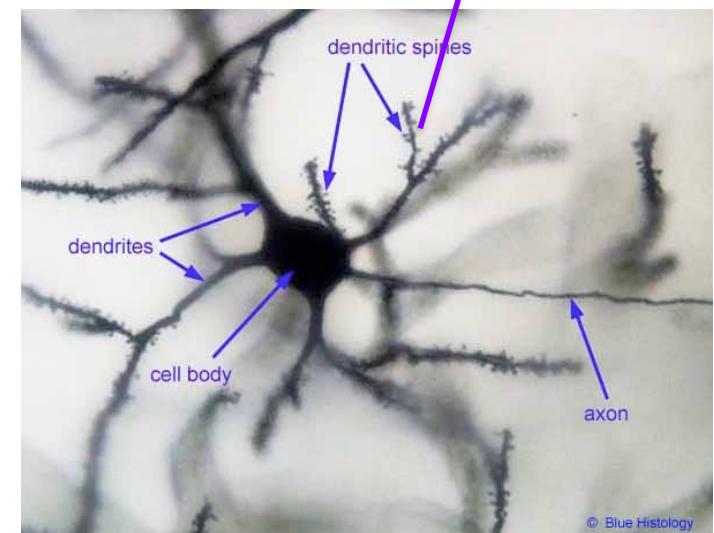
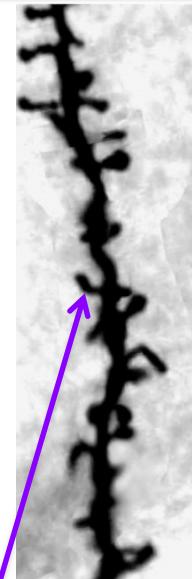


Santiago Ramón y Cajal

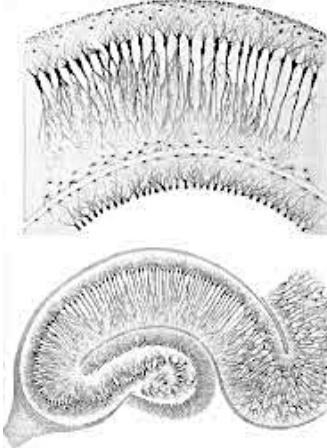
La reazione nera di
Golgi-Cajal



Camillo Golgi



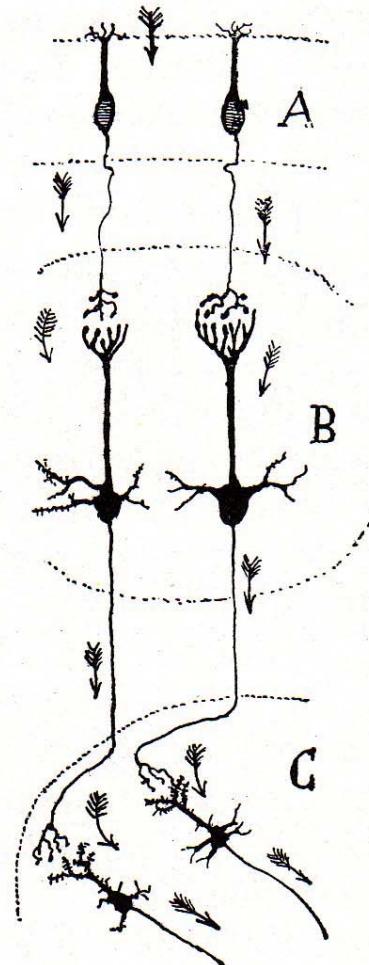
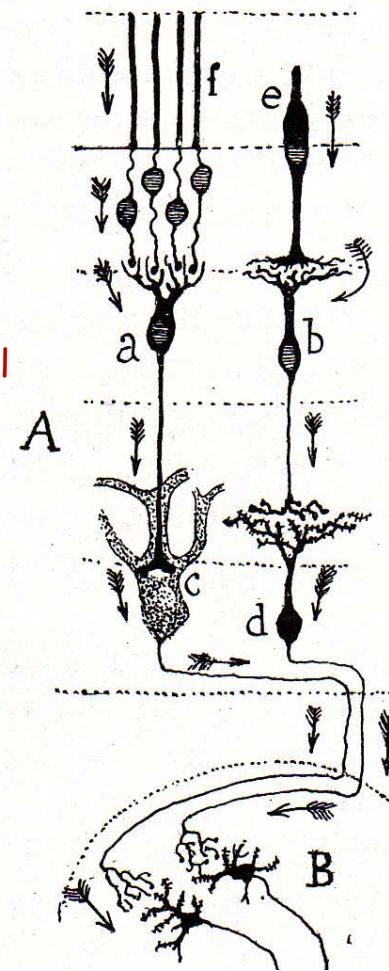
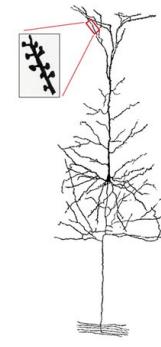
I neuroni che costituiscono un circuito nervoso sono entità separate che comunicano tramite giunzioni specializzate



Camillo Golgi



Santiago Ramòn y Cajal

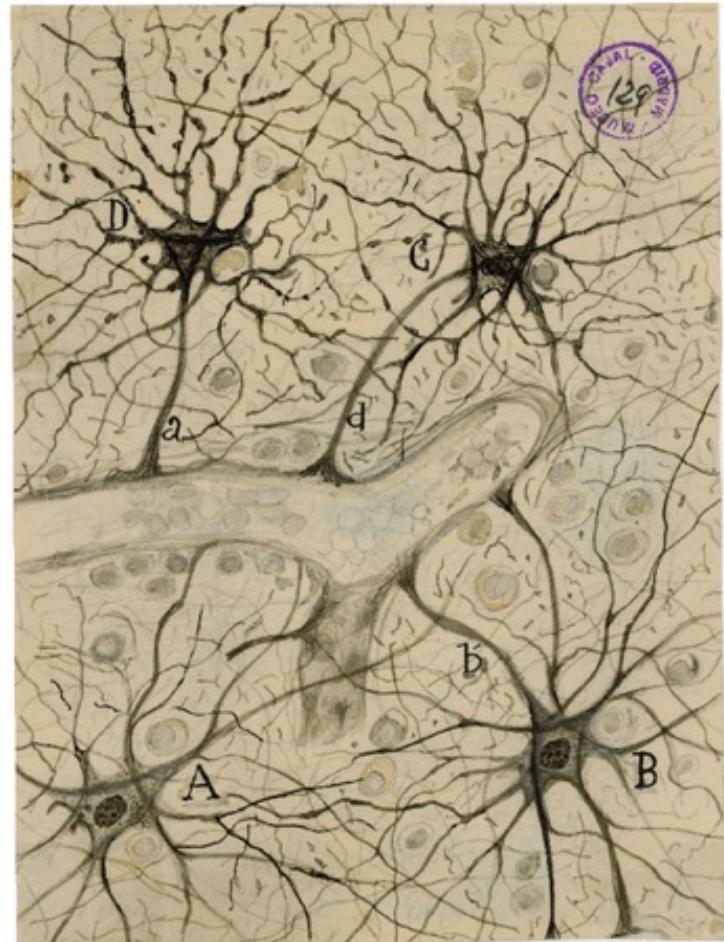


...e l'impulso viaggia unidirezionalmente

Cajal ipotizzò che la struttura del sistema nervoso fosse molto più complessa di quello che si osservava con la reazione nera



Gustav Retzius (corteccia fetale umana)



S. Ramon y Cajal (astrociti perivascolari)

Le prime «immagini» degli astrocyti umani