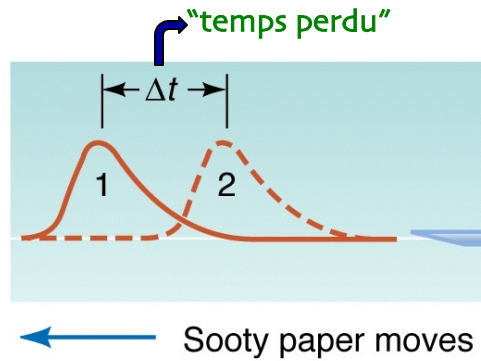
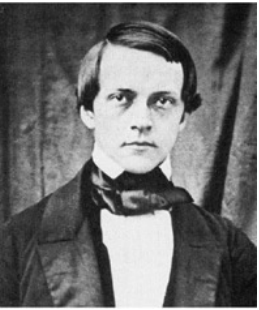


# Velocità di propagazione di un potenziale d'azione



Chimografo/miografo

Lever moves when muscle contracts

Pivot point

Muscle

Δd

S<sub>1</sub>

S<sub>2</sub>

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

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

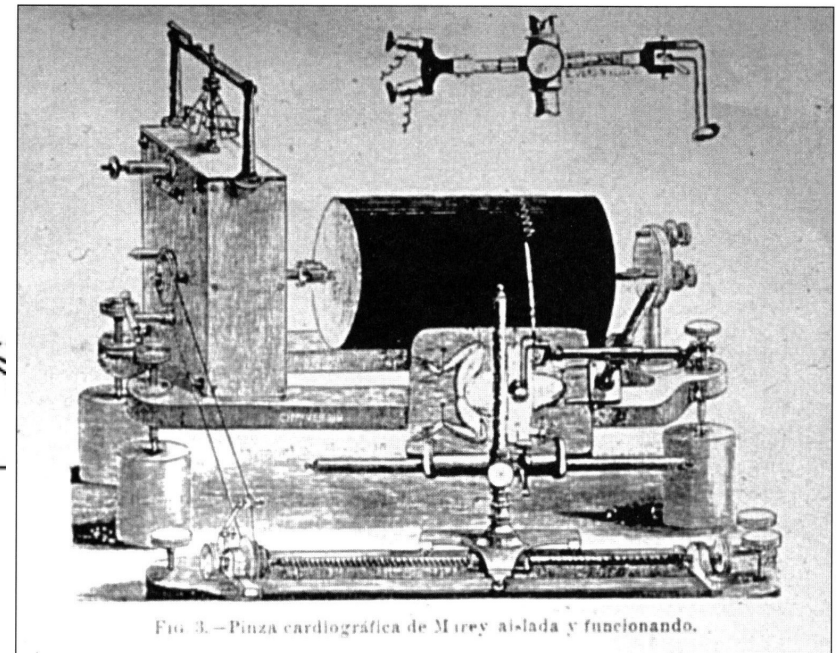
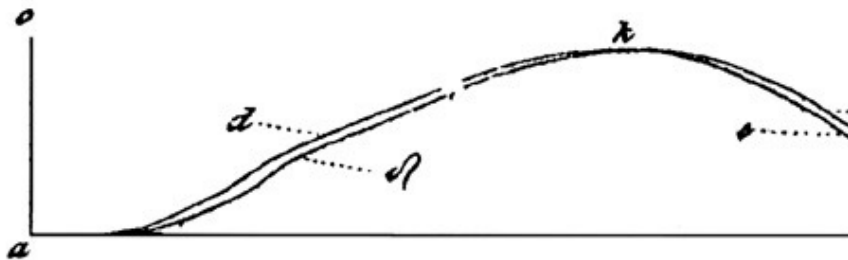
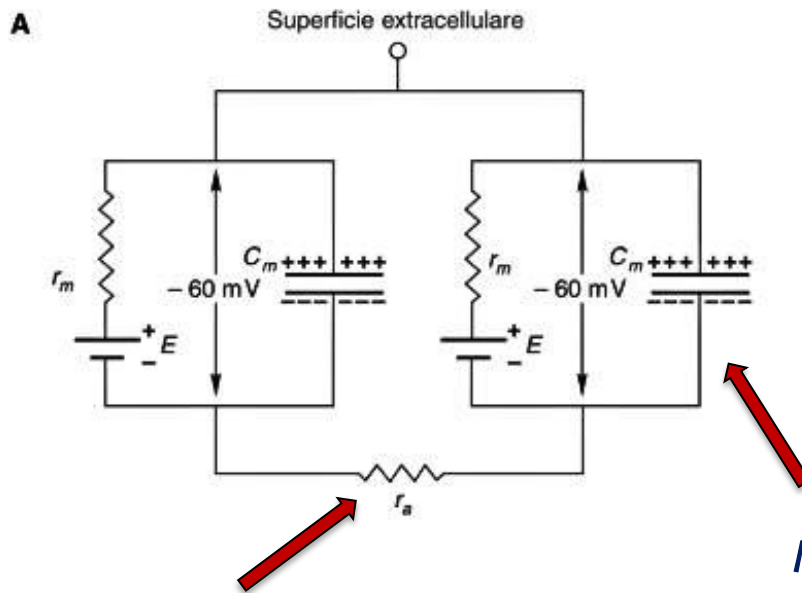


FIG. 3. — Pinza cardiográfica de Mirey aislada y funcionando.

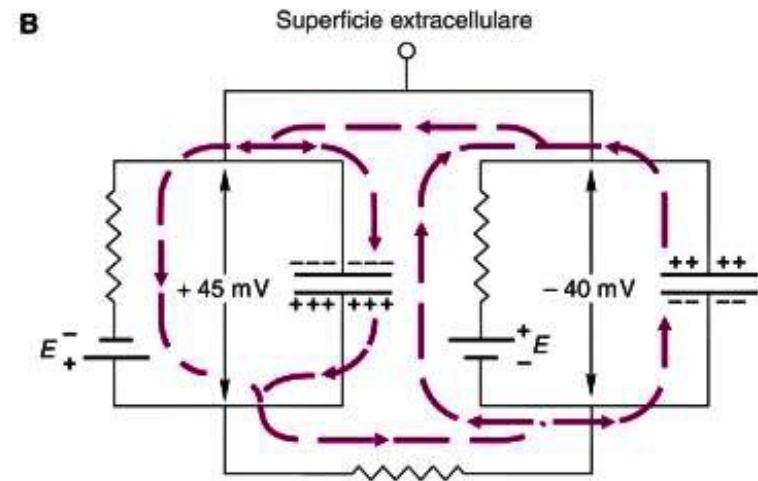
# La resistenza assiale e la capacità limitano la velocità di propagazione di un potenziale d'azione

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

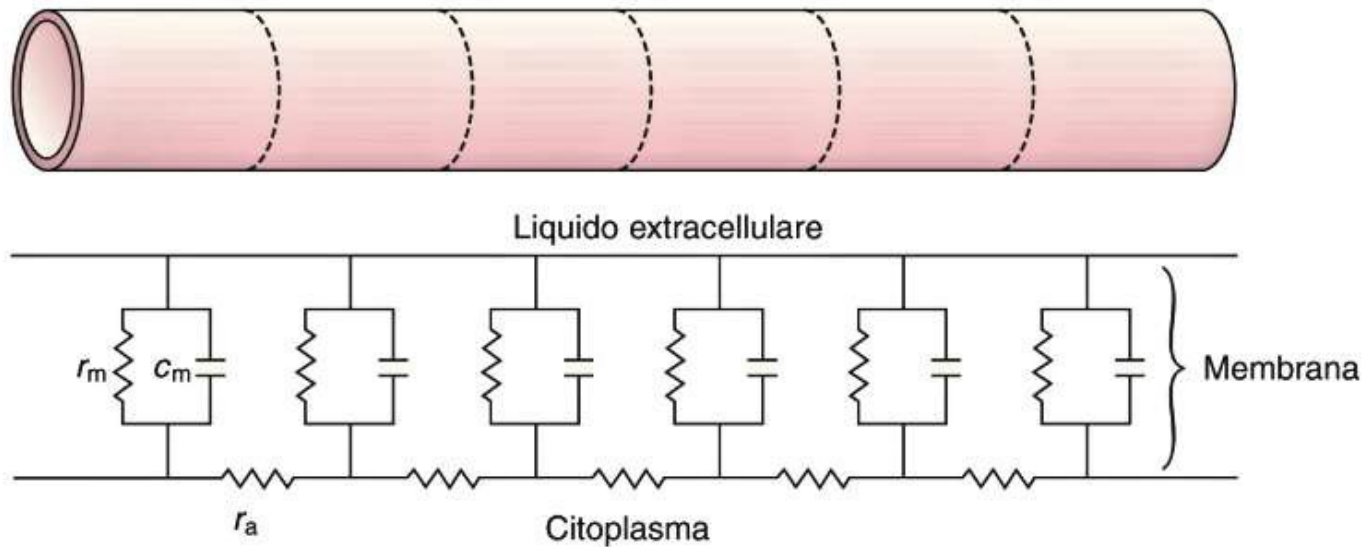


Maggiore è la  $C_m$ , maggiore dovrà essere la carica ( $Q$ ) per far variare il potenziale

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  $C_m$

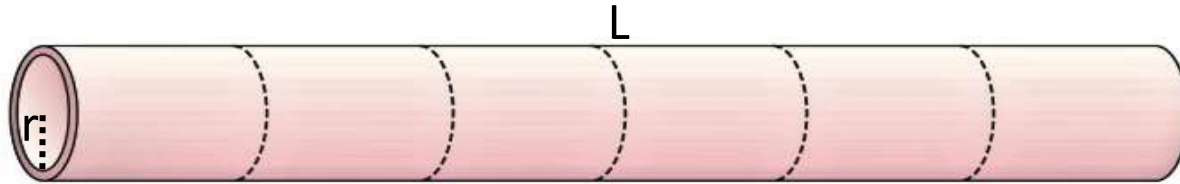
$$v \sim 1/r_a C_m$$



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  $A_s = 2\pi rL$ )

$$R_i = 1/r^2$$

(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  $R_m$

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

$$\gg r = \gg \lambda$$

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

$C_m$  **aumenta** proporzionalmente all'area della superficie

$R_m$  **diminuisce** proporzionalmente all'aumento dell'area di membrana

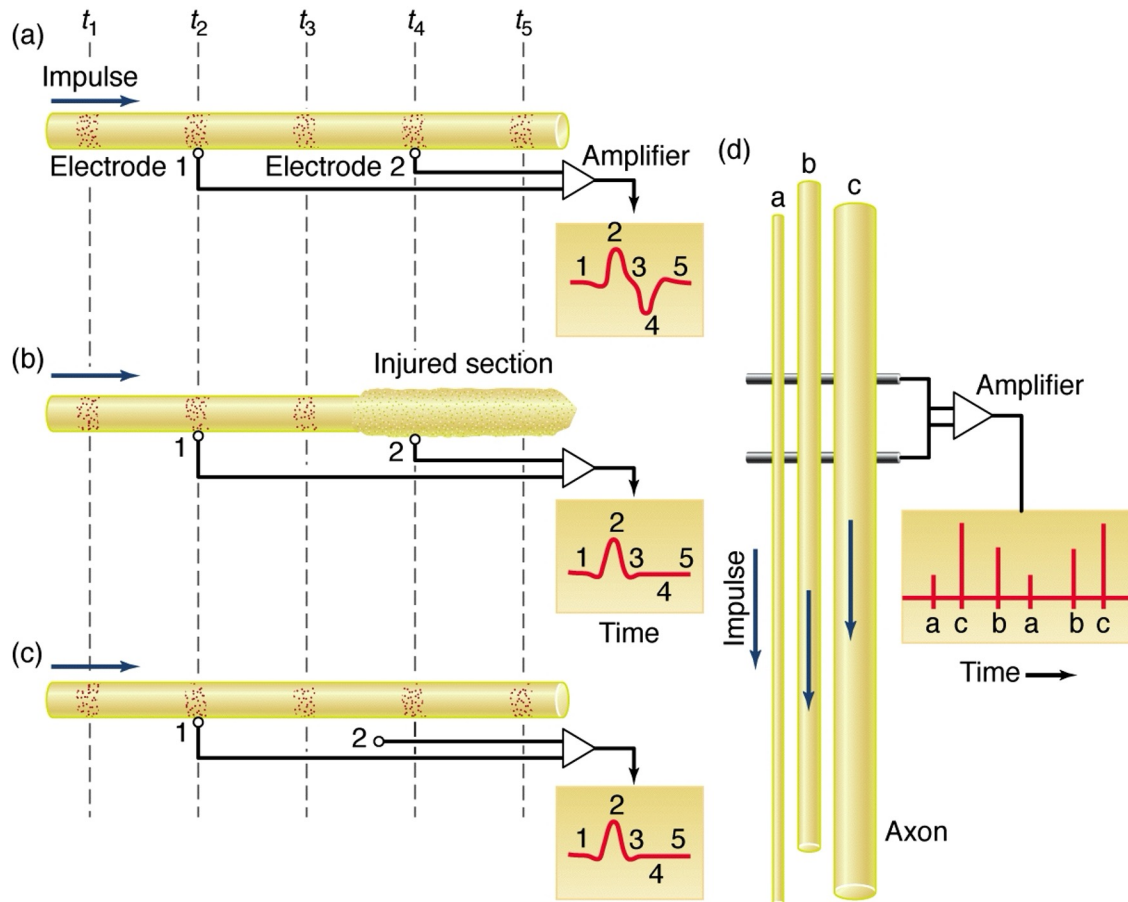


# Registrazioni extracellulari della conduzione dell'impulso

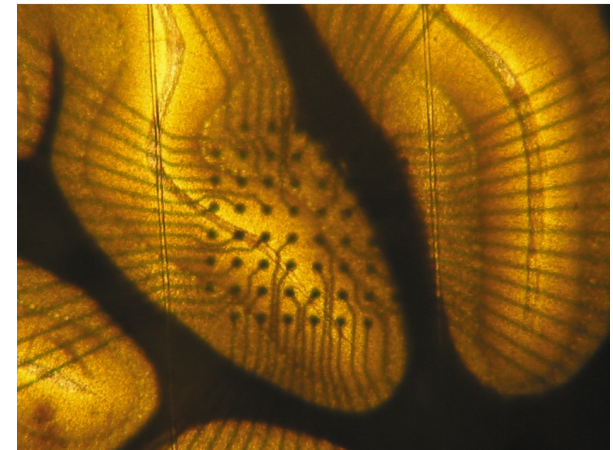
*In vivo:*

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

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



*In vitro (su fettine di preparato):*

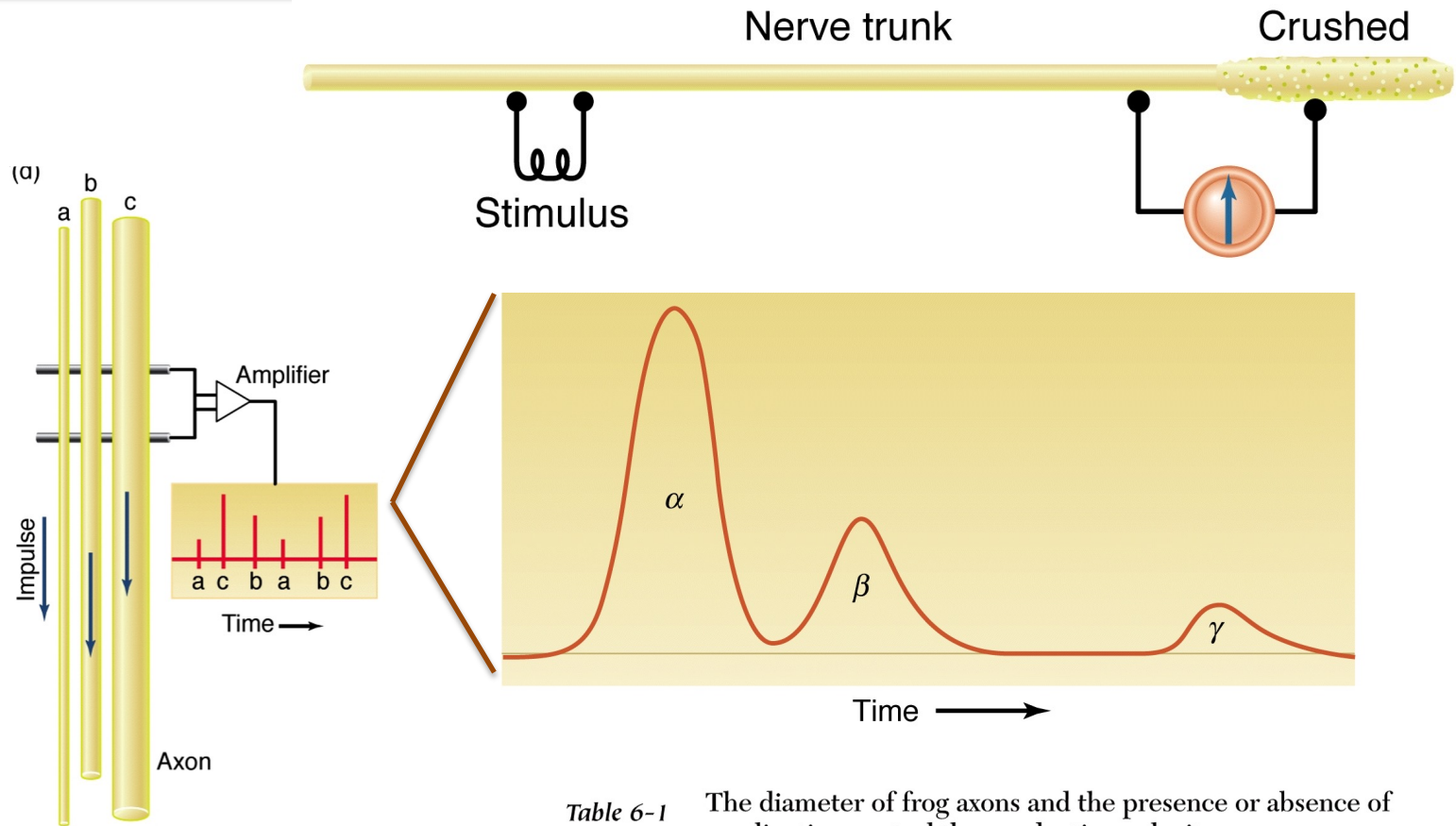


MEA: multi electrode array

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

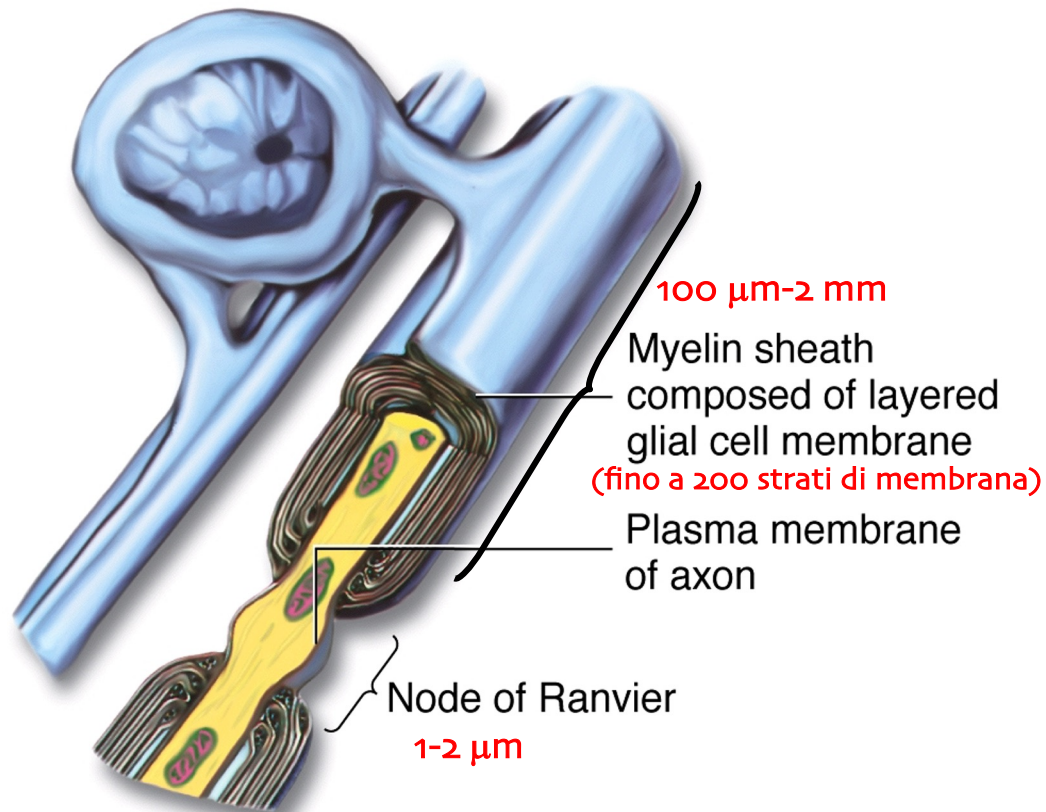
Table 6-1 The diameter of frog axons and the presence or absence of myelination control the conduction velocity.

Fiber type	Average axon diameter ( $\mu\text{m}$ )	Conduction velocity ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )
<b>Myelinated fibers</b>		
A $\alpha$	18.5	42
A $\beta$	14.0	25
A $\gamma$	11.0	17
B	Approximately 3.0	4.2
<b>Unmyelinated fibers</b>		
C	2.5	0.4–0.5

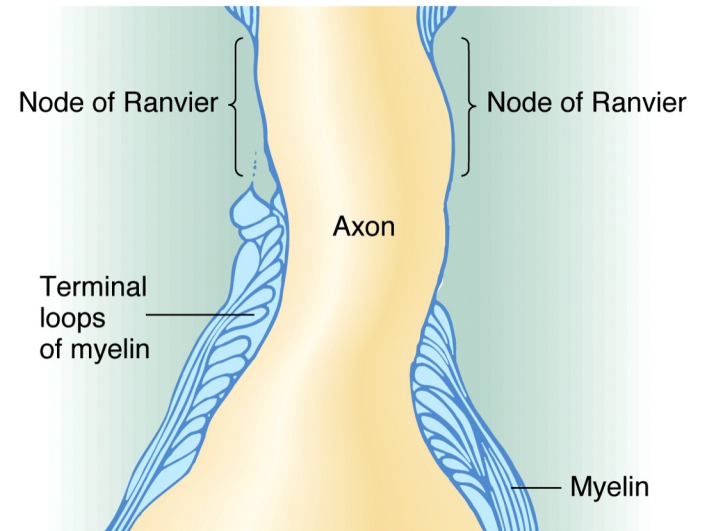
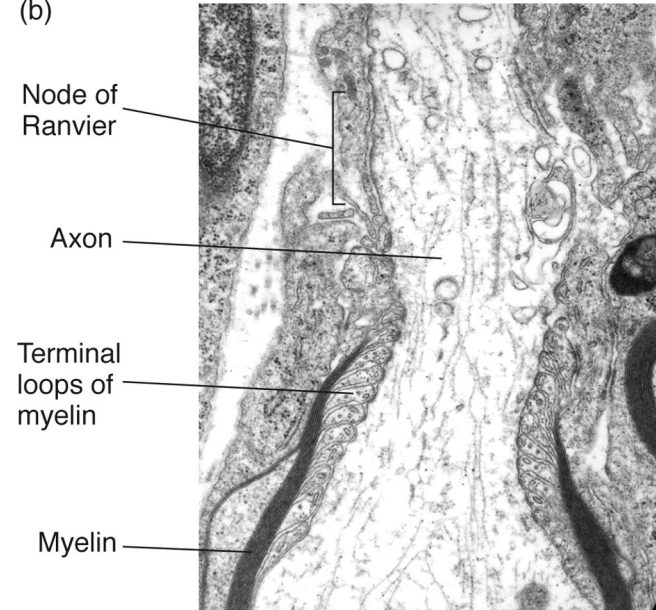
Source: Erlanger and Gasser, 1937.

# 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

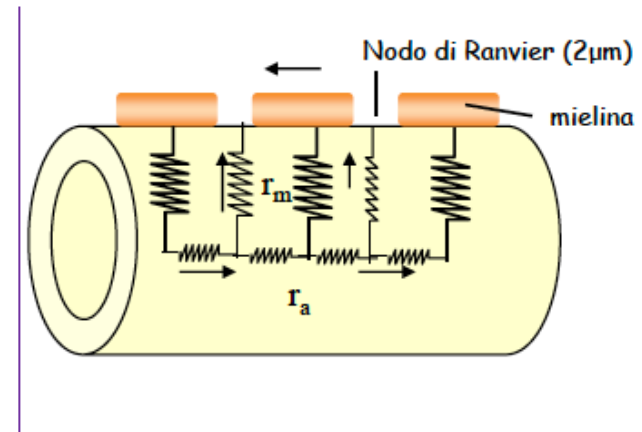
° presenza di una guaina mielinica

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

Fiber type	Average axon diameter ( $\mu\text{m}$ )	Conduction velocity ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )
<b>Myelinated fibers</b>		
A $\alpha$	18.5	42
A $\beta$	14.0	25
A $\gamma$	11.0	17
B	Approximately 3.0	4.2
<b>Unmyelinated fibers</b>		
C	2.5	0.4–0.5

Source: Erlanger and Gasser, 1937.

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

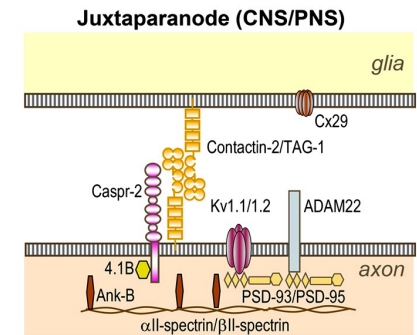
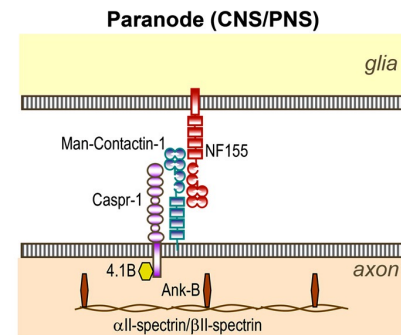
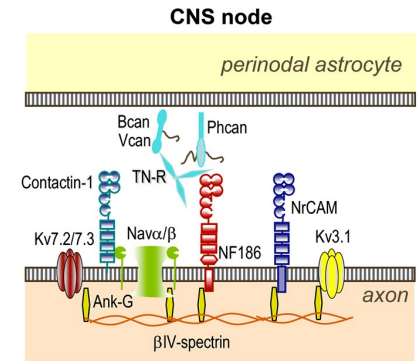
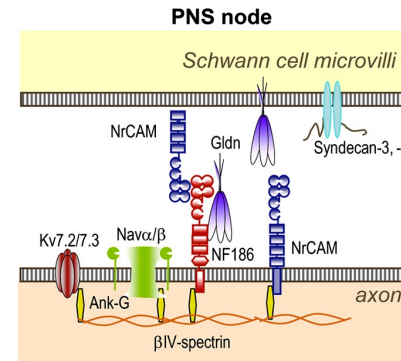
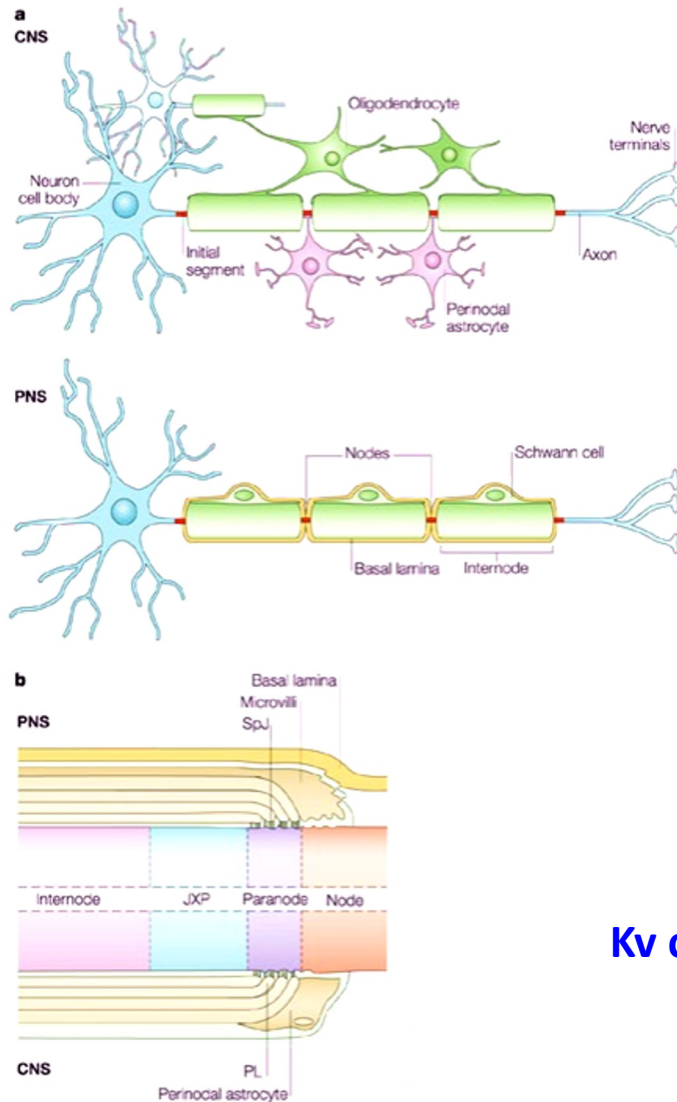


**Aumento della  $\lambda \rightarrow$  aumento dell'efficienza di diffusione longitudinale della corrente**

**Riduzione di  $C_m \rightarrow$  riduzione della forza elettrostatica tra le cariche**



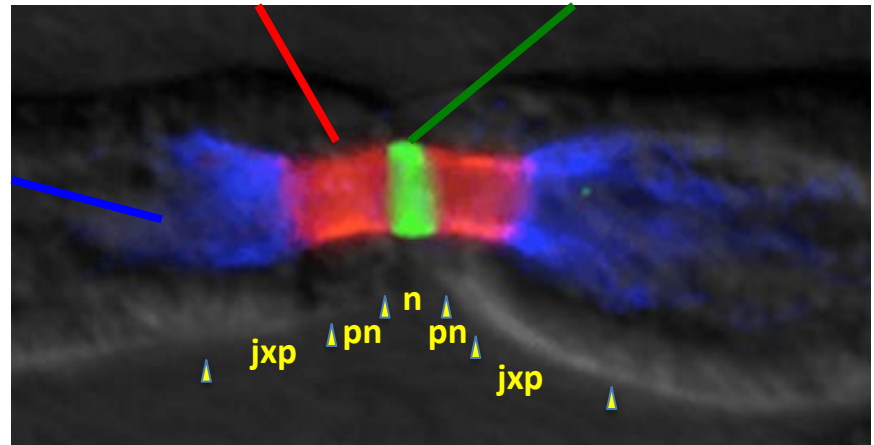
# Il nodo di Ranvier è un dominio funzionale complesso



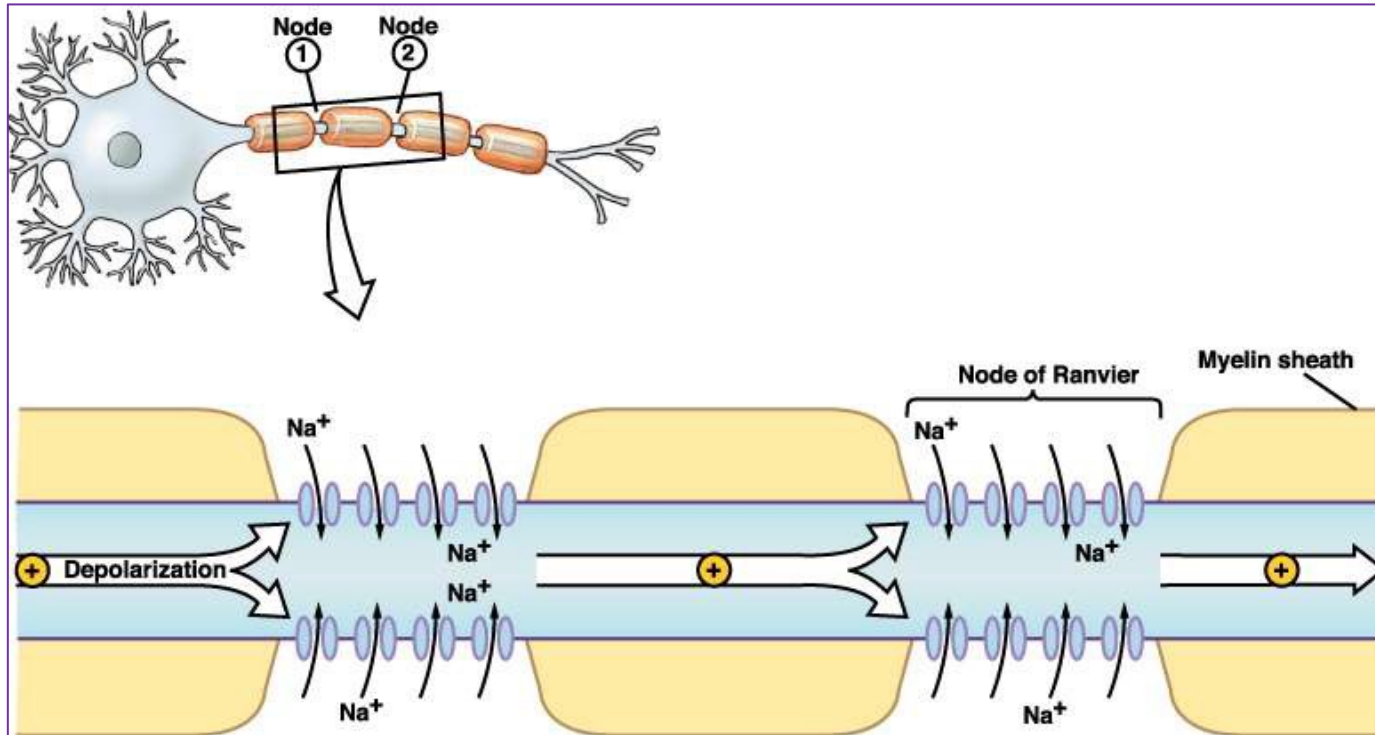
Kv channels

Casper

NaV channels

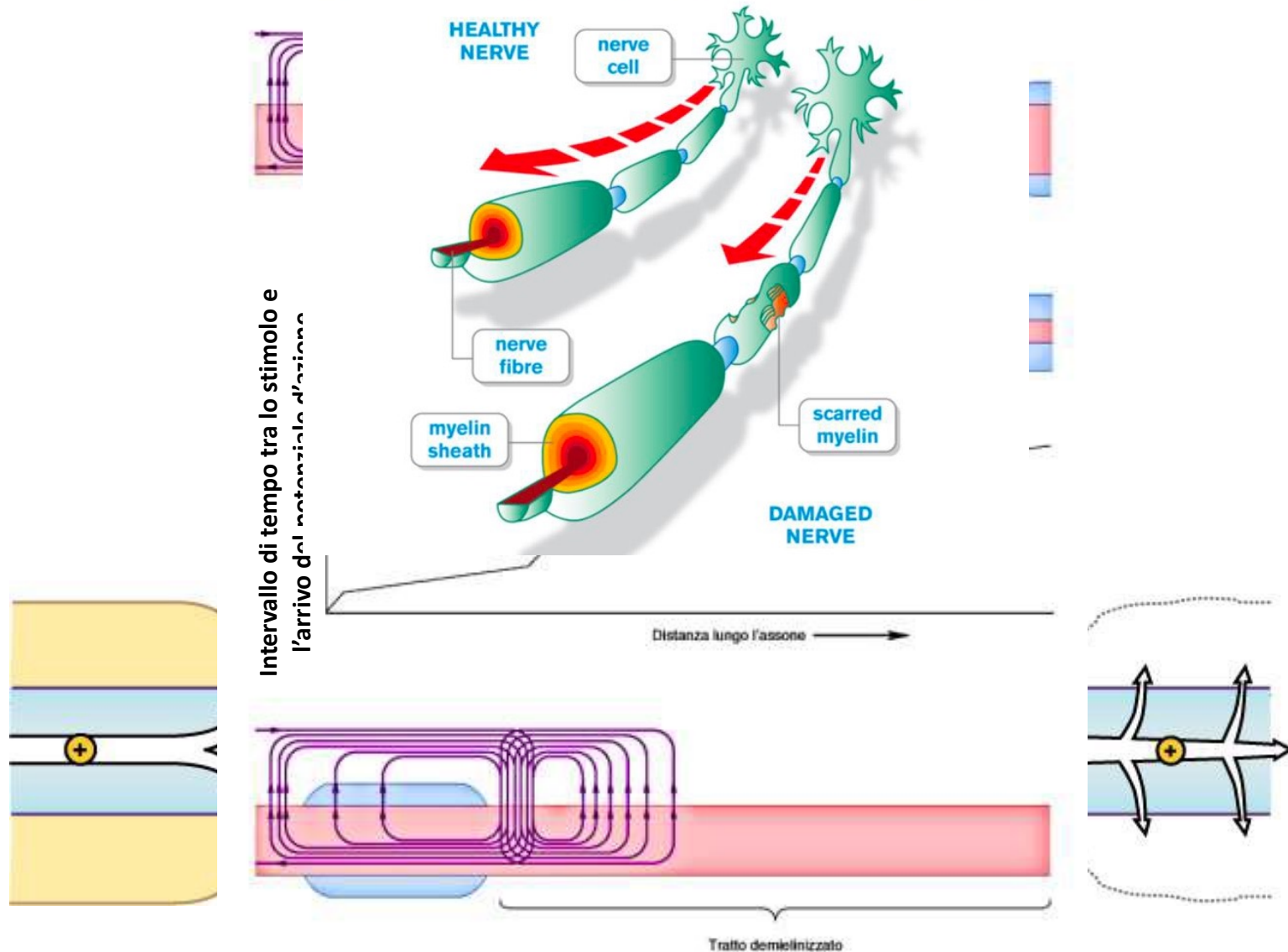


La presenza di  $\text{Na}_v$  nella zona dei nodi di Ranvier è alla base della *conduzione saltatoria*

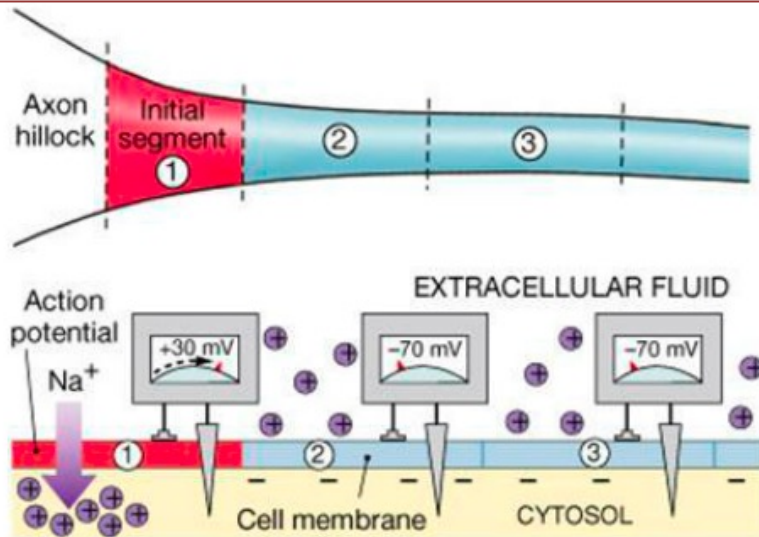




# La velocità di conduzione diminuisce nei casi di degenerazione della guaina mielinica

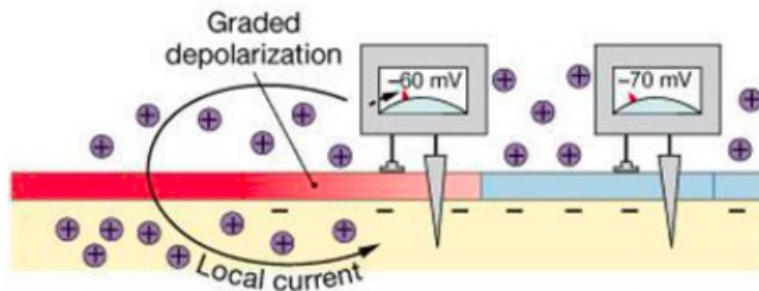


# Propagazione di un potenziale d'azione lungo un assone amielinico



## STEP 1:

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

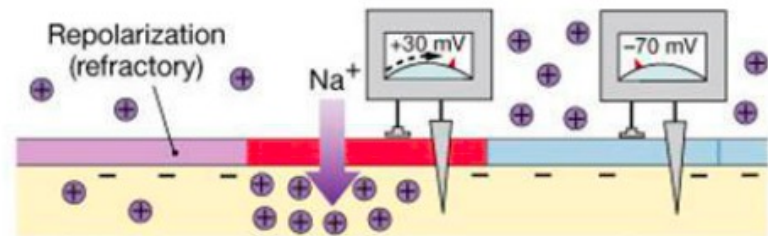


## STEP 2:

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

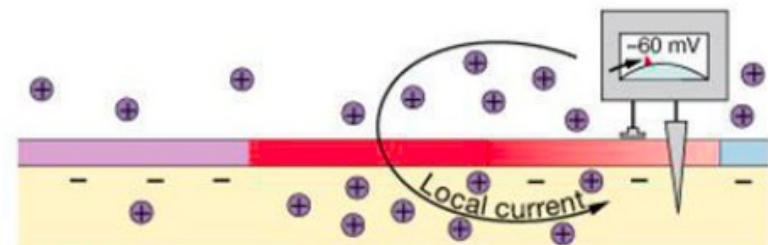
## Velocità di conduzione

Assoni amielinici: frazioni di m/sec



## STEP 3:

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



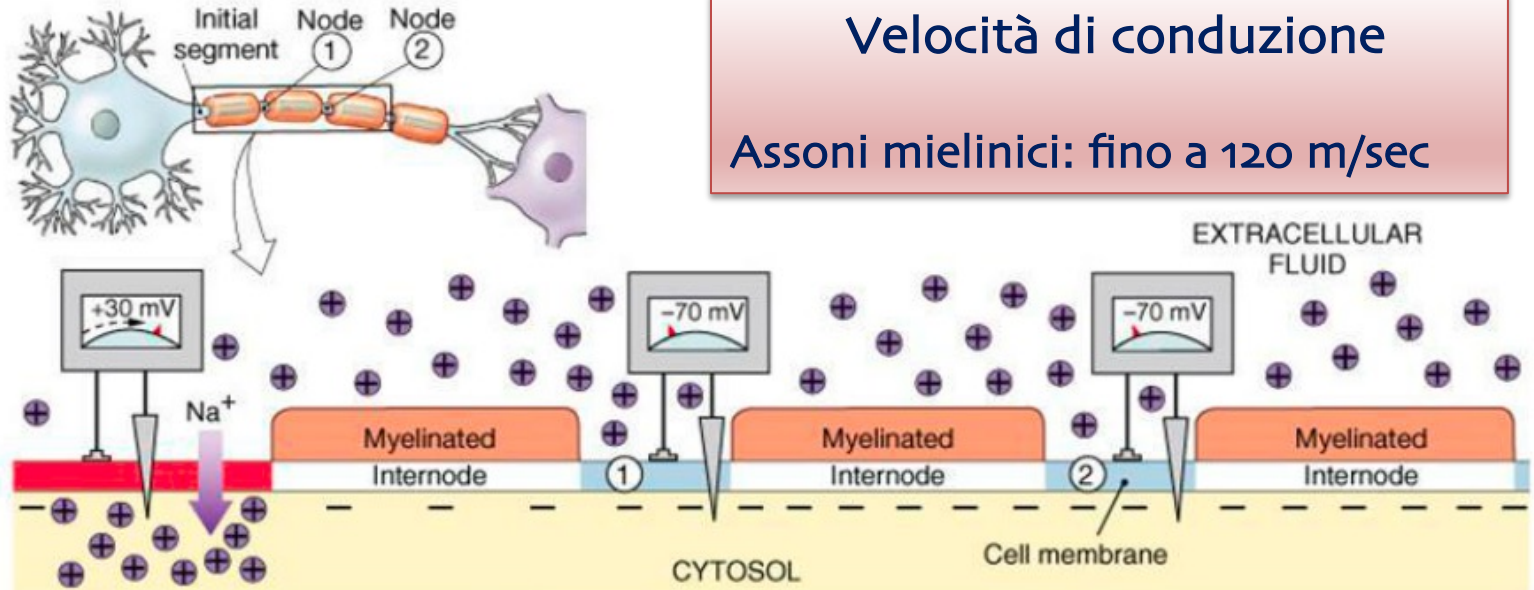
## STEP 4:

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

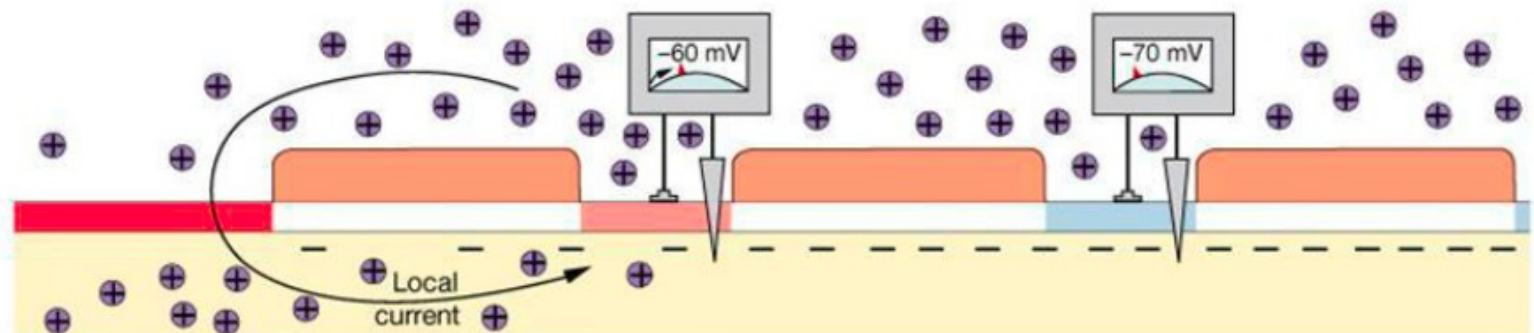
# Propagazione di un potenziale d'azione lungo un assone mielinizzato

Velocità di conduzione

Assoni mielinici: fino a 120 m/sec

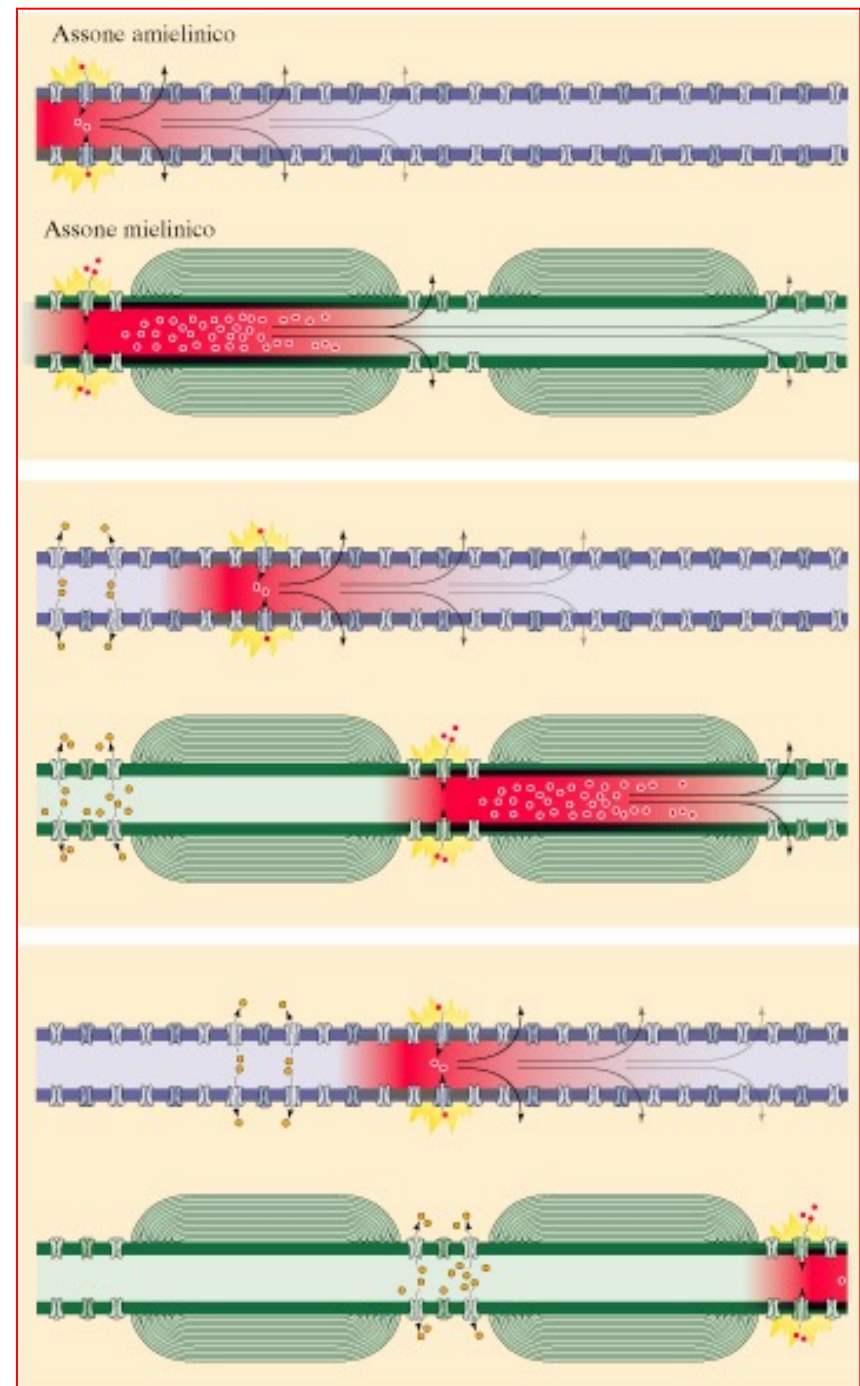


**STEP 1:** Action potential at initial segment



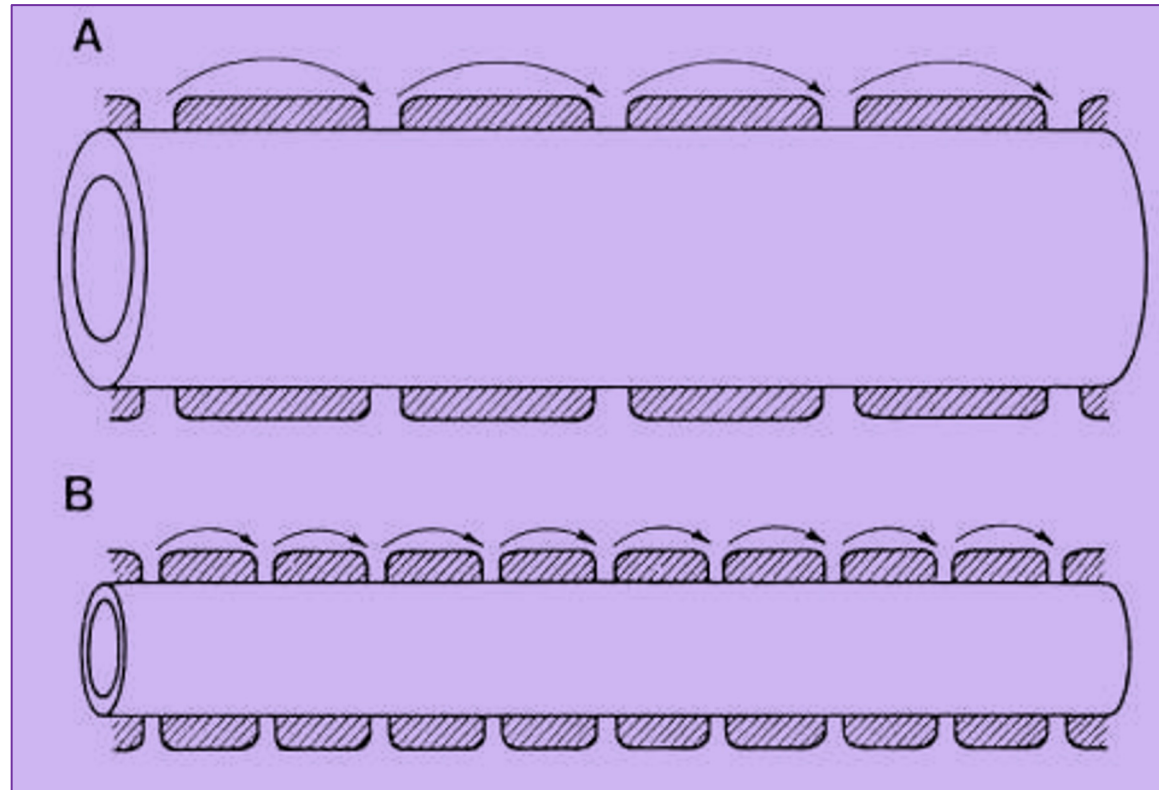
**STEP 2:** Depolarization to threshold at node 1

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





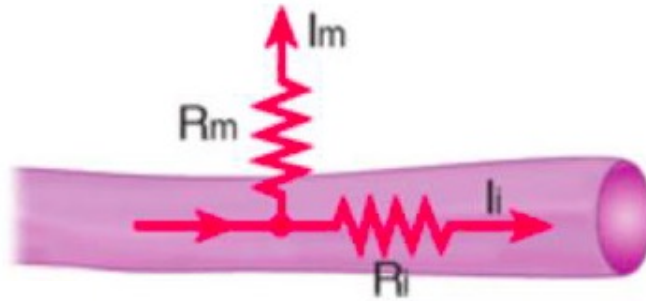
## Il diametro influenza la velocità di conduzione anche tra assoni mielinizzati



- 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

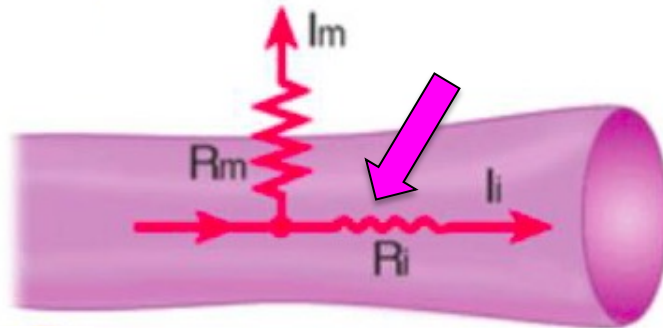
## Riassumendo

### Confronto fra le velocità di conduzione dei vari tipi di assoni



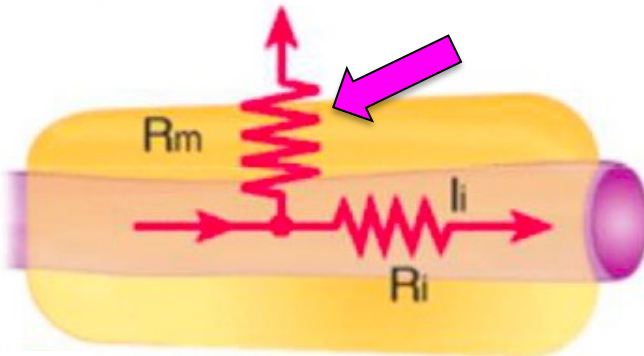
Assone normale (20  $\mu\text{m}$ )

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



Assone di grande diametro

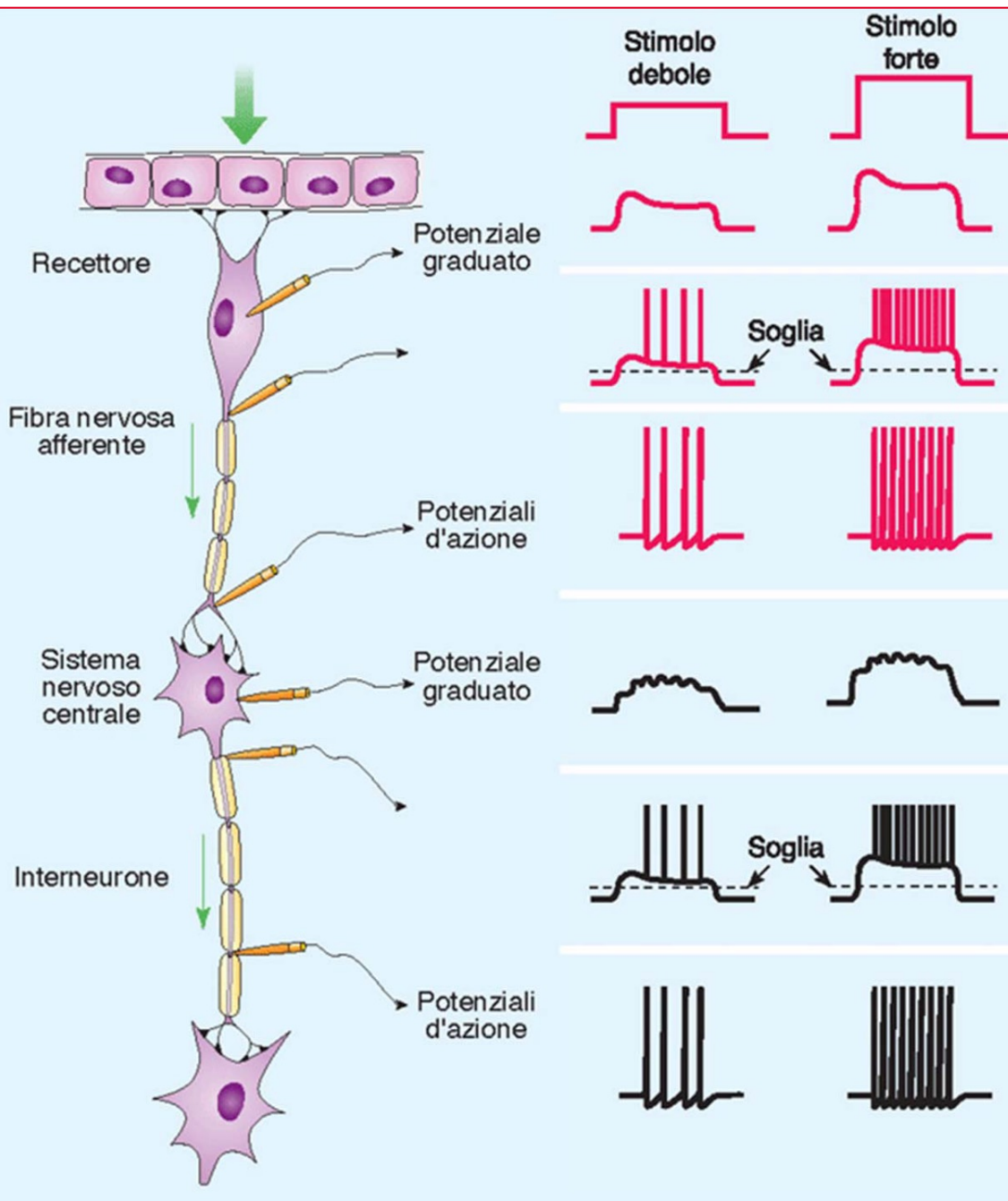
$R_i$  diminuisce e la  $\lambda$  aumenta



Assone con guaina mielinica

$R_m$  aumenta e la  $\lambda$  aumenta

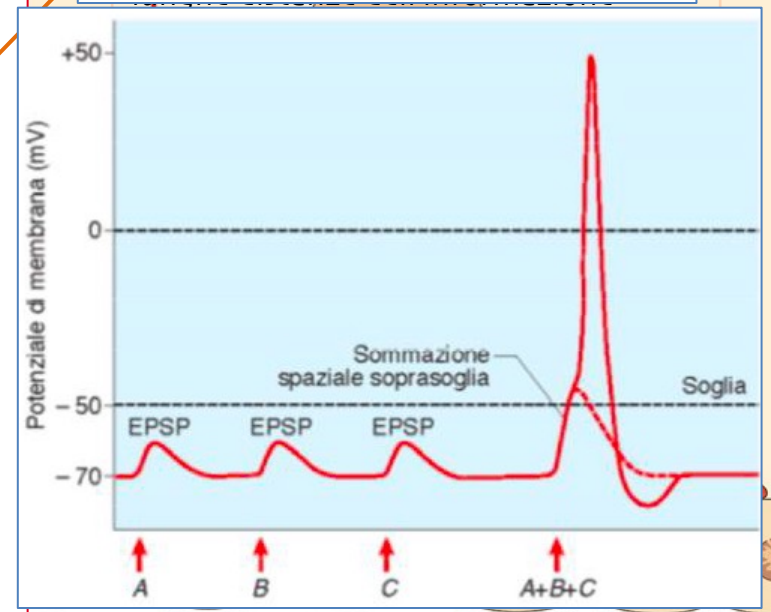
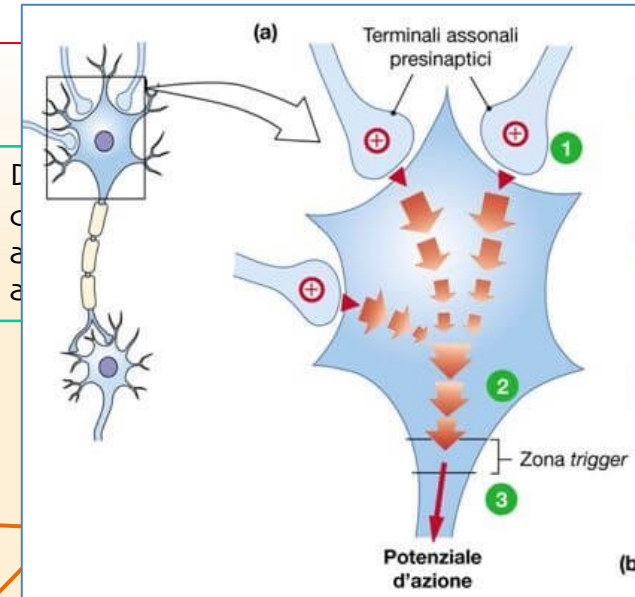
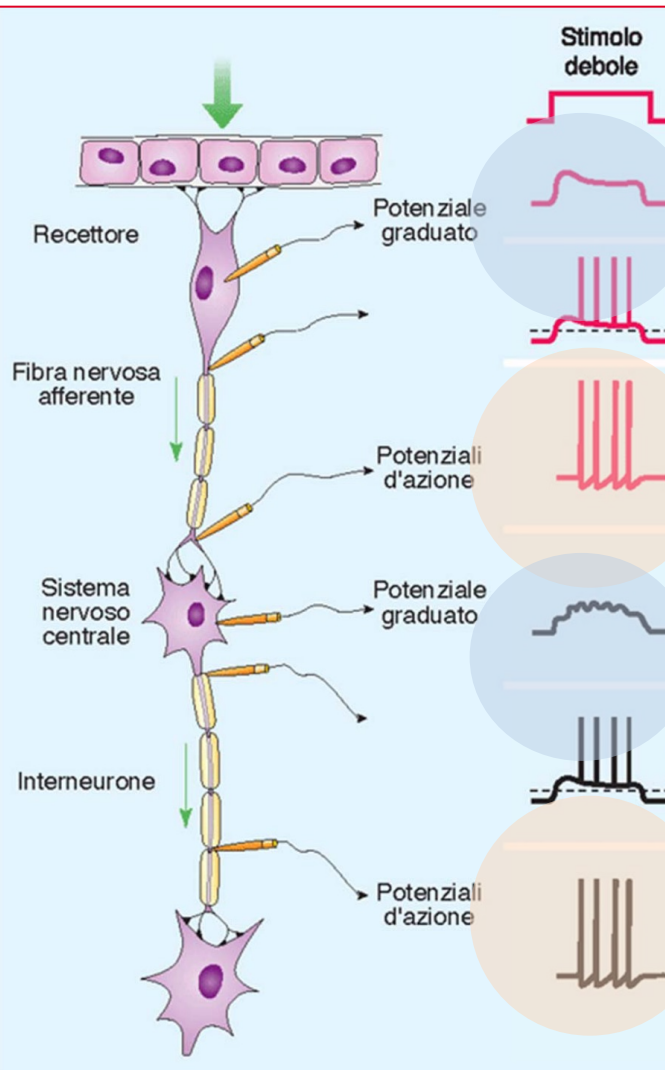




Come si propagano i segnali elettrici lungo un circuito neuronale?

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

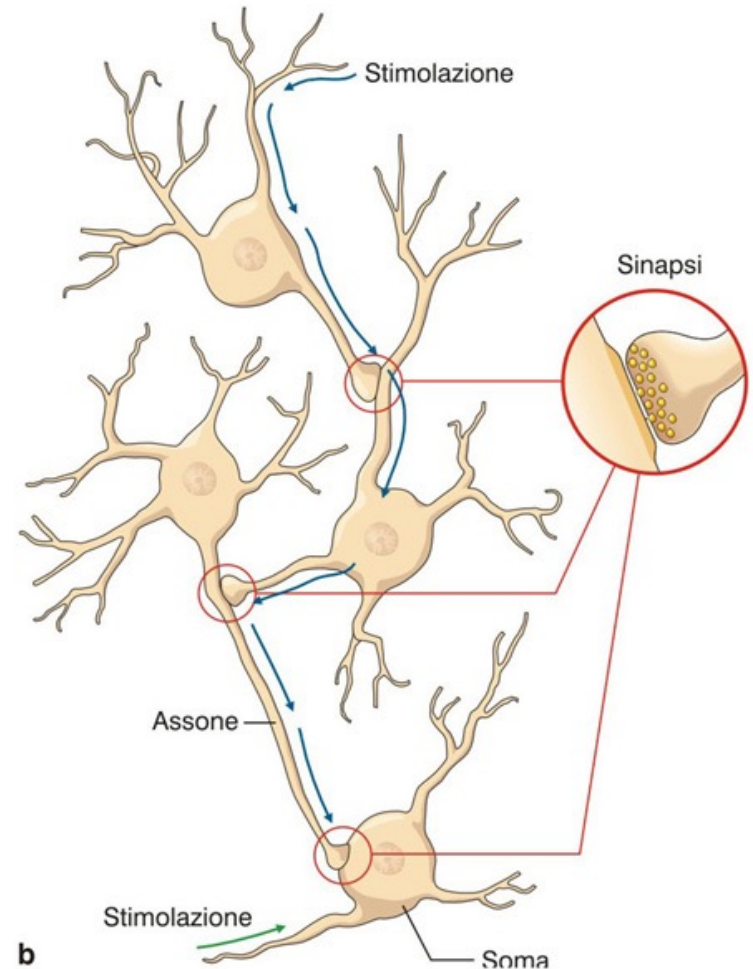
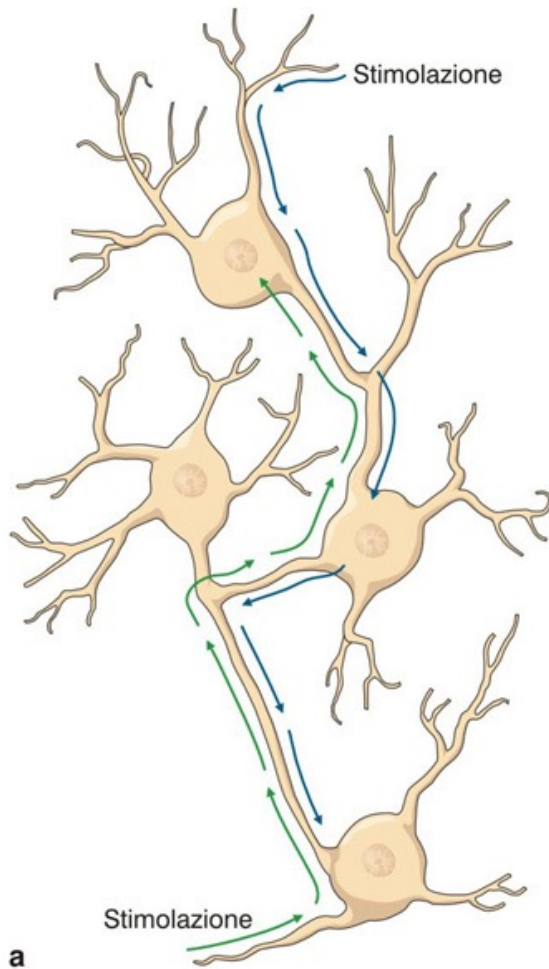
# Come si propagano i segnali elettrici lungo un circuito neurale?



duato non  
distanze  
che micron  
ine

**Teoria Reticolare:**  
cellule nervose unite da ponti protoplasmatici

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



# 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

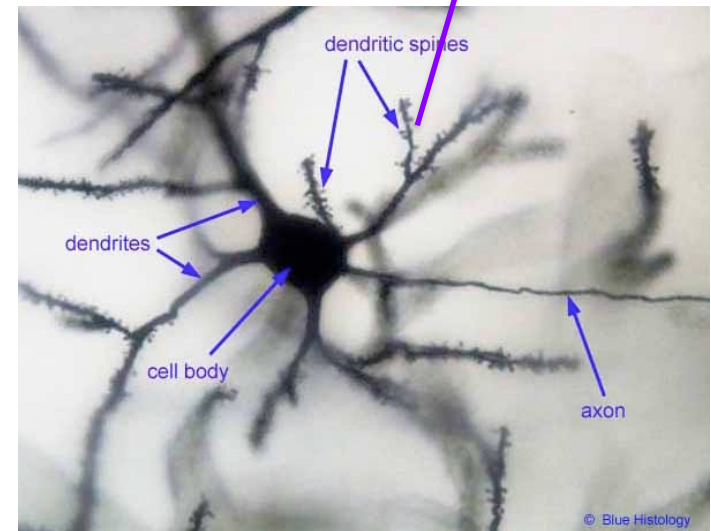
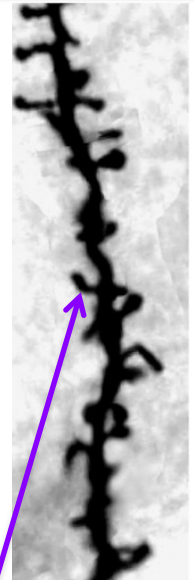


Santiago Ramón y Cajal



Camillo Golgi

La reazione nera di Golgi-Cajal

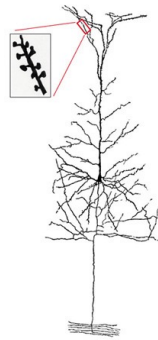




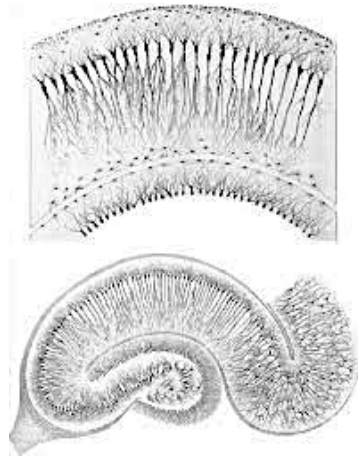
I neuroni che costituiscono un circuito nervoso sono entità separate che comunicano tramite giunzioni specializzate



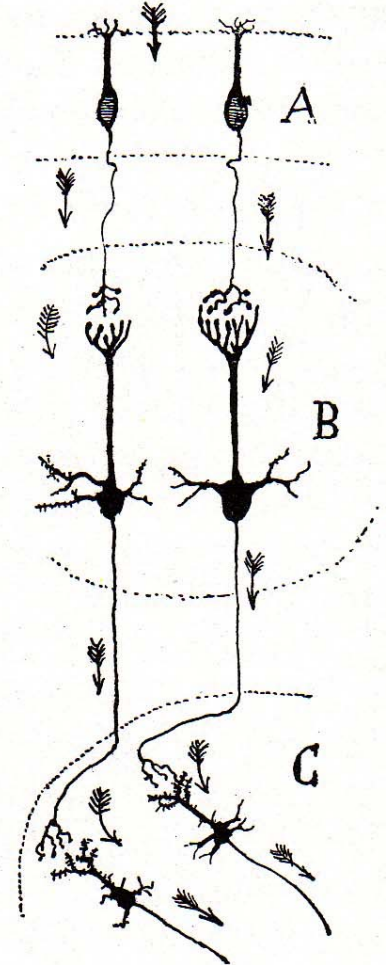
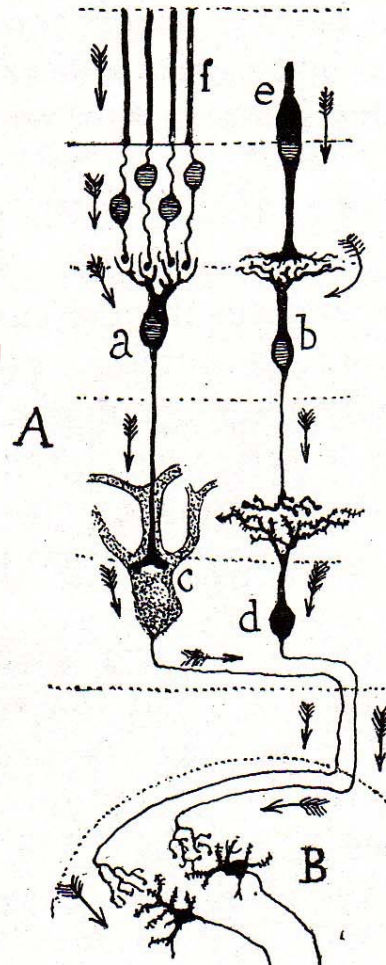
OOBA © 2006 edi.ermes milano



Santiago Ramón y Cajal

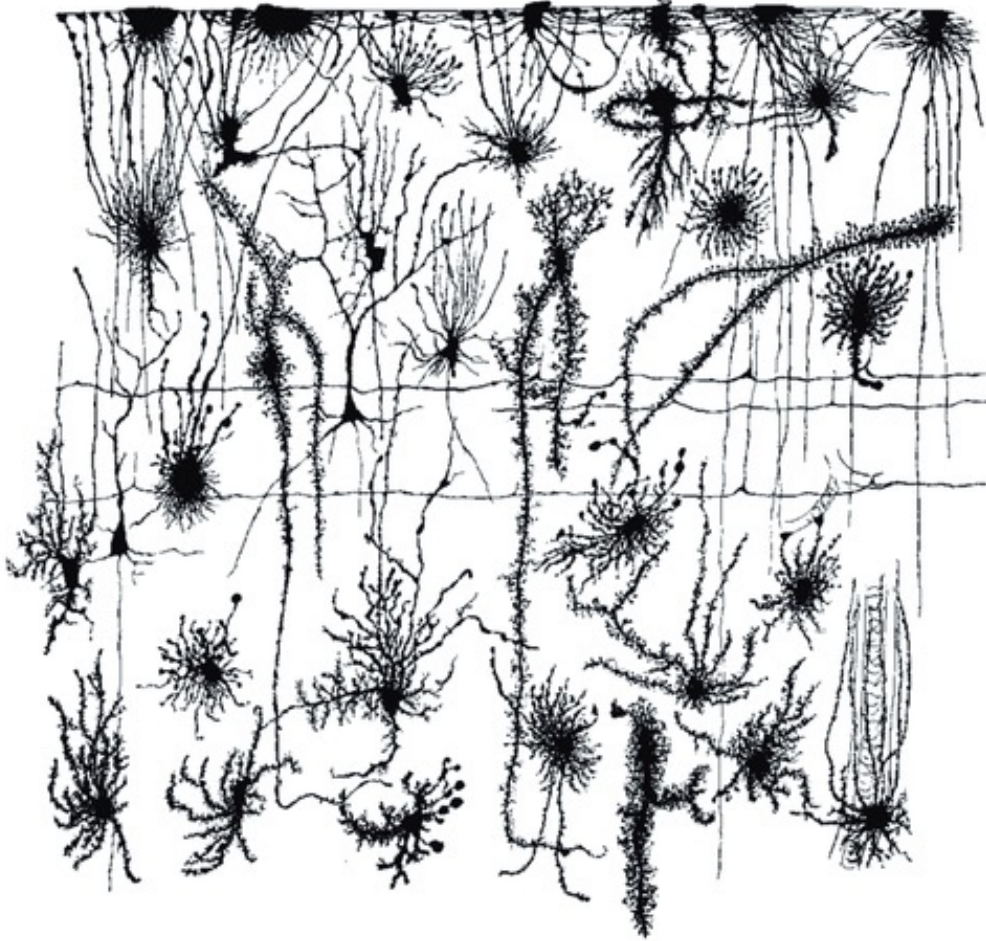


Camillo Golgi

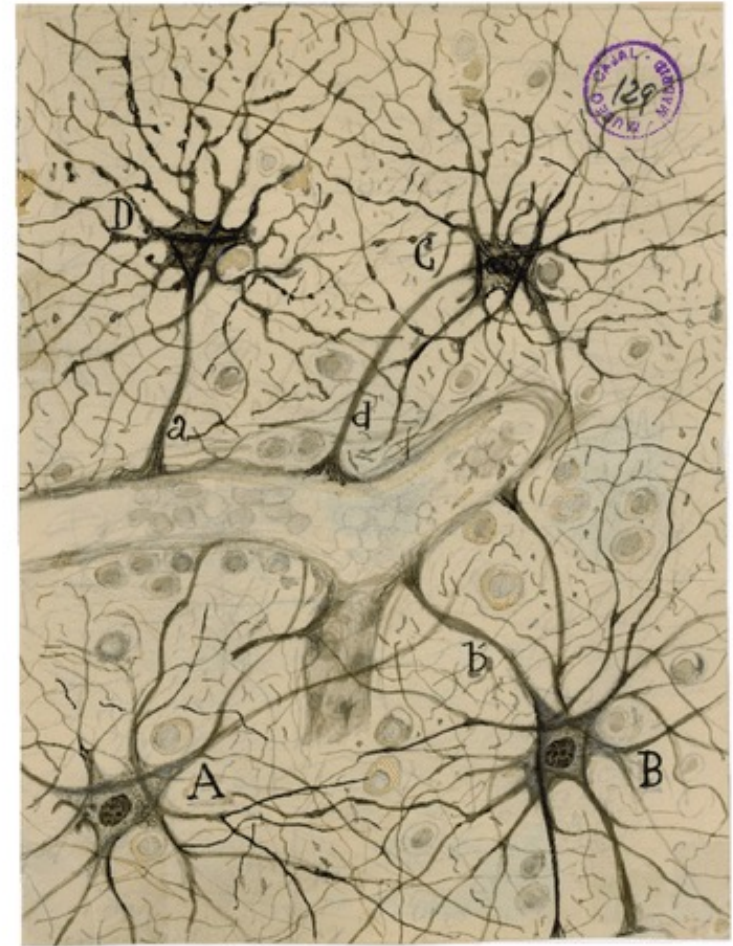


...e l'impulso viaggia unidirezionalmente

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 astrociti umani**