

# **SISTEMA NERVOSO: NEURONI E SEGNALI ELETTRICI**

**Tutti i diritti relativi al materiale didattico (reso disponibile nel sito del corso) ed al suo contenuto sono riservati a Sapienza e ai suoi autori (o docenti che lo hanno prodotto). È consentito l'uso personale dello stesso da parte dello studente a fini di studio. Ne è vietata nel modo più assoluto la diffusione, duplicazione, cessione, trasmissione, distribuzione a terzi o al pubblico pena le sanzioni applicabili per legge**

# SISTEMA NERVOSO

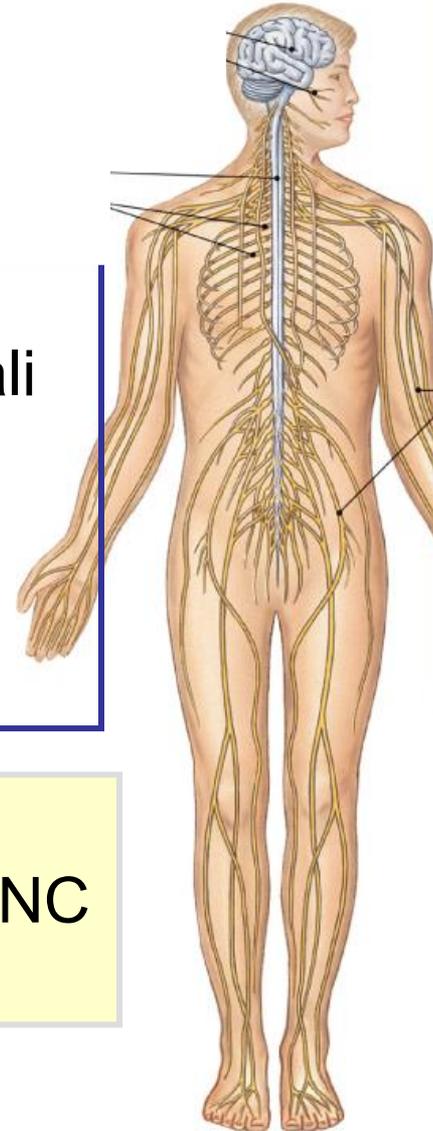
Genera risposte **repentine**  
**generalmente brevi**  
**precise**  
**finemente regolate**

## Sistema nervoso centrale (SNC)

Integra ed coordina le percezioni sensoriali  
Elabora le risposte motorie  
Sede di funzioni cognitive superiori:  
Memoria, intelligenza emozioni,  
apprendimento

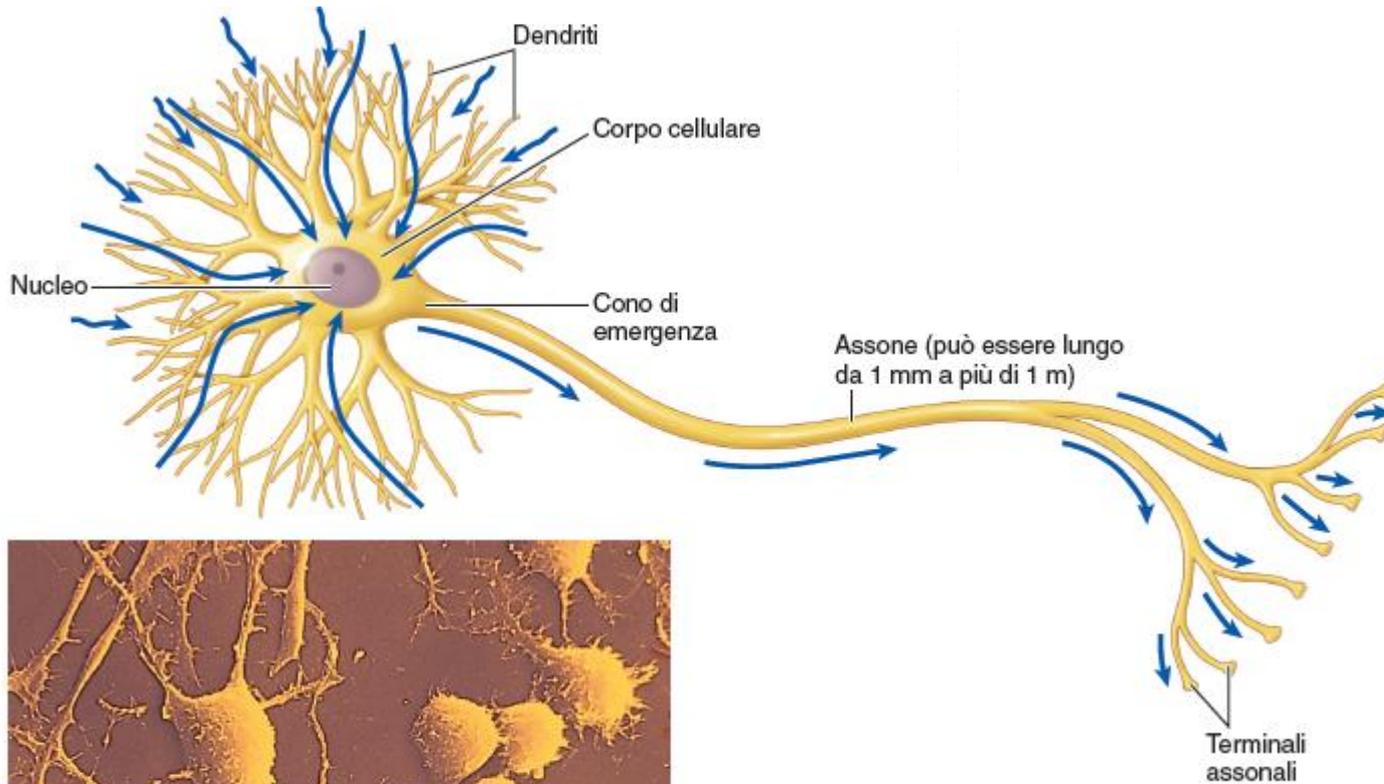
## Sistema nervoso periferico (SNP)

Veicola le percezioni sensoriali verso in SNC  
Reca in periferia i comandi di tipo motorio

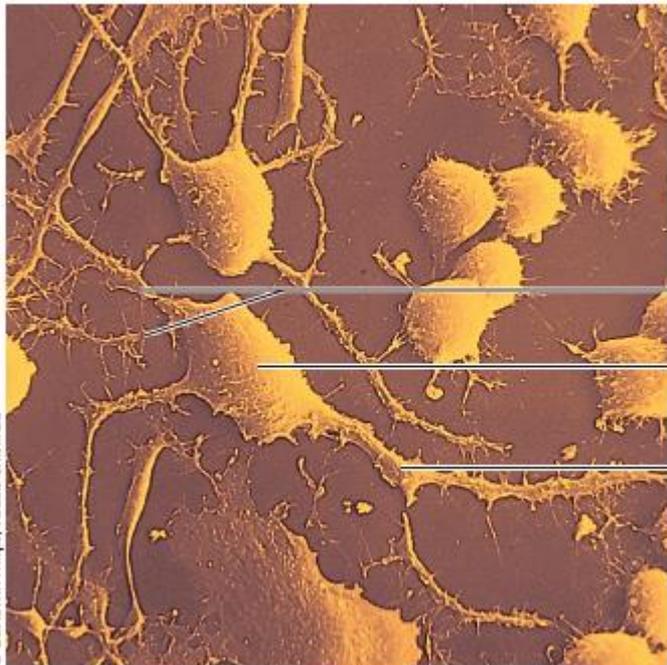


Centro di  
integrazione

# NEURONE

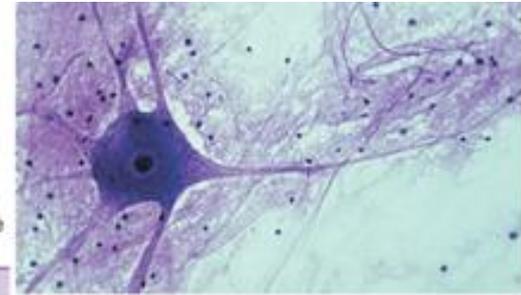


**4** La zona di uscita rilascia il neurotrasmettitore che influenza altre cellule



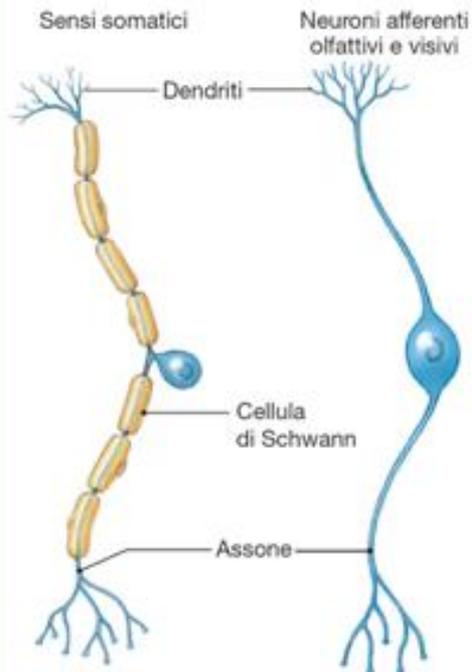
# Anatomia del neurone

Neurone efferente multipolare

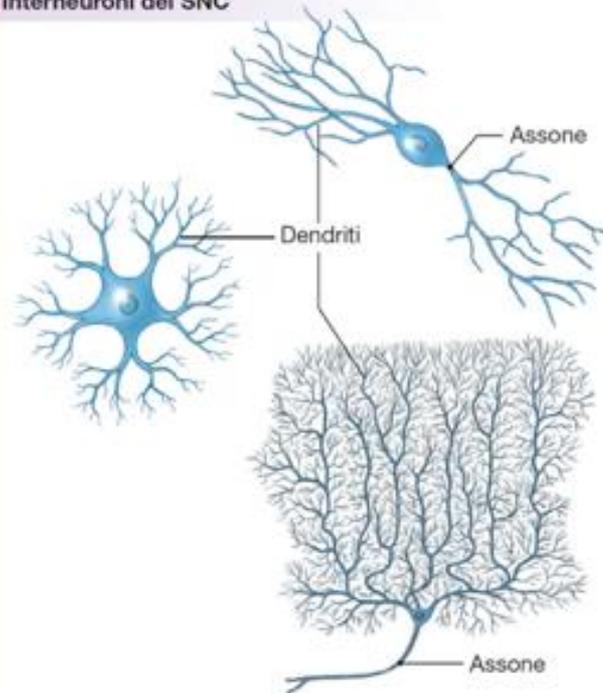


## Categorie funzionali

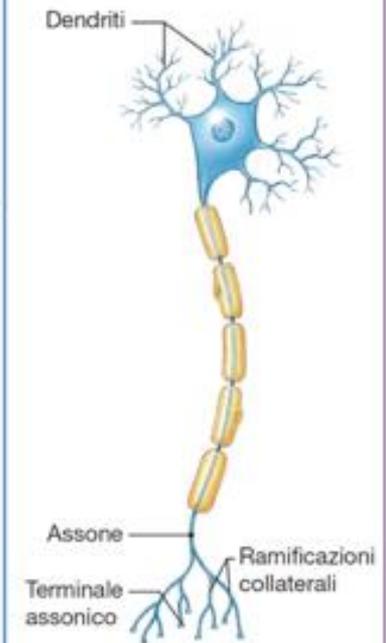
### Neuroni sensoriali



### Interneuroni del SNC



### Neuroni efferenti



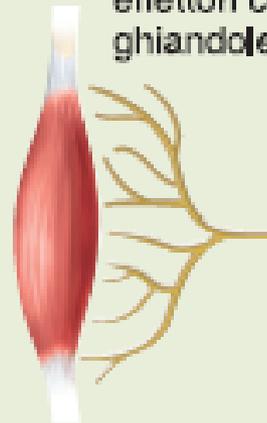
## Sistema nervoso periferico

## Sistema nervoso centrale

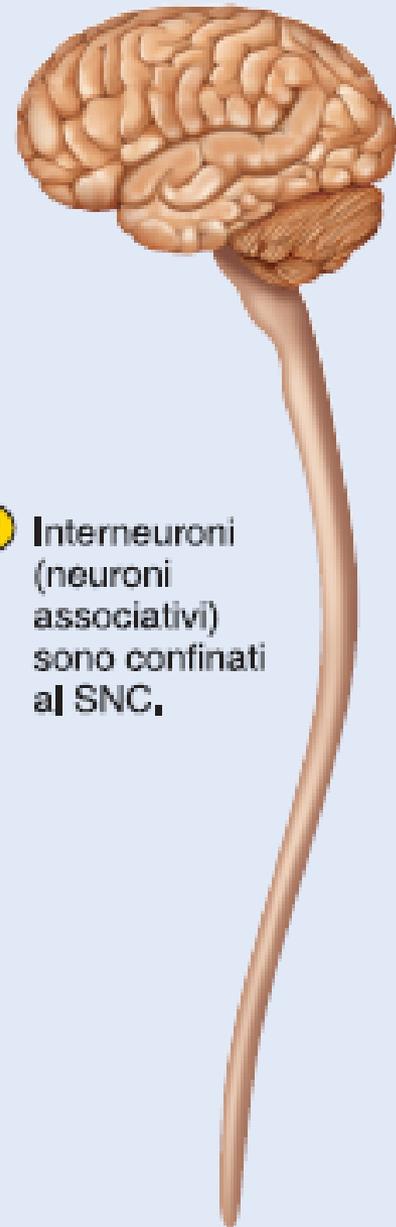
- ① Neuroni sensitivi (afferenti) portano segnali dai recettori al SNC.



- ③ Neuroni motori (efferenti) portano segnali dal SNC agli effettori come ghiandole e muscoli.



- ② Interneuroni (neuroni associativi) sono confinati al SNC.



# RECETTORI

possono essere

**Sensori: cellule o strutture specializzate che convertono vari stimoli in segnali elettrici**

## Recettori centrali

si trovano nel cervello o nelle sue vicinanze.



Occhi  
(visione)



Orecchie  
(udito,  
equilibrio)



Naso  
(olfatto)



Lingua  
(gusto)

Chemorecettori  
centrali,  
osmorecettori,  
e termorecettori

## Recettori periferici

si trovano fuori  
del cervello.

Chemorecettori  
(pH, gas,  
sostanze  
chimiche)

Osmocettori  
(osmolarità)

Termorecettori  
(temperatura)

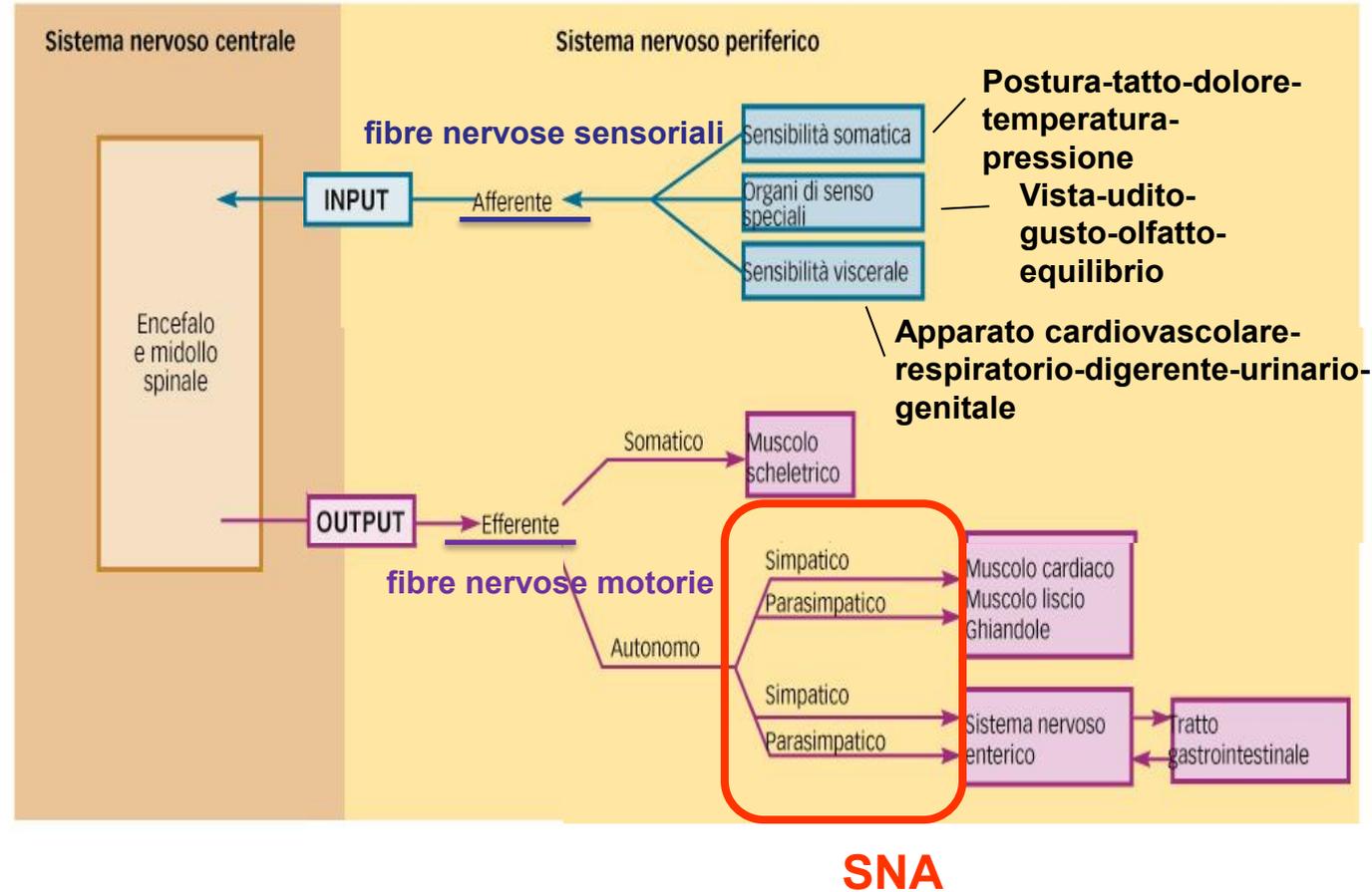
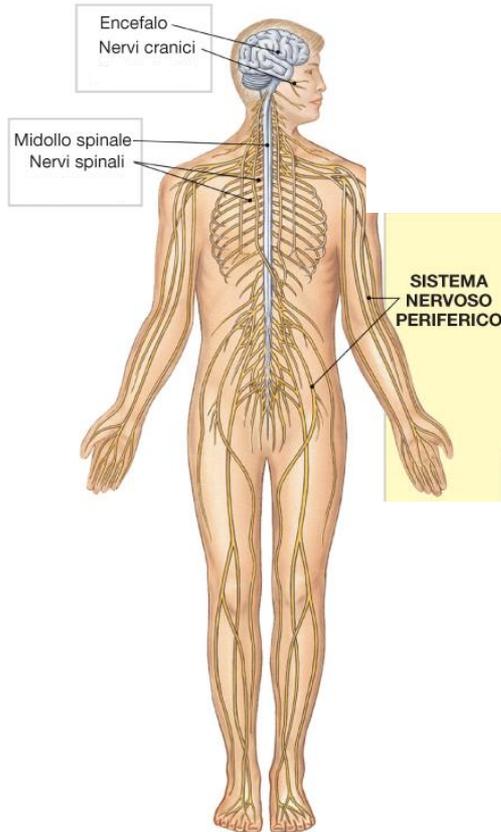
Barorecettori  
(pressione)

Propriocettori  
(posizione  
del corpo)

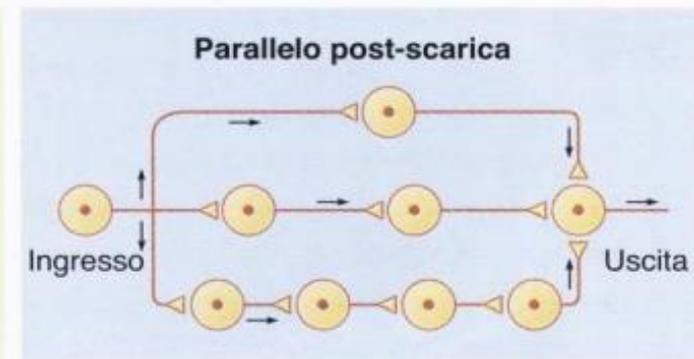
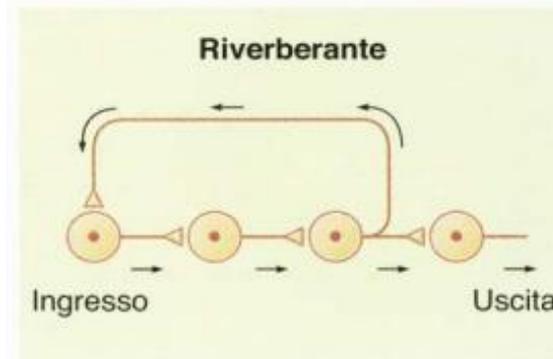
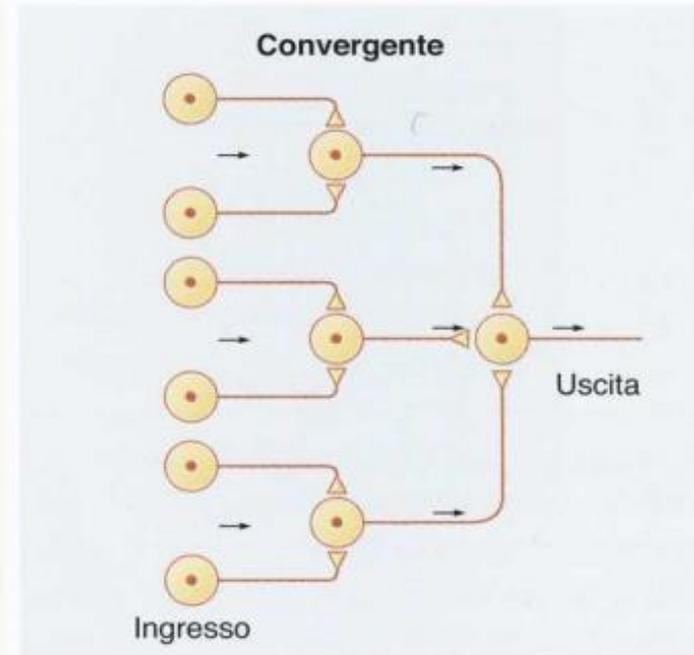
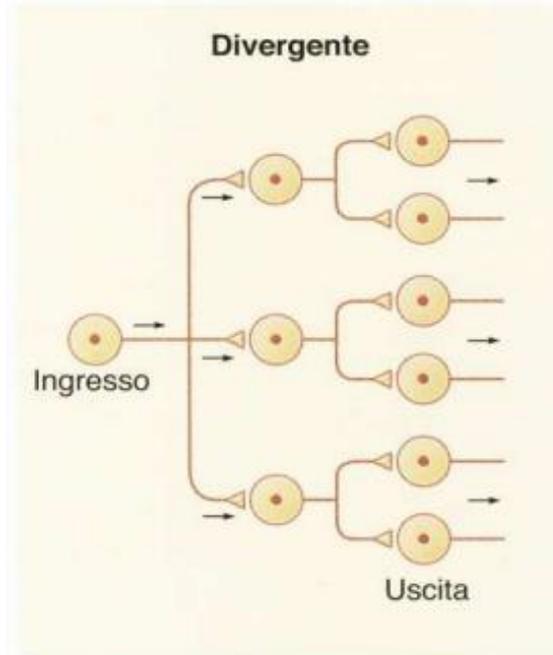
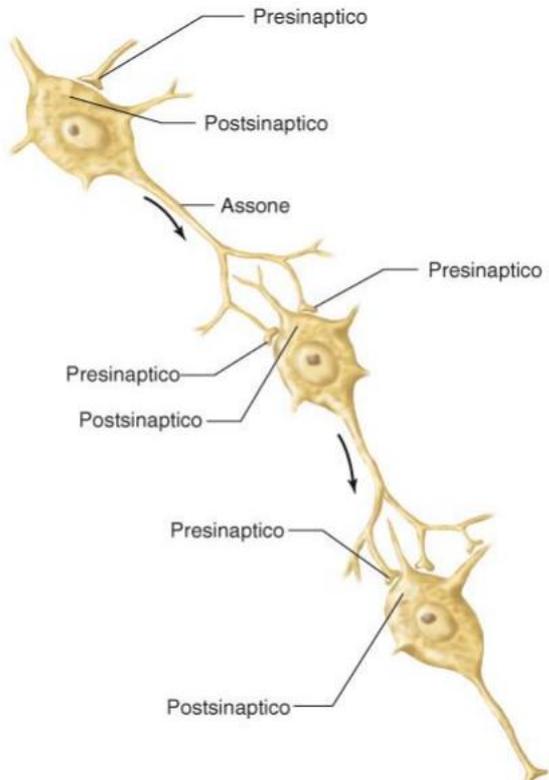
Altri  
meccanocettori  
(dolore, vibrazione,  
tatto)



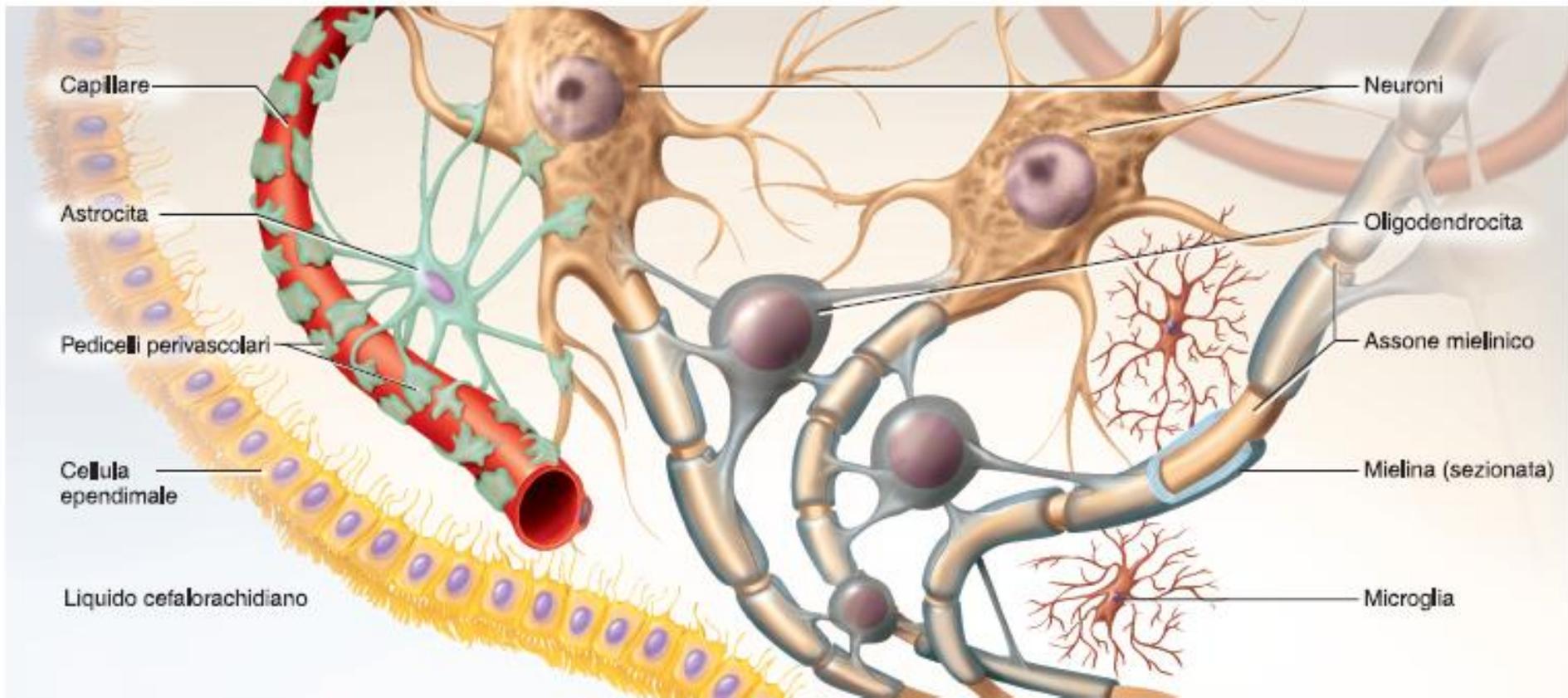
# ORGANIZZAZIONE SISTEMA NERVOSO



# CIRCUITI NEURONALI



# ALTRE CELLULE DEL SISTEMA NERVOSO



**FIGURA 12.6** Neuroglia del Sistema Nervoso Centrale.

# NEUROGLIA

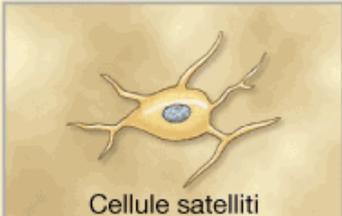
si trova nel

Sistema nervoso periferico

Sistema nervoso centrale

contiene

contiene



Cellule satelliti

Circondano i corpi cellulari nei gangli; regolano i livelli di O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, nutrienti e neurotrasmettitori intorno ai neuroni gangliari



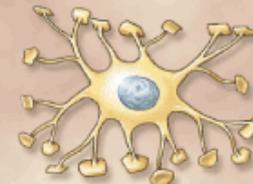
Cellule di Schwann

Avvolgono gli assoni nel SNP; sono responsabili della mielinizzazione degli assoni periferici; partecipano ai processi di riparazione in seguito a danni



Oligodendrociti

Mielinizzano gli assoni del SNC; forniscono un'impalcatura strutturale



Astrociti

Mantengono la barriera emato-encefalica; forniscono un supporto strutturale; regolano le concentrazioni di ioni, nutrienti e gas disciolti; assorbono e riciclano neurotrasmettitori; formano tessuto cicatriziale dopo una lesione



Cellule ependimali

Tappezzano i ventricoli encefalici e il canale centrale del midollo spinale; contribuiscono a produzione, circolazione e controllo del liquido cerebrospinale



Microglia

Rimuove detriti cellulari, rifiuti e agenti patogeni mediante la fagocitosi

# Neurone:

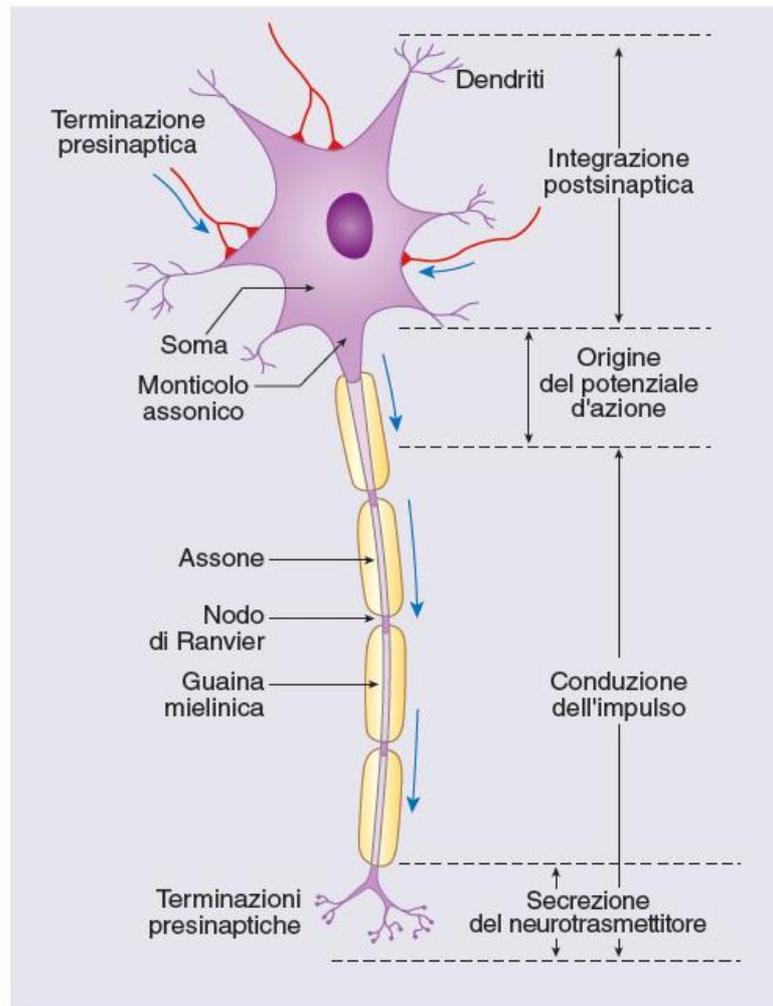
unità strutturale e funzionale fondamentale

- **Dendriti:**, spesso brevi e numerosi, ricevono segnali in arrivo

✓ **Corpo cellulare**

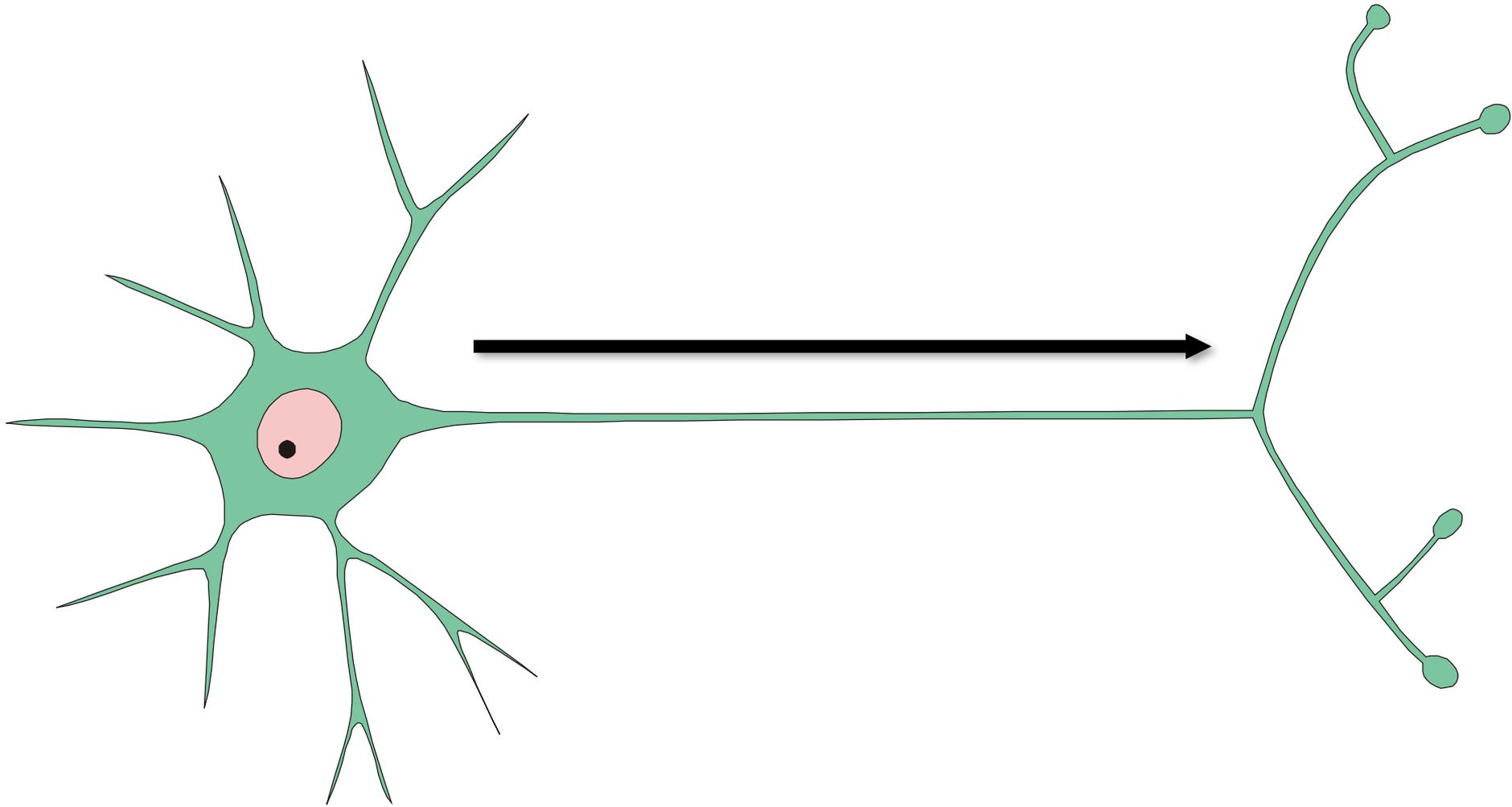


- **Assoni:** trasmettono informazione (potenziali di azione) terminano ramificandosi in molti filamenti recanti all'apice un bottone sinaptico



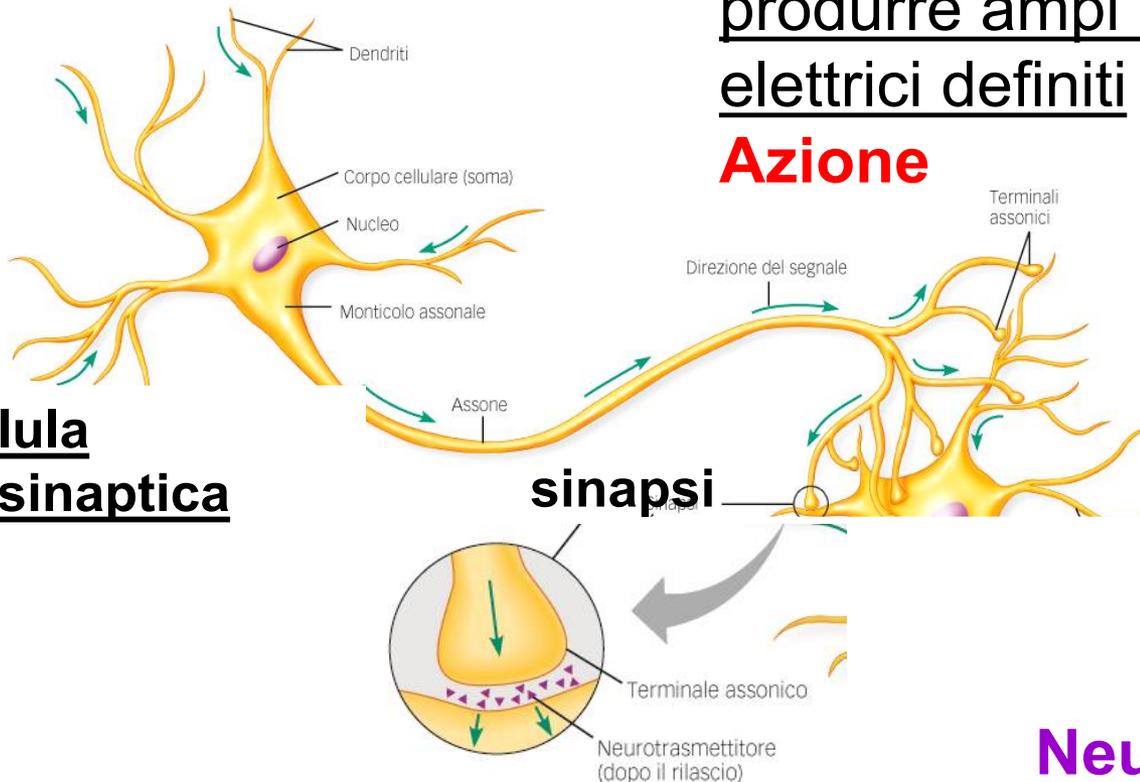
**Figura 3.29** Modello schematico di un neurone con l'indicazione delle zone dove nasce e si propaga il potenziale d'azione e dove avviene il contatto presinaptico e l'integrazione postsinaptica.

# LA TRASMISSIONE DI INFORMAZIONI



**NEURONI:** “cellule eccitabili” che comunicano trasmettendo impulsi elettrici

Cellule eccitabili capaci di produrre ampi e rapidi segnali elettrici definiti **Potenziali di Azione**



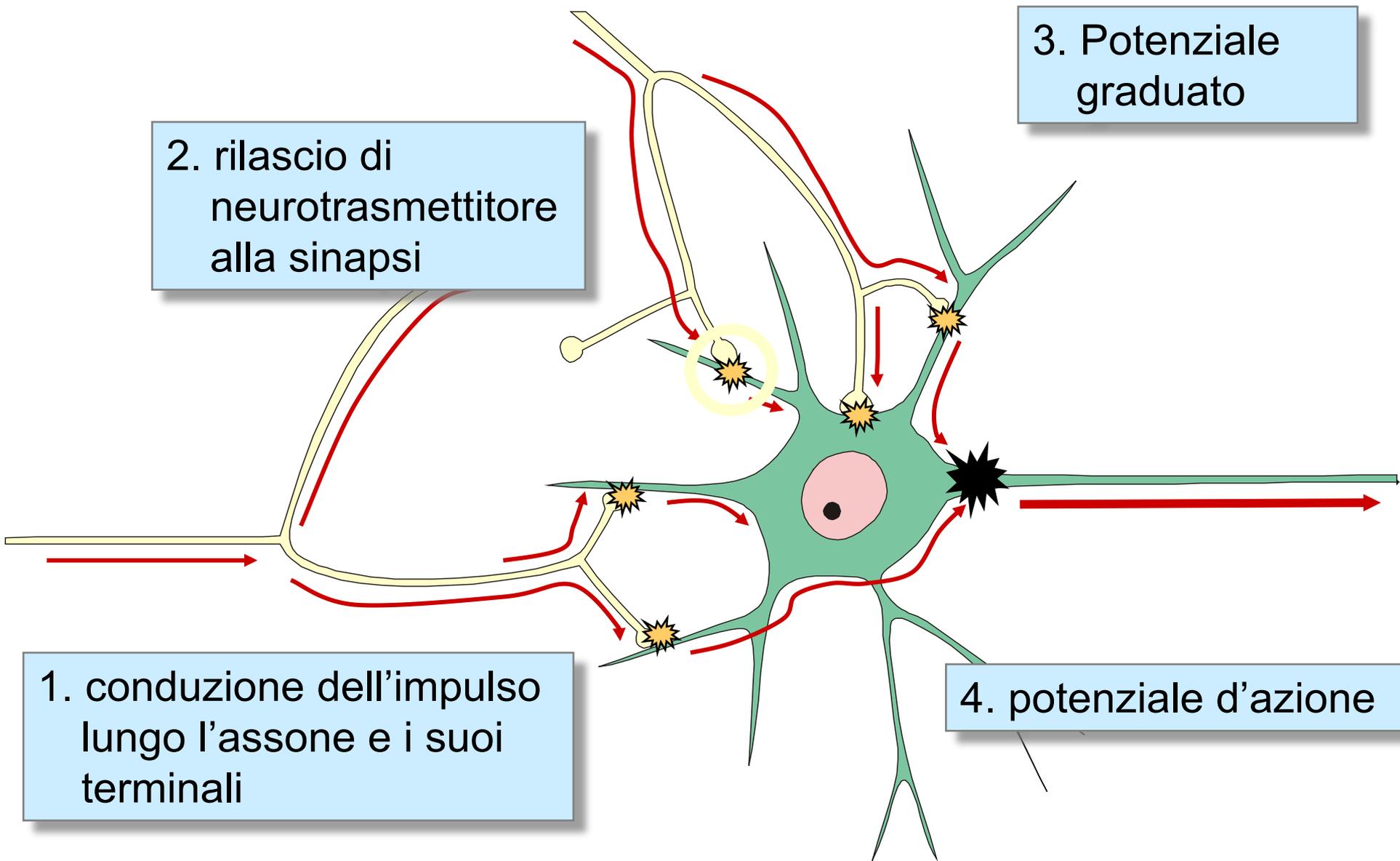
**Cellula presinaptica**

**Cellula postsinaptica**

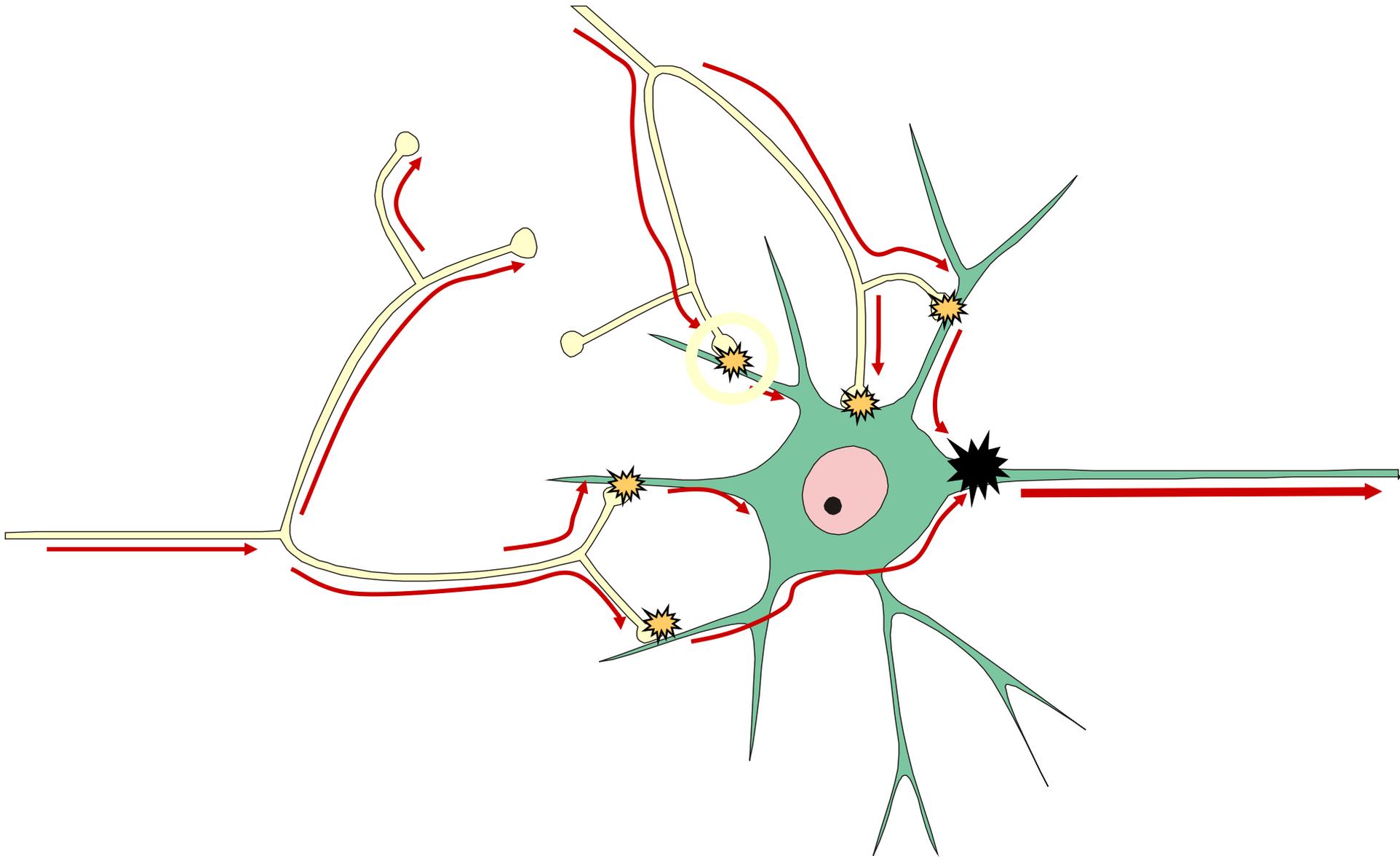
**Potenziale di Azione:** segnale che si propaga lungo tutto un neurone

**Neurotrasmettitore:** “segnale chimico” che permette il passaggio del segnale da un neurone al neurone vicino

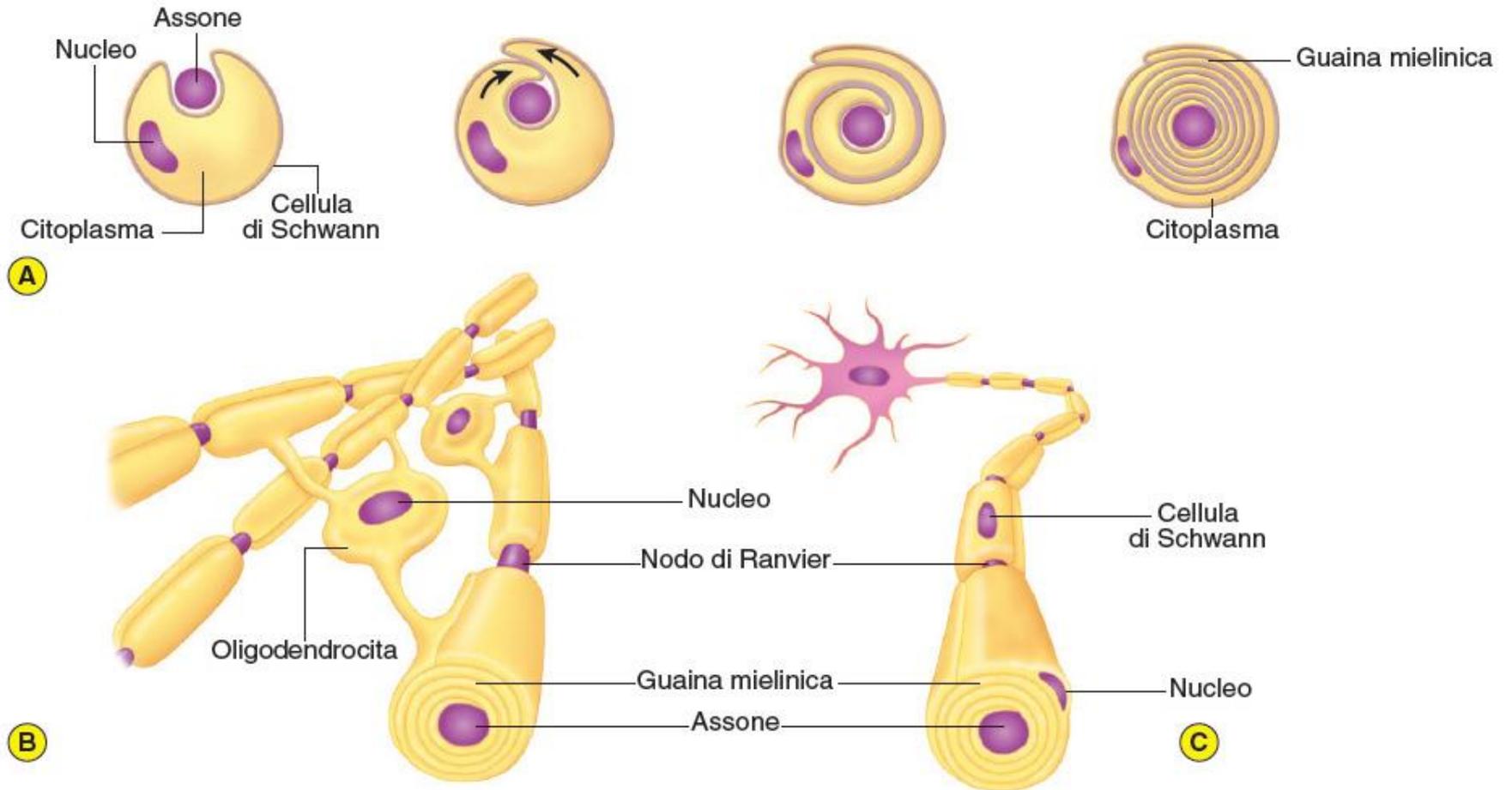
# IL FLUSSO DI INFORMAZIONI



# IL FLUSSO DI INFORMAZIONI

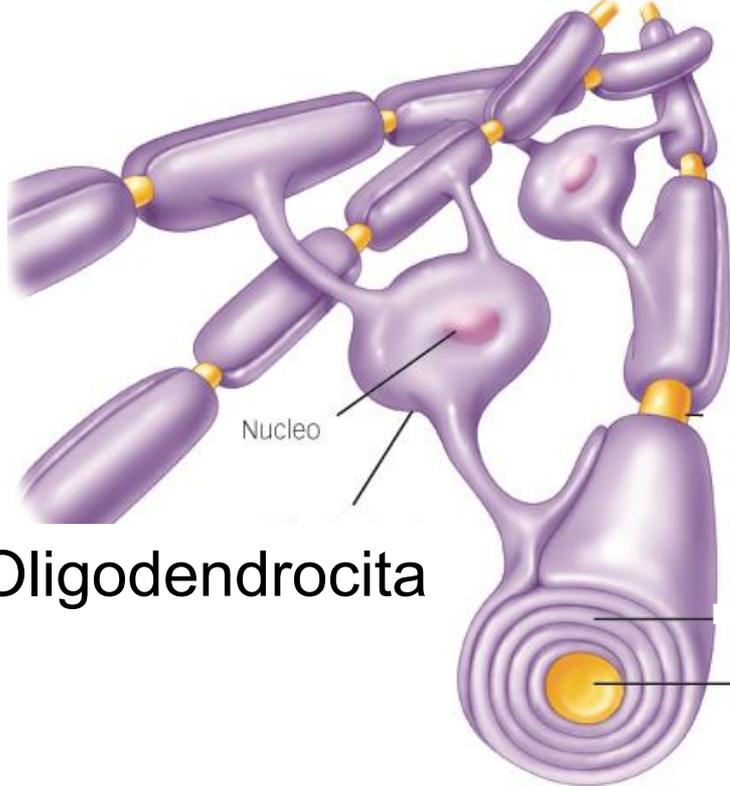


# MIELINA

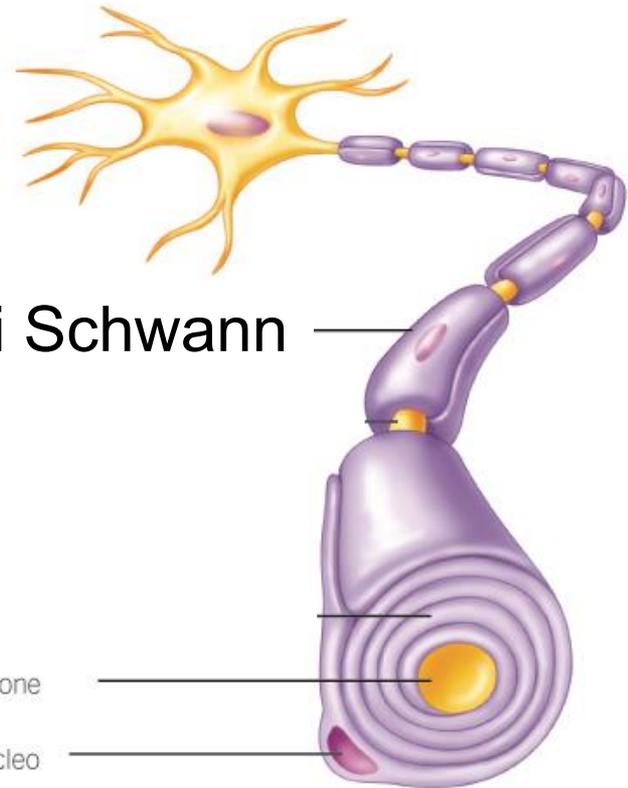


# MIELINA

Sistema Nervoso Centrale



Sistema Nervoso Periferico



**MIELINA:** aumenta la resistenza dell'assone e permette ai neuroni di trasmettere i segnali elettrici (potenziali di azione) in modo rapido ed efficace

0,2-5 m/sec fibre amieliniche piccolo diametro(2-4  $\mu\text{m}$ )

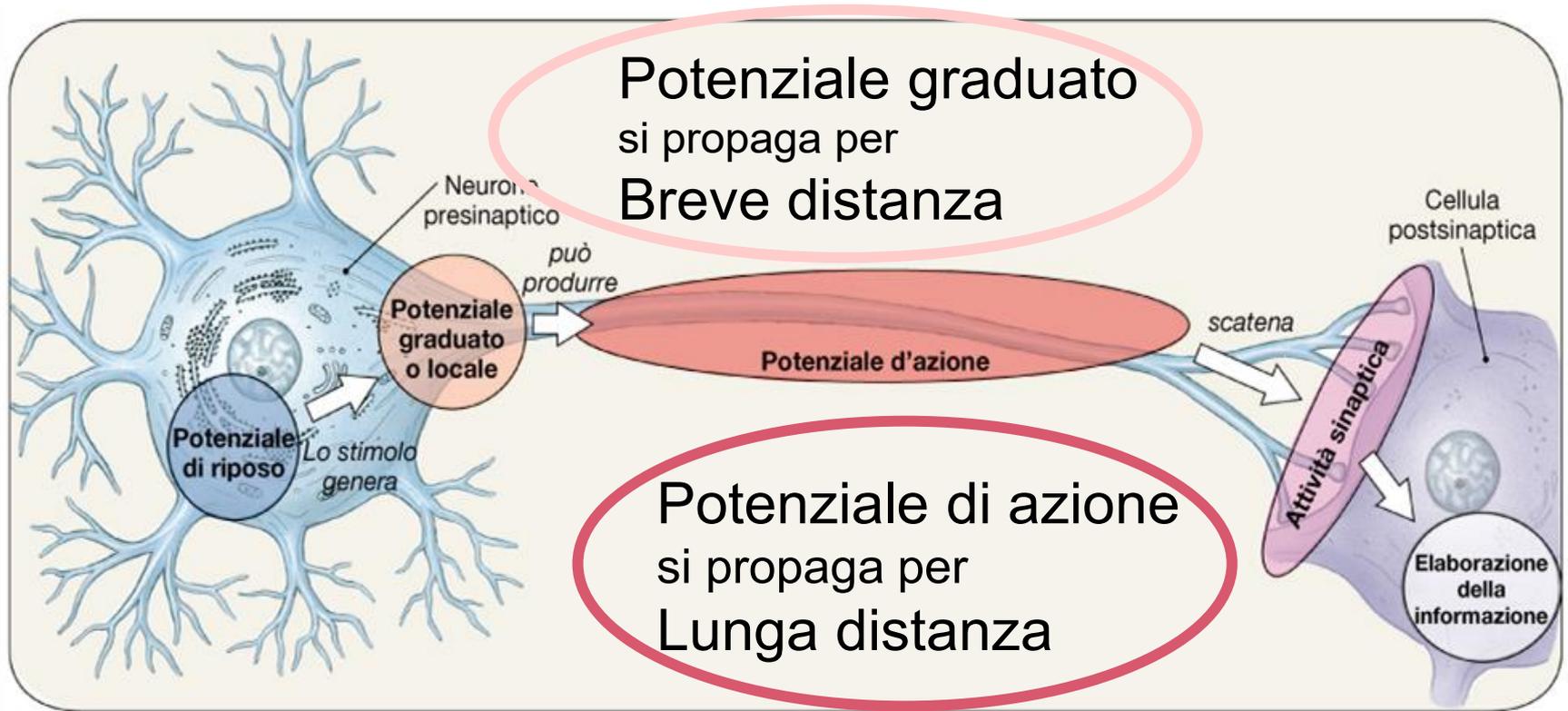
3-15 m/sec fibre mieliniche piccolo diametro (2-4  $\mu\text{m}$ )

120 m/sec fibre mieliniche grandi (20  $\mu\text{m}$ )

## **I NEURONI COMUNICANO ATTRAVERSO**

Segnali bioelettrici che consistono in variazioni del potenziale di membrana prodotte da correnti elettriche generate da flussi ionici attraverso la membrana cellulare

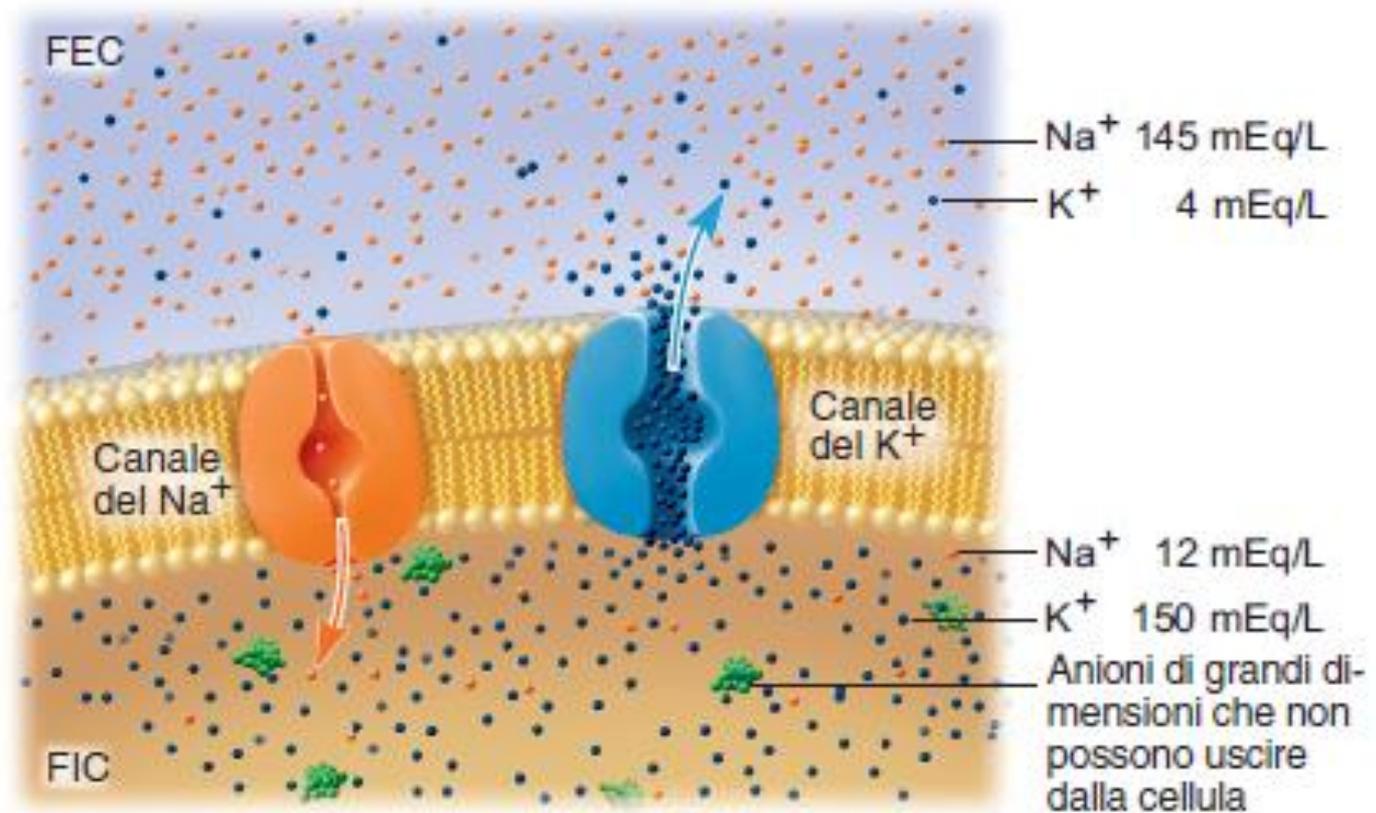
# ATTIVITÀ NEURONALE



**NEURONI:** “cellule eccitabili”  
capaci di produrre rapide e  
ampie variazioni del potenziale  
di membrana

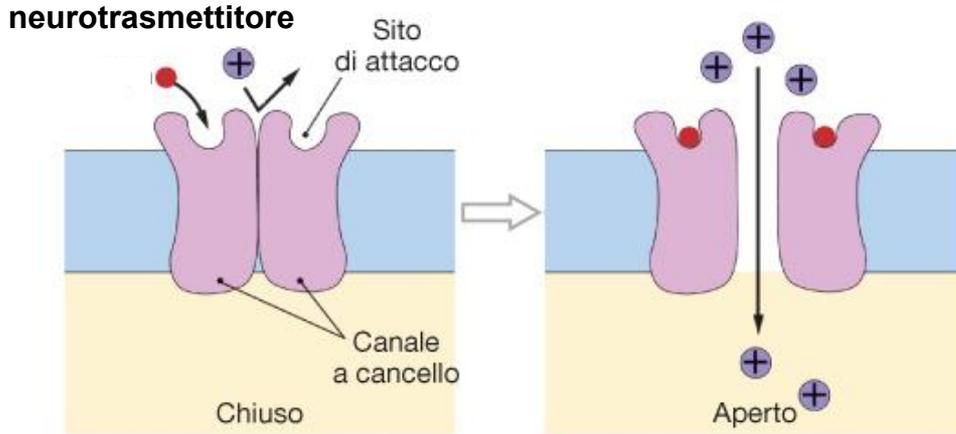
# POTENZIALE DI RIPOSO

## CANALI IONICI PASSIVI DI MEMBRANA



**FIGURA 10.11** ...  
so. Si noti che gli ioni sodio sono molto più concentrati nel fluido

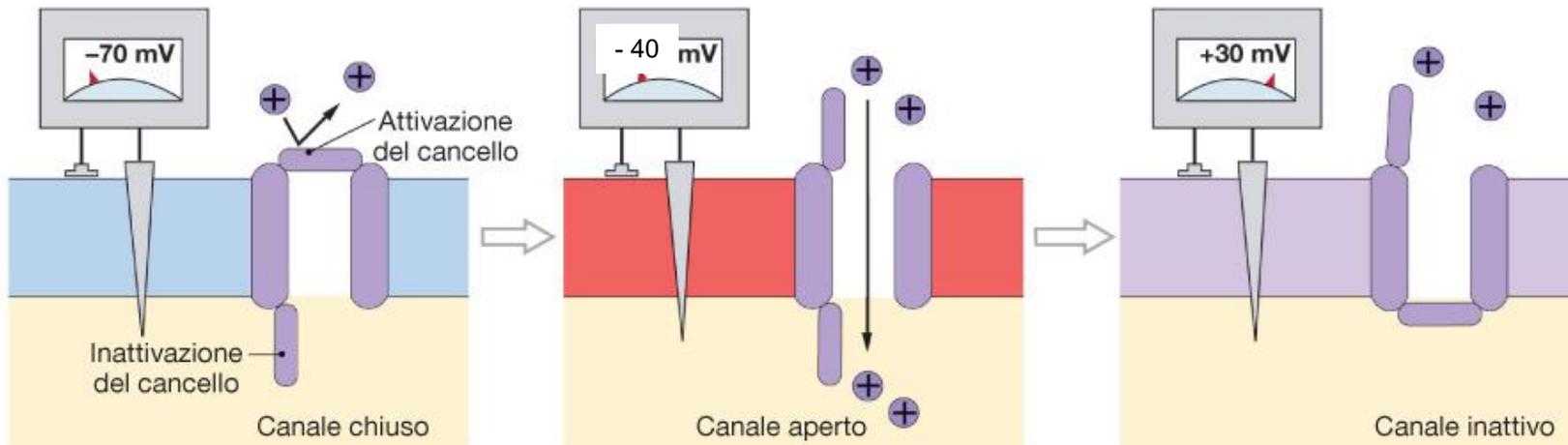
# CANALI IONICI DI MEMBRANA



Cambiano la permeabilità della membrana a specifici ioni generando movimenti ionici attraverso la membrana.....

**Canale Ligando-Dipendente**

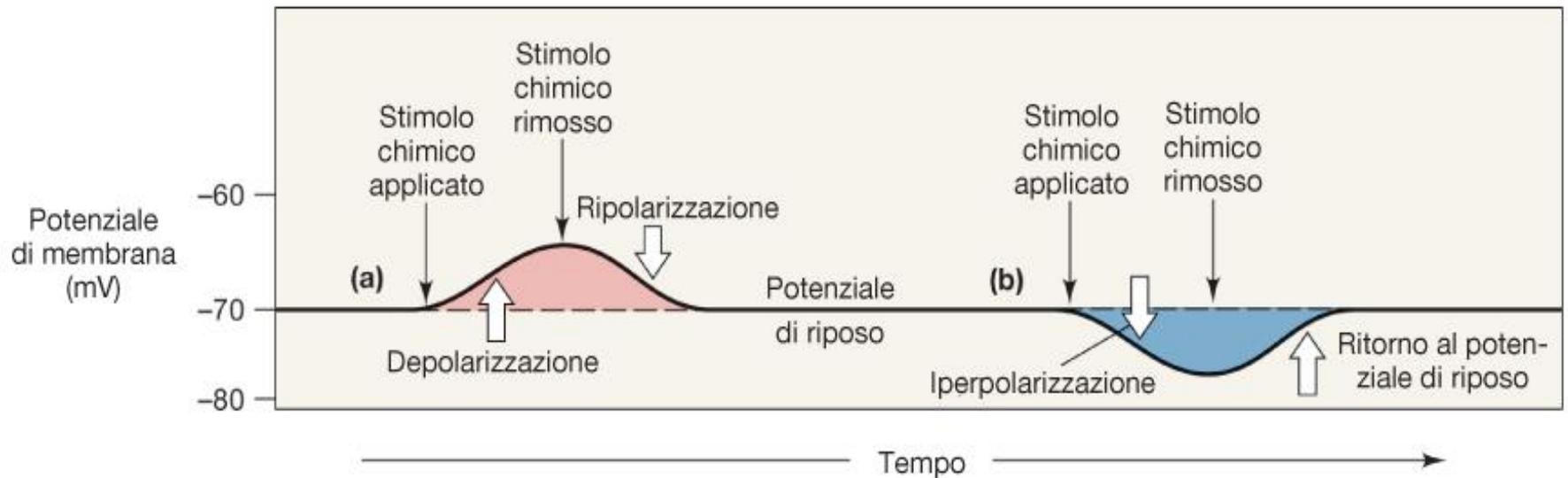
.... Con l'effetto di modificare il potenziale di membrana

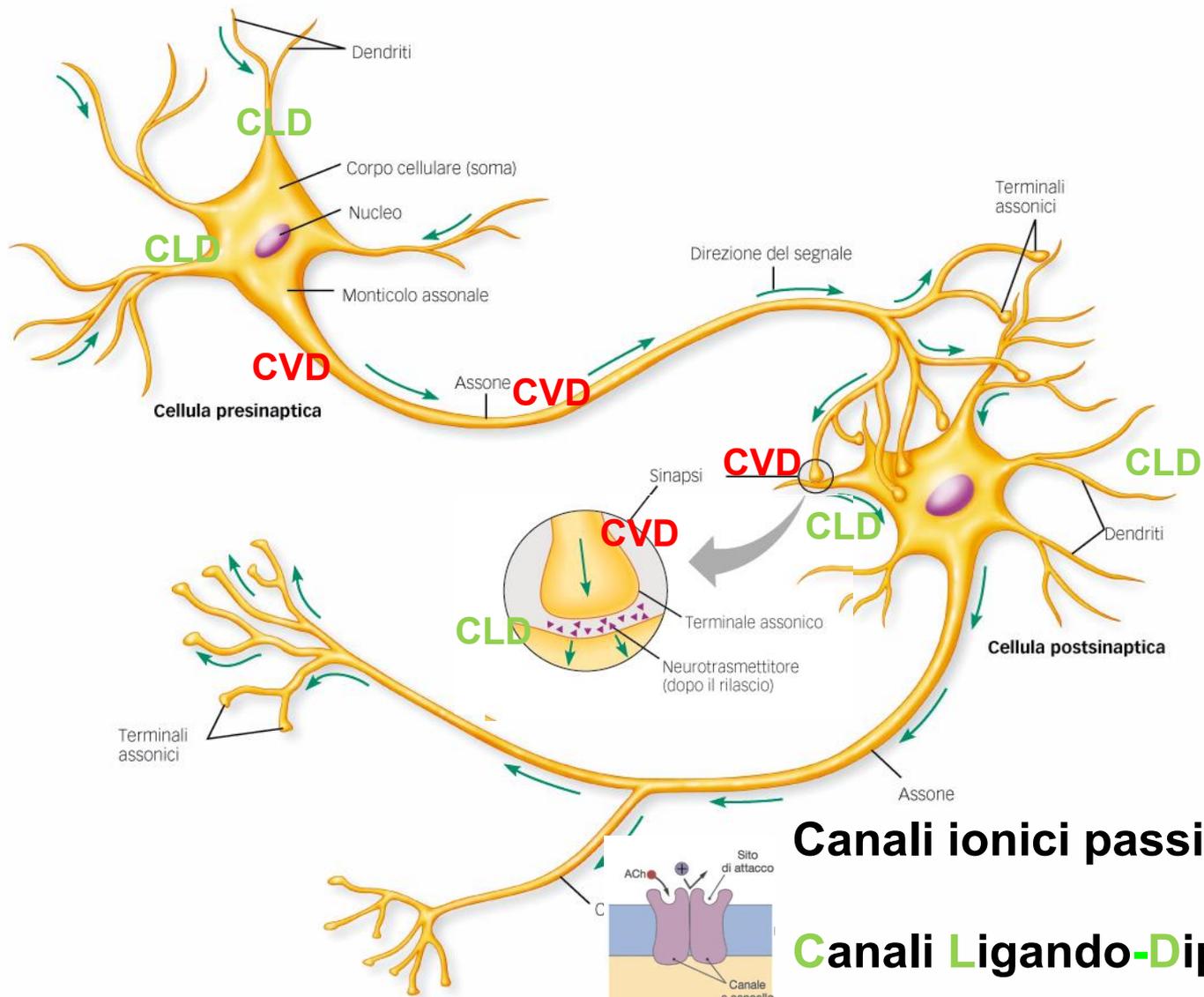


**Canale Voltaggio-Dipendente**

# Modificazione del potenziale di membrana.....

## DEPOLARIZZAZIONE E IPERPOLARIZZAZIONE

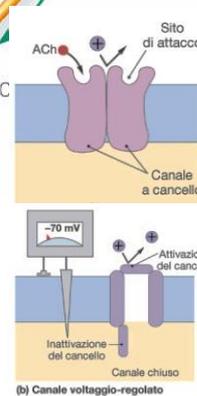




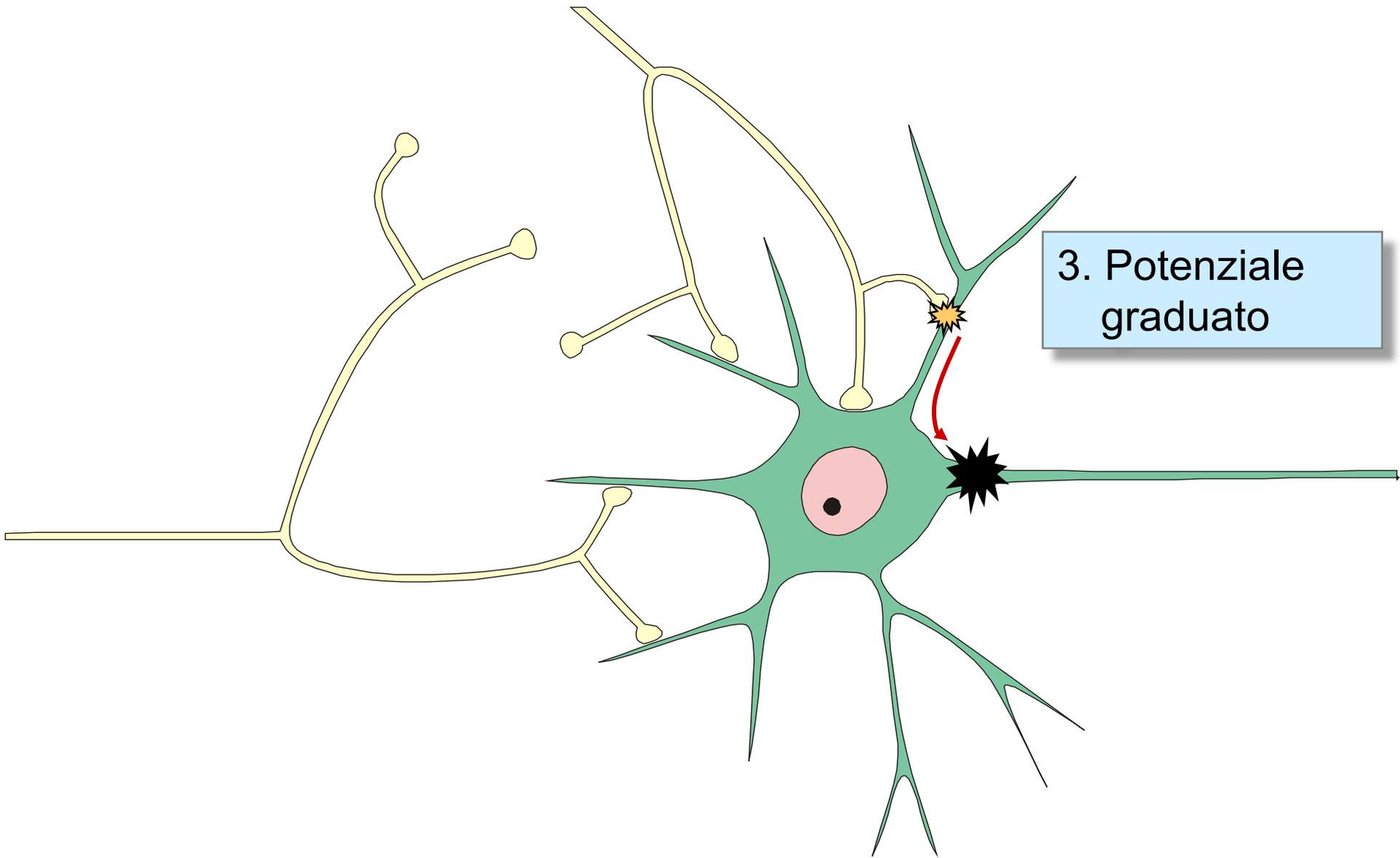
**Canali ionici passivi**

**Canali Ligando-Dipendenti**

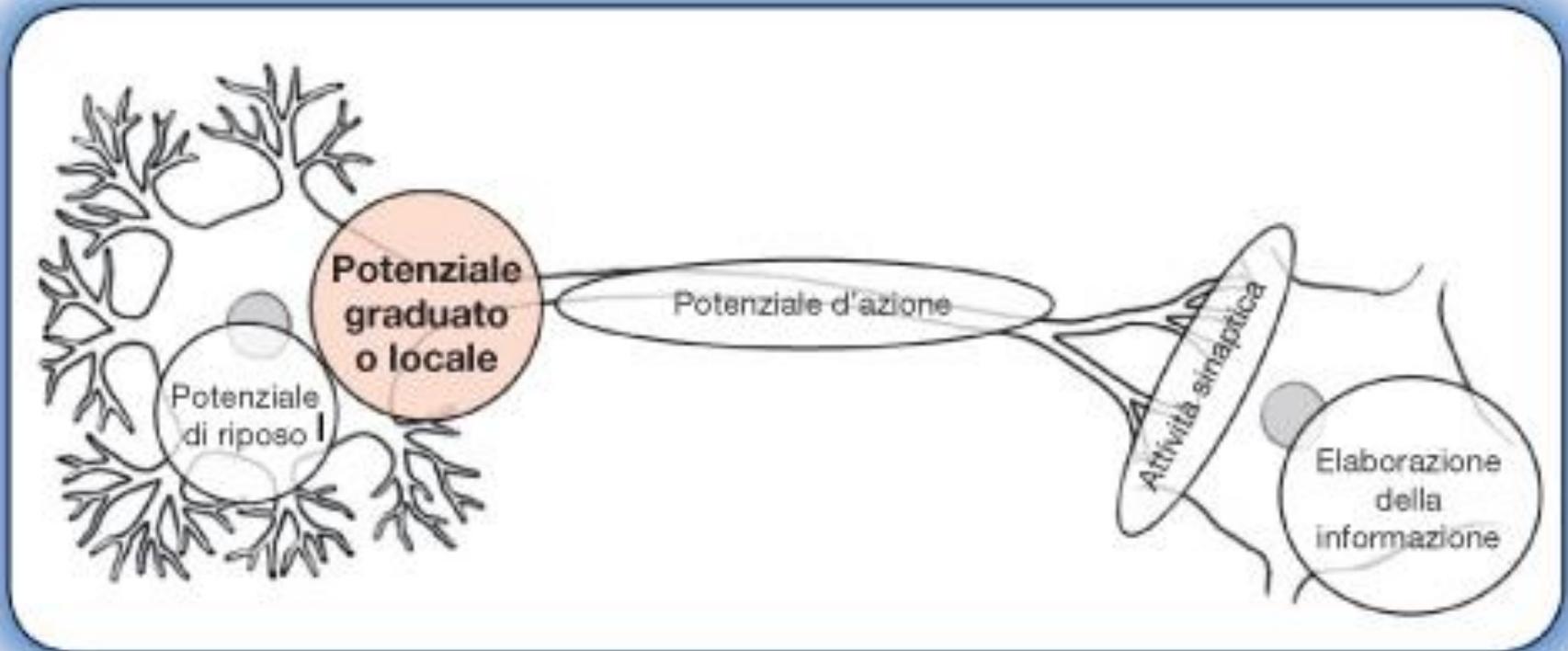
**Canali Voltaggio-Dipendenti**



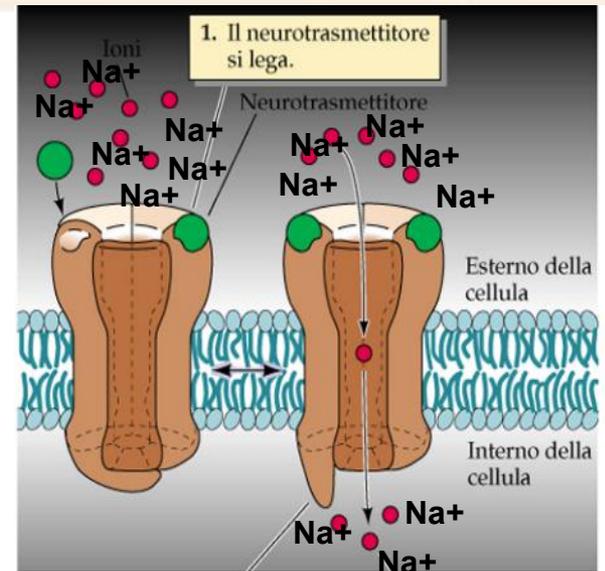
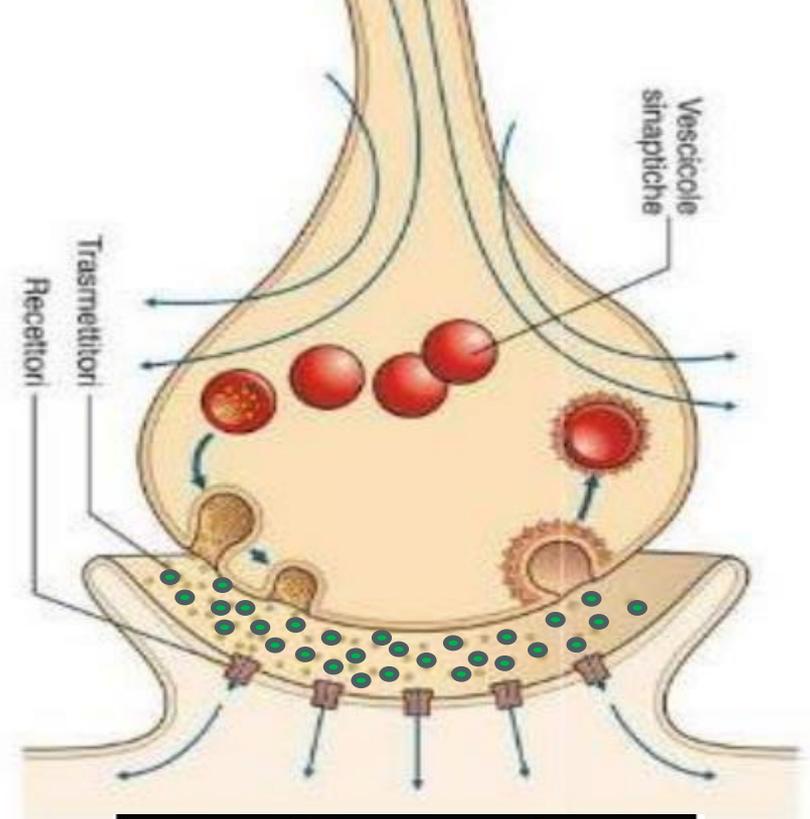
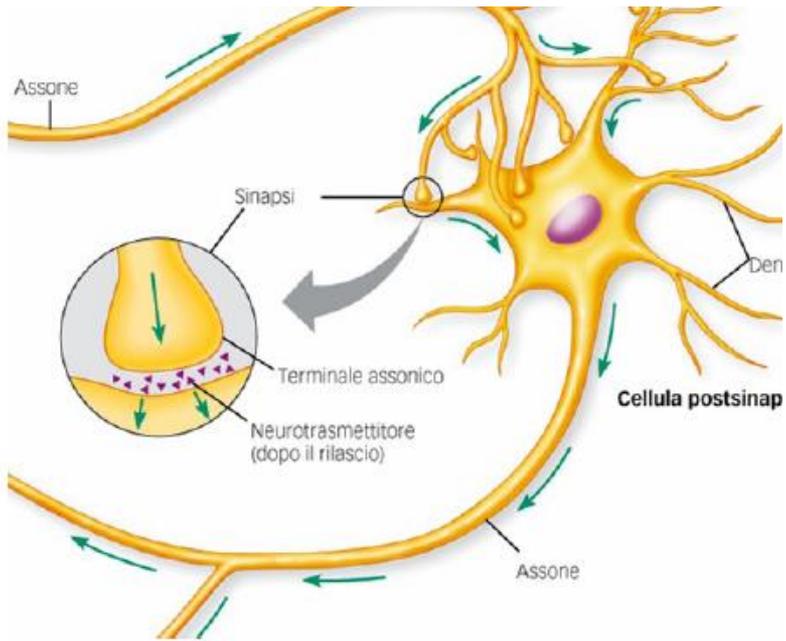
# IL FLUSSO DI INFORMAZIONI



# Modificazione del potenziale di membrana.....

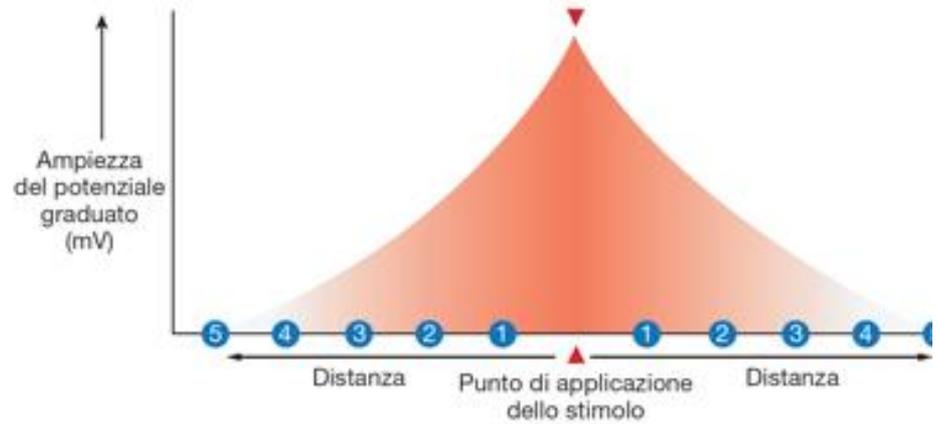


I risposta all'azione del neurotrasmettitore  
Segnale a intensità variabile  
Che si propaga per breve distanza

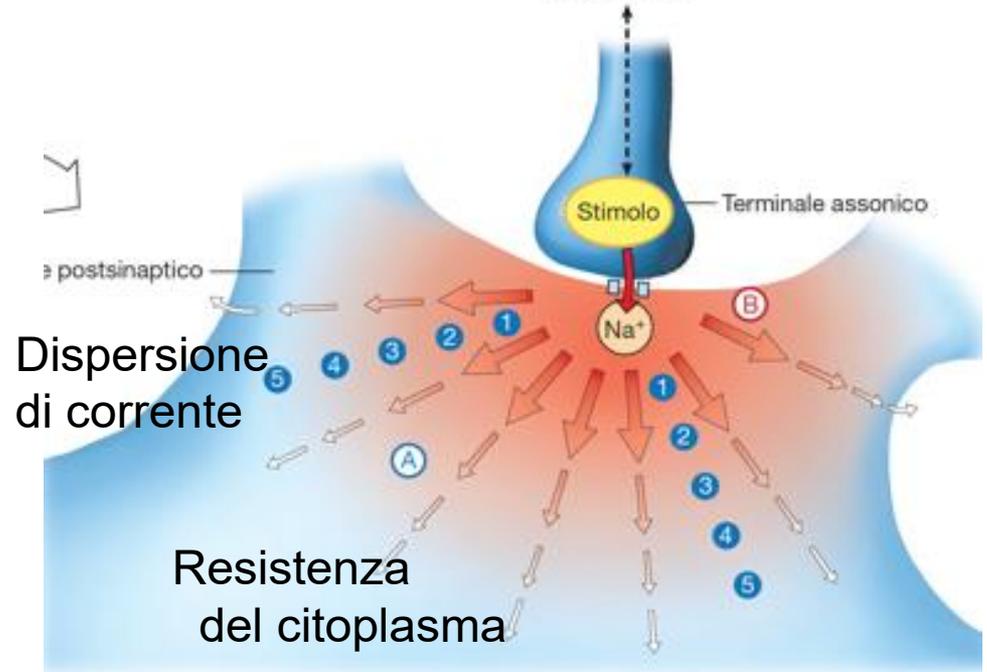


# POTENZIALE GRADUATO

**DECREMENTALE:** il segnale diventa più debole con la distanza

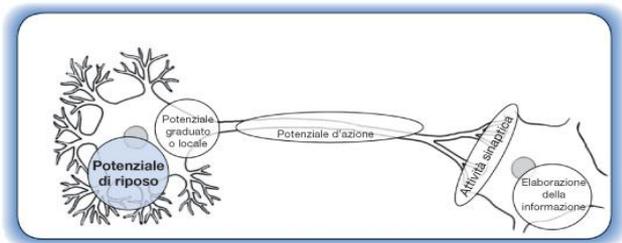
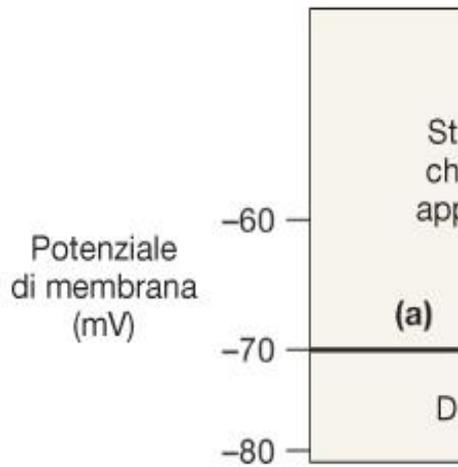


**LOCALE:** esercita i suoi effetti solo entro breve distanza dal punto di origine



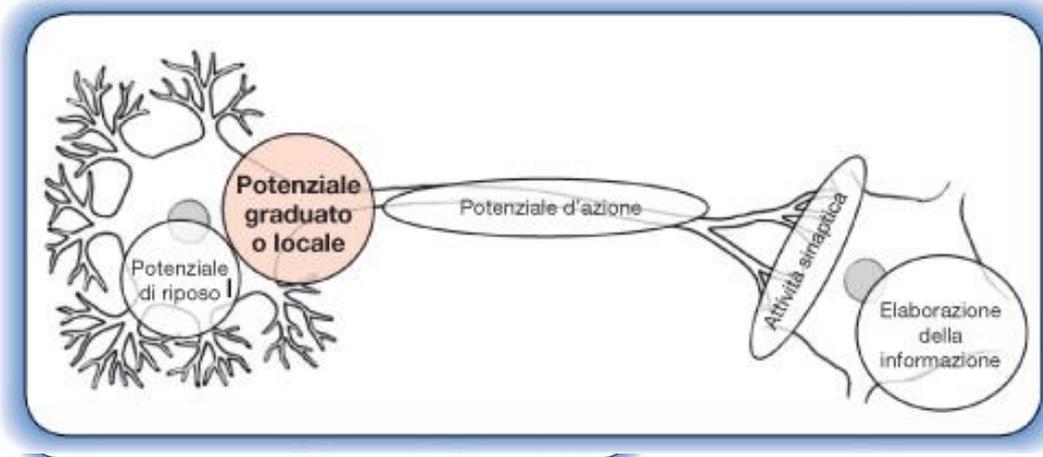
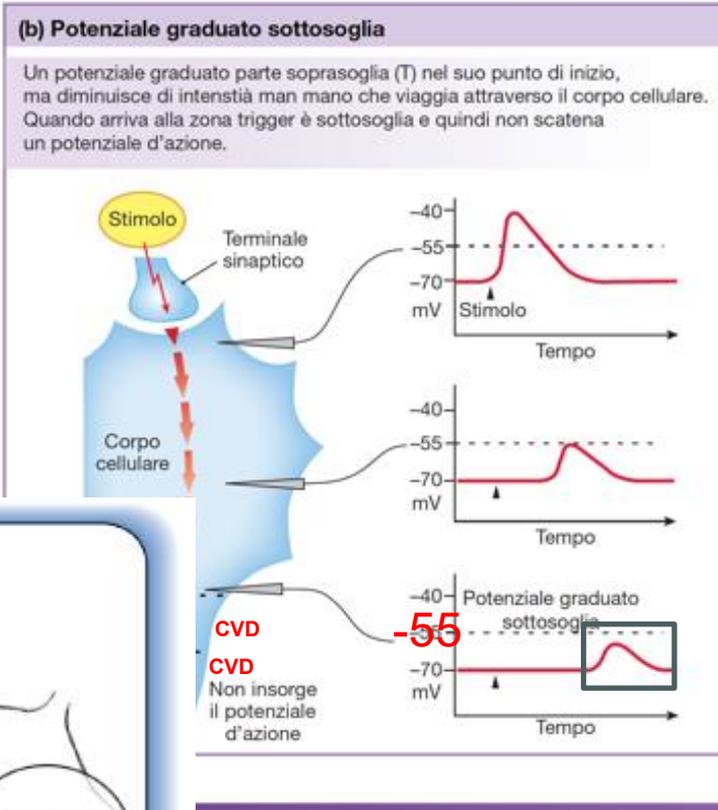
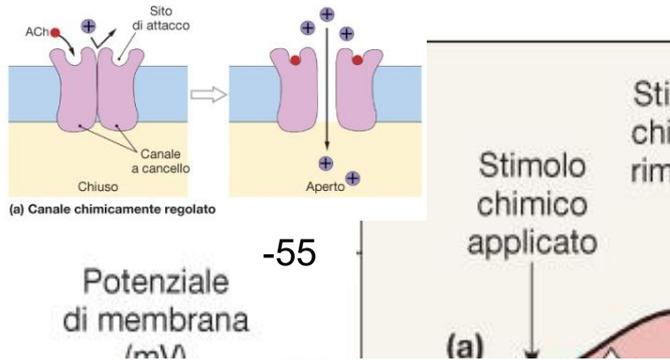
# Movimenti ionici attraverso la membrana modificano il potenziale di membrana.....

## DEPOLARIZZAZIONE



# Movimenti ionici attraverso la membrana modificano il potenziale di membrana.....

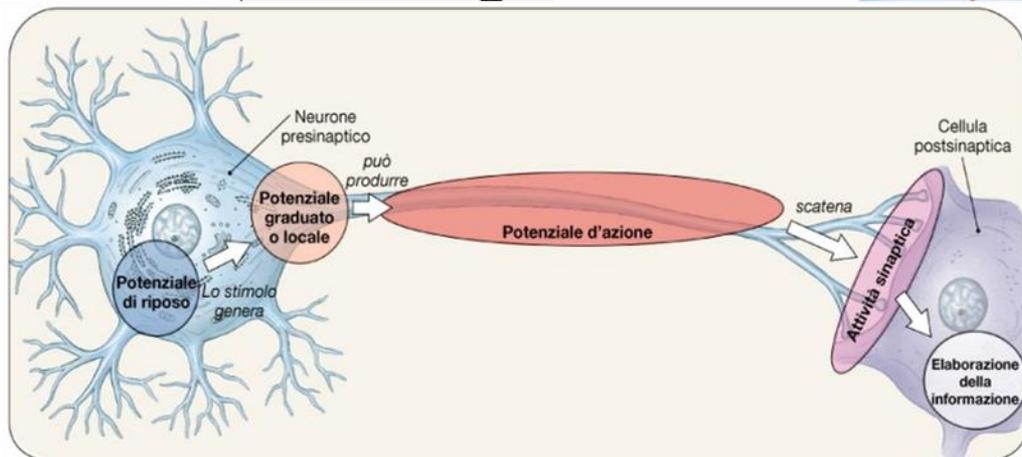
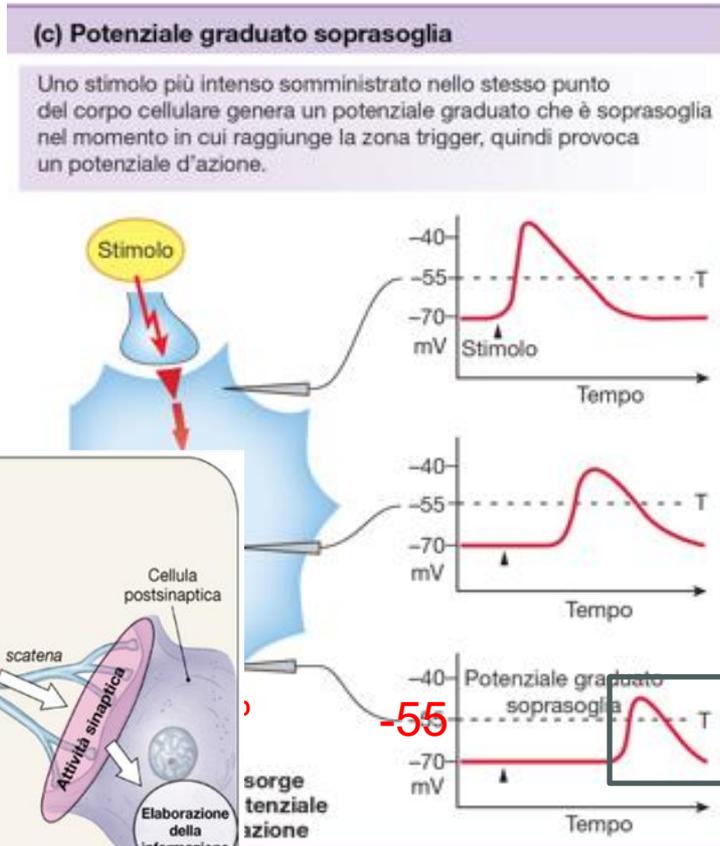
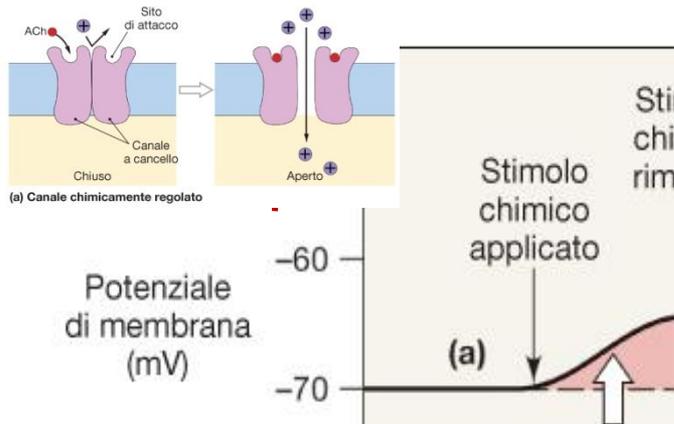
## DEPOLARIZZAZIONE



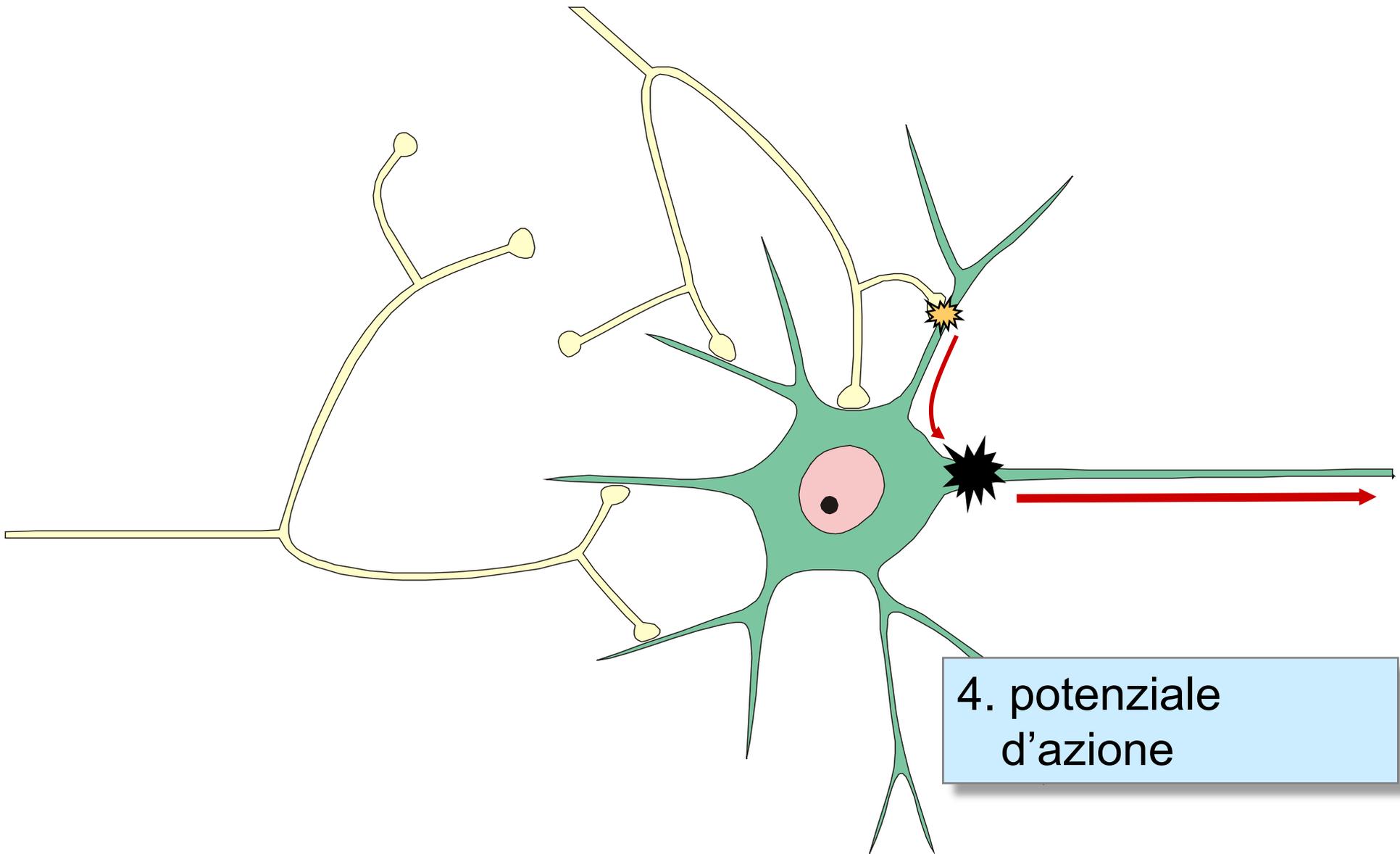
# Movimenti ionici attraverso la membrana modificano il potenziale di membrana.....

## DEPOLARIZZAZIONE

# Valore soglia per dare il via al potenziale di azione = segnale elettrico



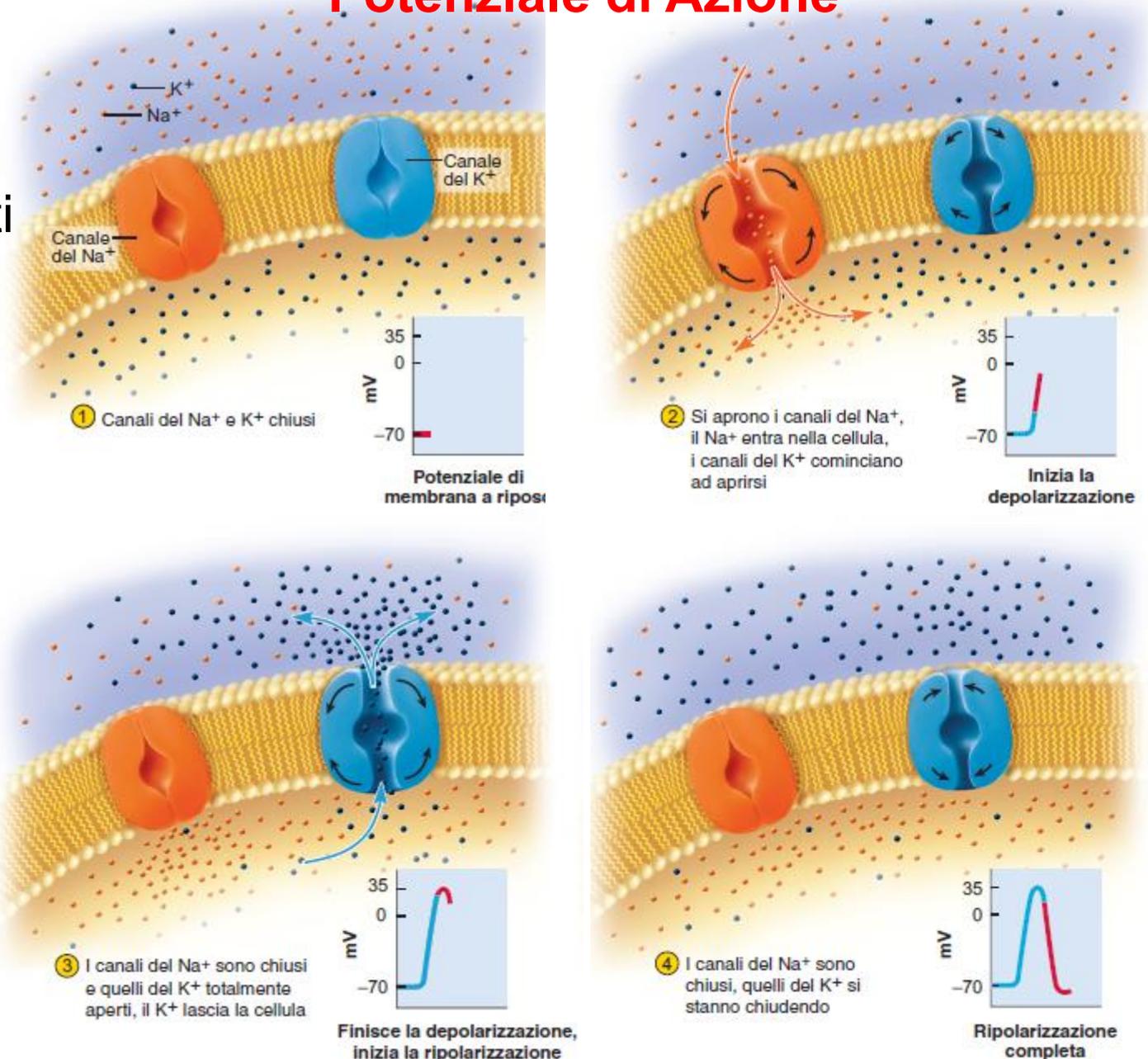
# IL FLUSSO DI INFORMAZIONI



4. potenziale  
d'azione

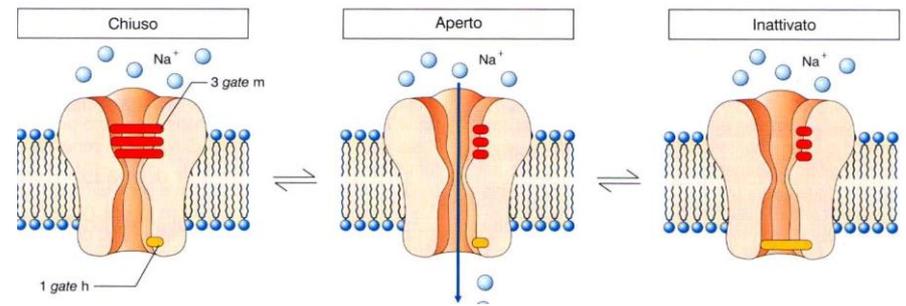
# Potenziale di Azione

## Canali voltaggio dipendenti

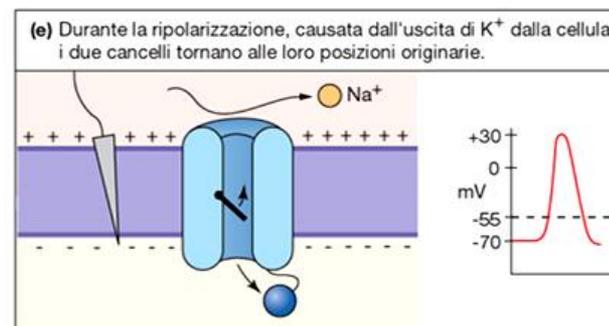
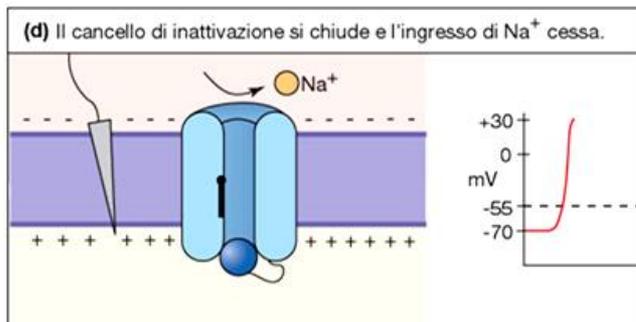
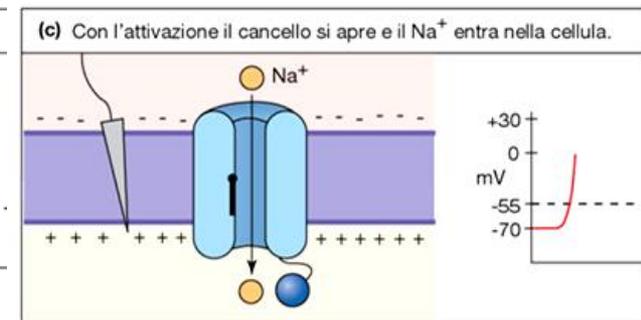
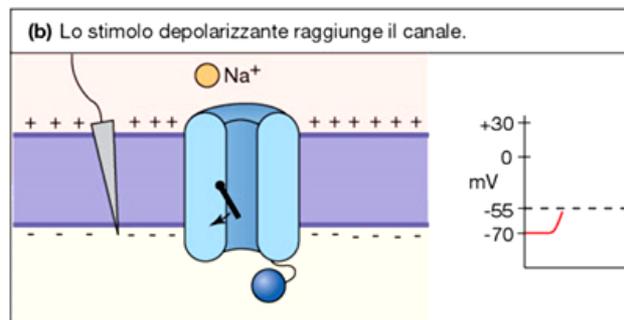
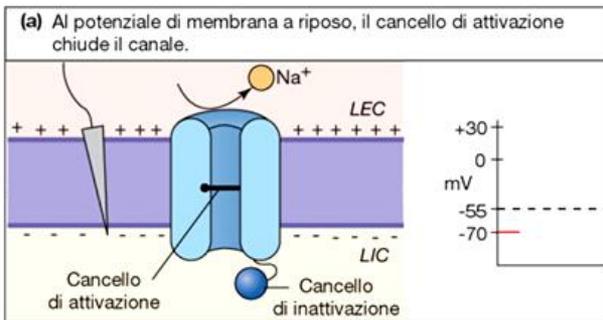


**FIGURA 12.14** Comportamento dei canali del sodio e del potassio durante il potenziale d'azione. La parte in rosso di ciascun grafico mostra il punto nel potenziale d'azione in cui si verificano i singoli eventi raffigurati nelle fasi da 1 a 4.

# Stati conformazionali del canale del $\text{Na}^+$ voltaggio-dipendenti

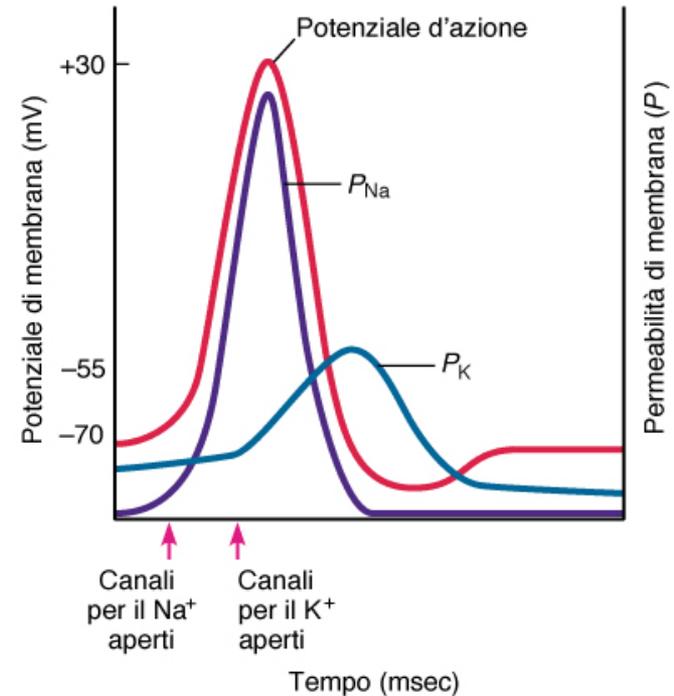
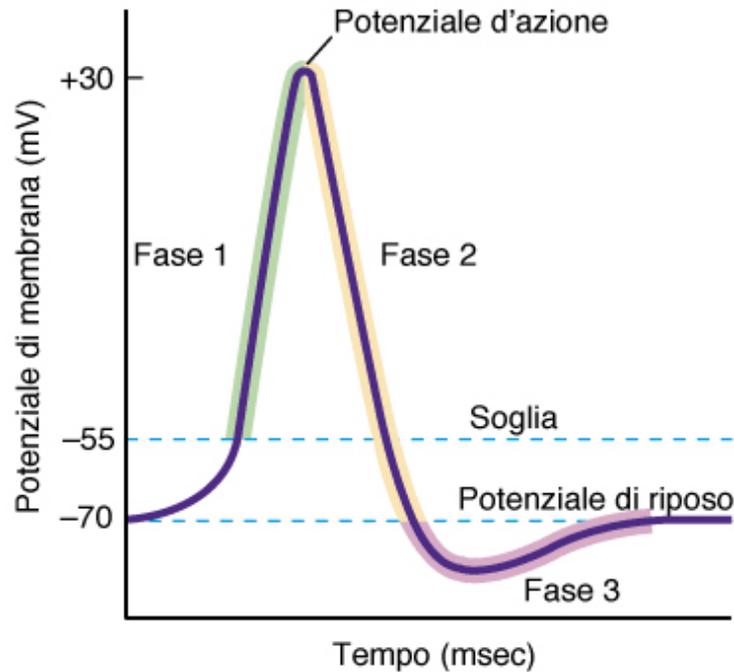


## Potenziale di Azione



Riassumendo...

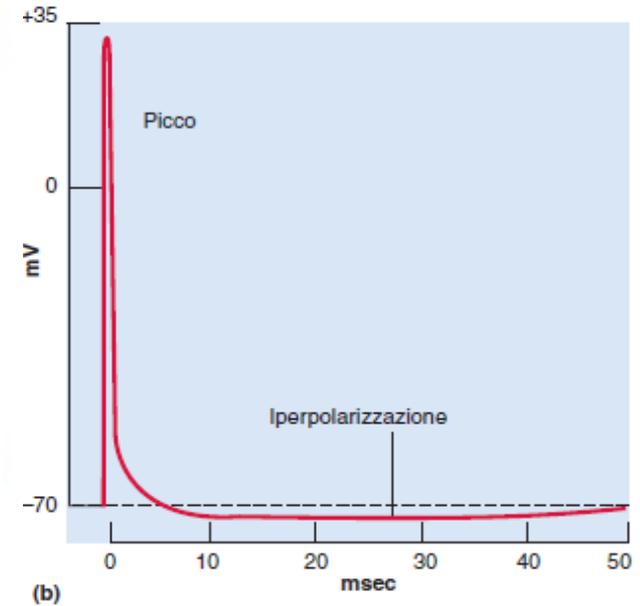
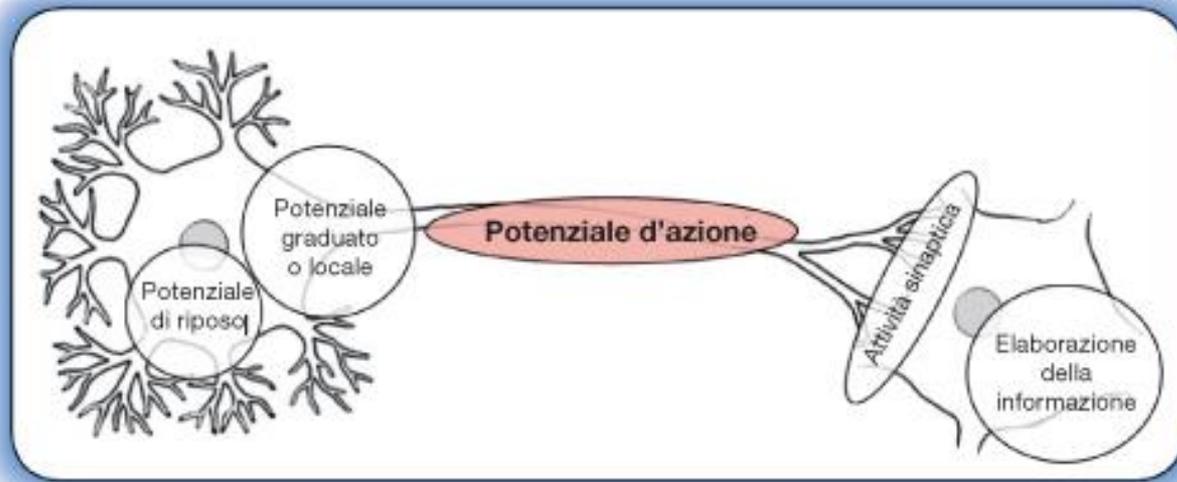
# IL POTENZIALE D'AZIONE



Il potenziale d'azione è dovuto a cambiamenti transitori della permeabilità agli ioni

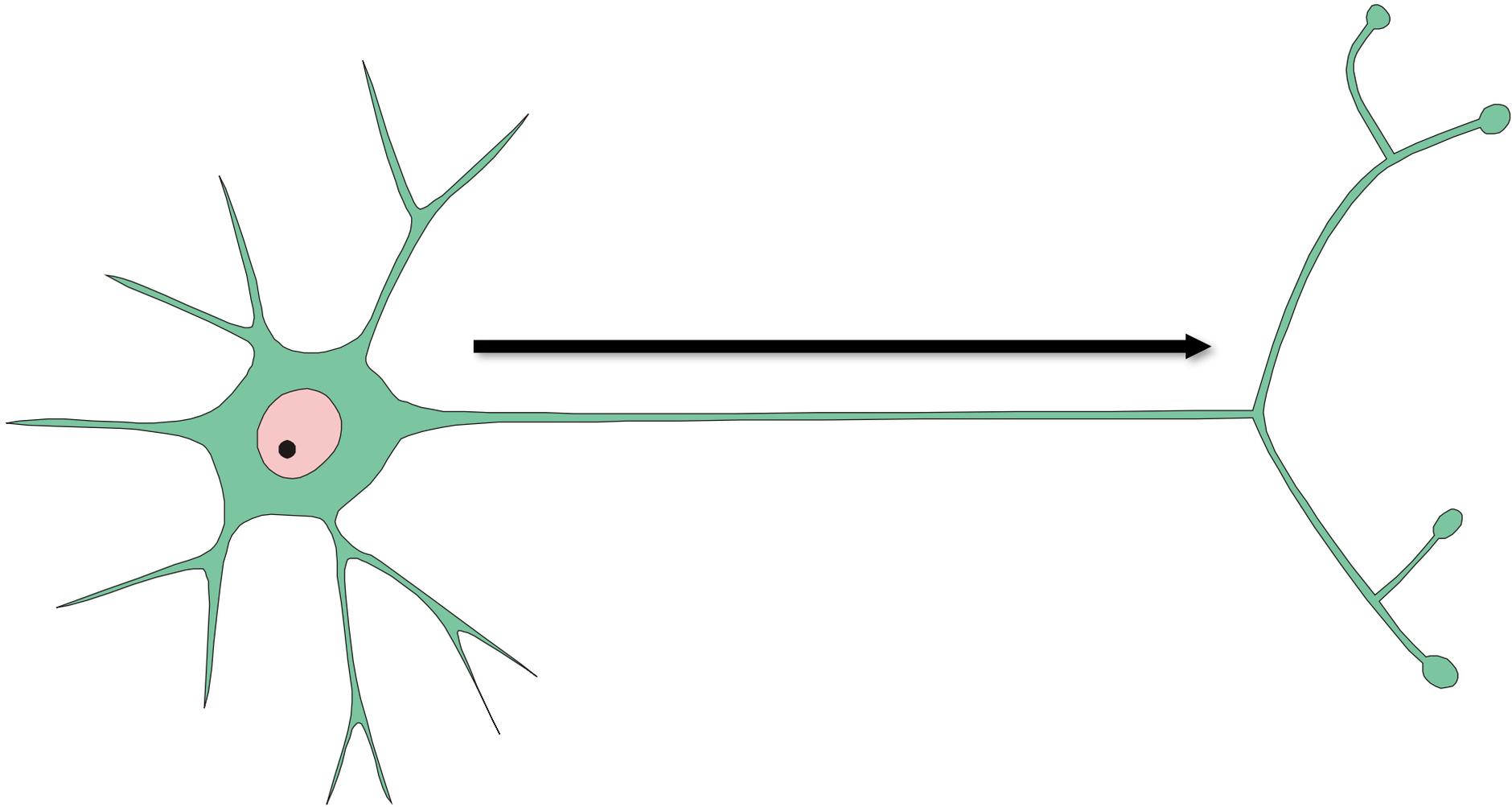
1. Fase di depolarizzazione
2. Fase di ripolarizzazione
3. Fase di iperpolarizzazione postuma

# Potenziale di Azione



Rappresenta **rapide depolarizzazioni della membrana che si propagano lungo l'assone**, dovute a modificazioni della permeabilità della membrana conseguenti all'apertura o chiusura di canali ionici voltaggio dipendenti

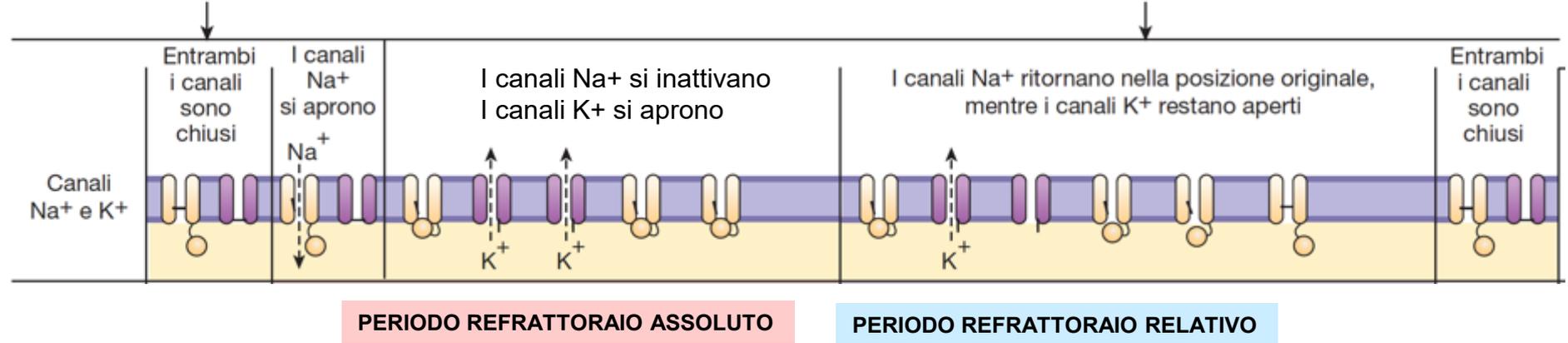
# LA TRASMISSIONE DI INFORMAZIONI



# REFRATTARIETA

Quando durante una certa fase è mostrato un singolo canale significa che la maggior parte dei canali si trova in quello stato.

Quando viene mostrato più di un canale di un certo tipo, significa che i canali possono trovarsi nei diversi stati descritti.

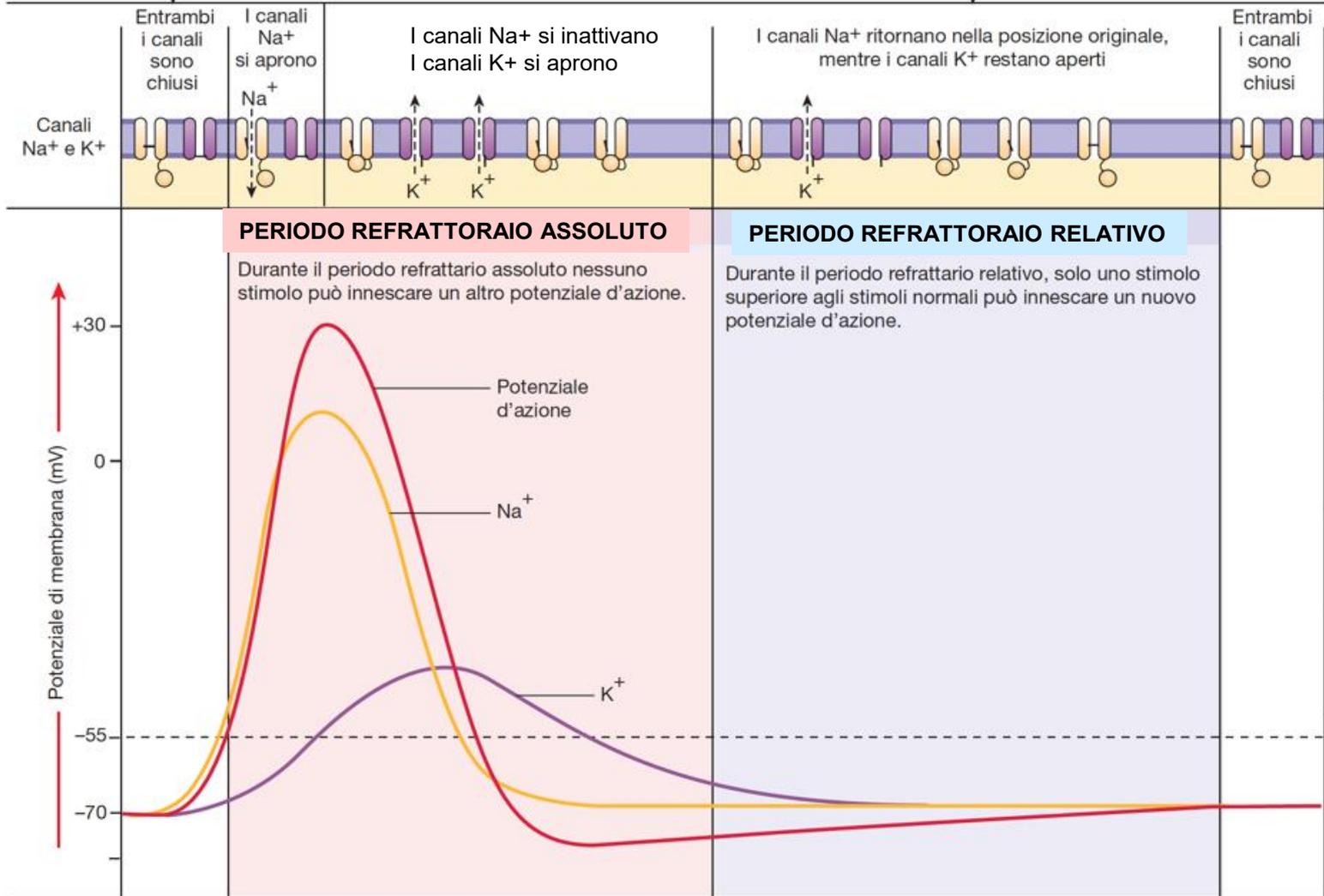


# REFRATTARIETA

,

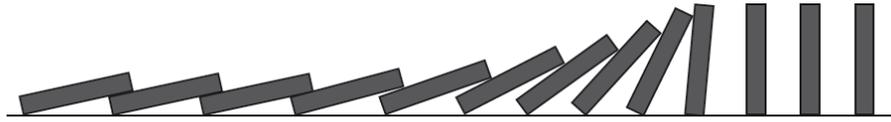
Quando durante una certa fase è mostrato un singolo canale significa che la maggior parte dei canali si trova in quello stato.

Quando viene mostrato più di un canale di un certo tipo, significa che i canali possono trovarsi nei diversi stati descritti.

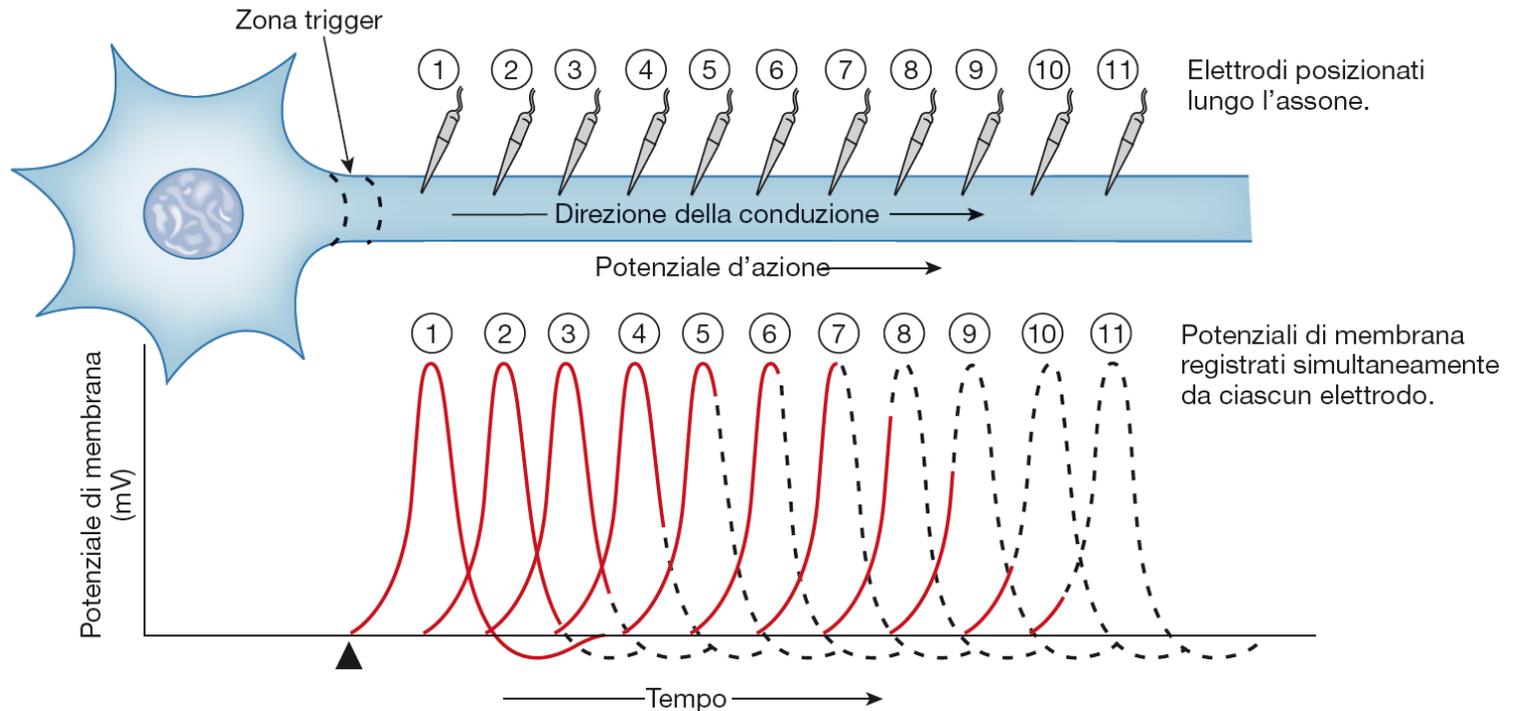


## CONDUZIONE DI UN POTENZIALE D'AZIONE

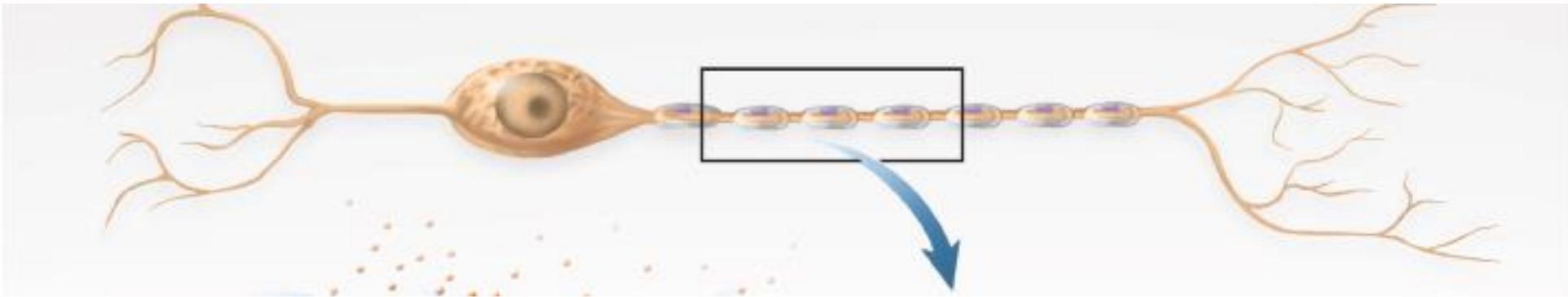
- (a) La trasmissione di potenziali d'azione può essere paragonata a un'“istantanea” di una serie di tessere di domino che cadono. In una serie di questo tipo, ogni tessera è in una posizione diversa. Nell'assone, ciascuna zona di membrana è in una diversa fase del potenziale d'azione.



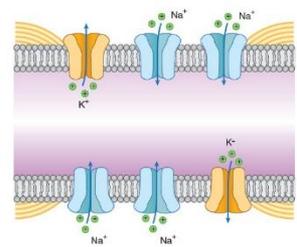
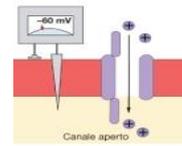
- (b) Un'onda di corrente elettrica percorre l'assone.



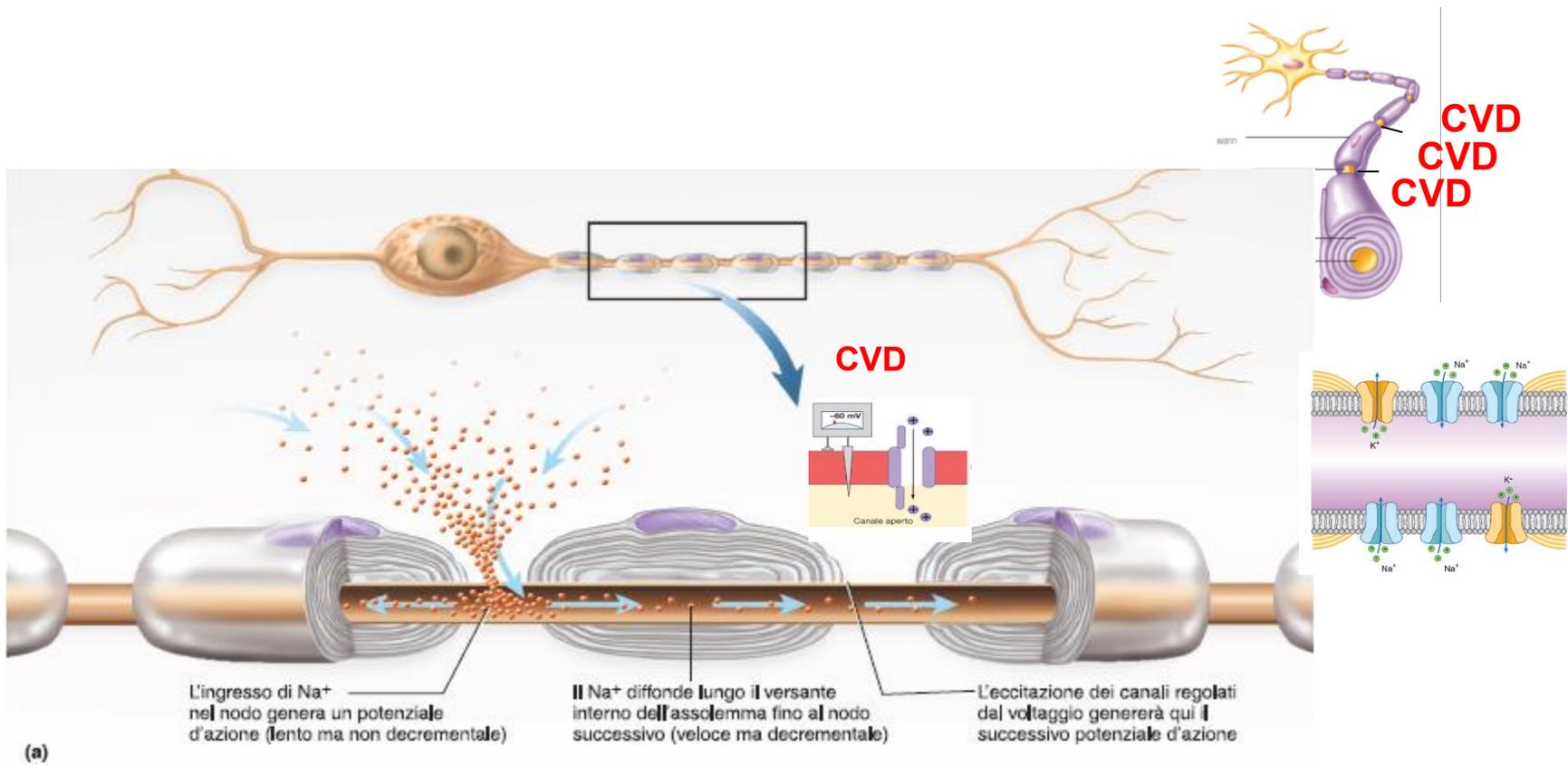
Registrazioni simultanee mostrano che ogni sezione dell'assone sta attraversando una fase diversa del potenziale d'azione.



**CVD**



# CONDUZIONE SALTATORIA IN ASSONI MIELINICI

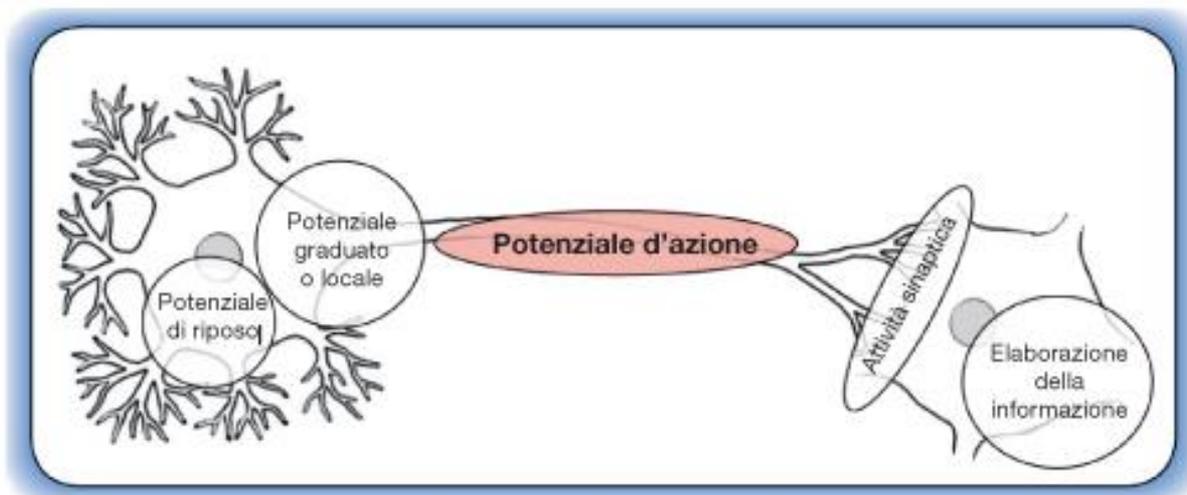


- La **mielina si comporta da isolante**, rendendo minima la dispersione ionica attraverso la membrana neuronale.
- La **corrente fluisce fino al successivo nodo di Ranvier**
- che viene depolarizzato fino al valore soglia **per generare un nuovo potenziale di azione**

# GENESI DEI SEGNALI ELETTRICI

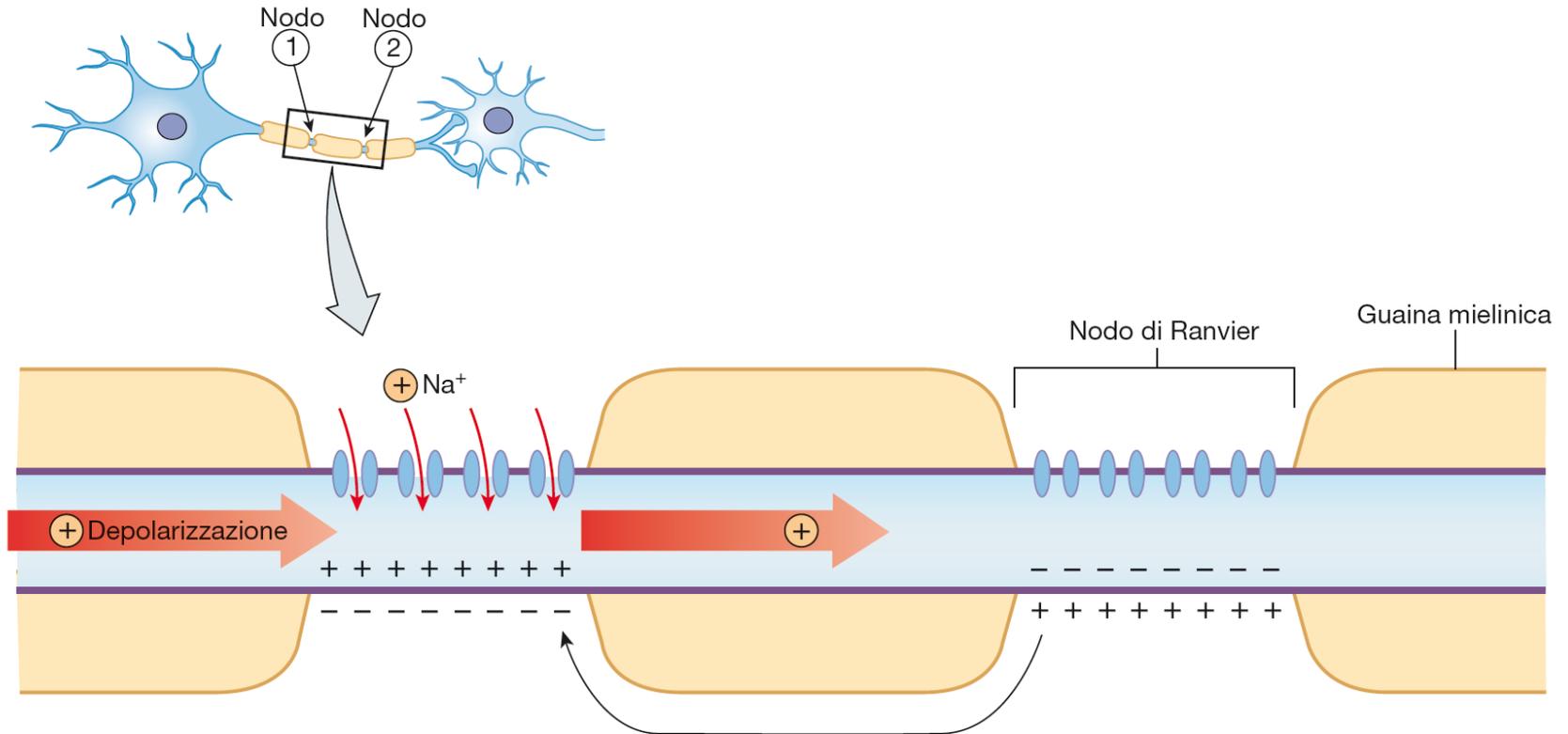
**Potenziale di Azione:** si genera in tessuti eccitabili in risposta a potenziali graduati che raggiungono la soglia.

Rappresenta **rapide depolarizzazioni della membrana che si propagano lungo l'assone**, dovute a modificazioni della permeabilità della membrana conseguenti all'apertura o chiusura di canali ionici voltaggio dipendenti

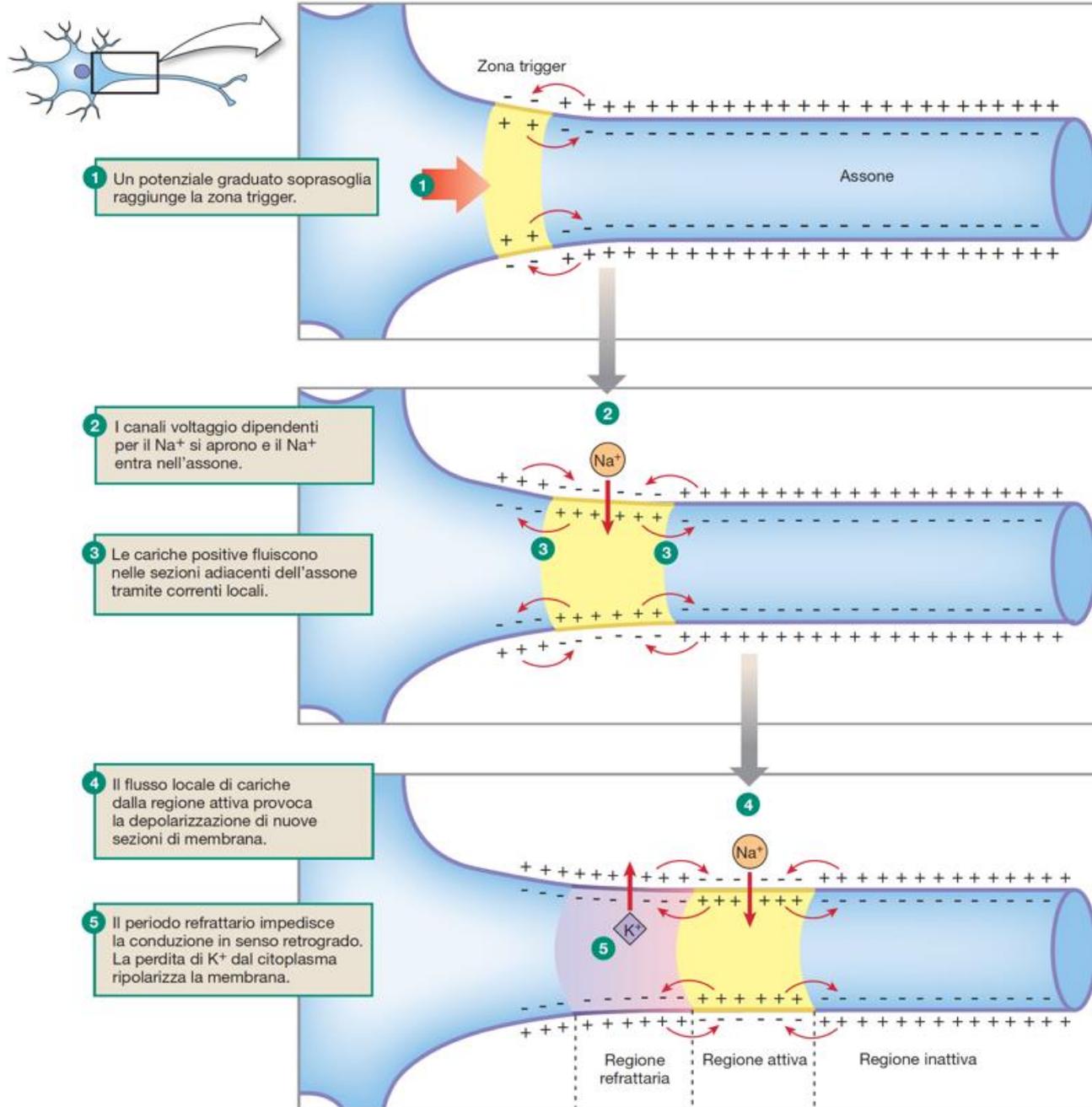


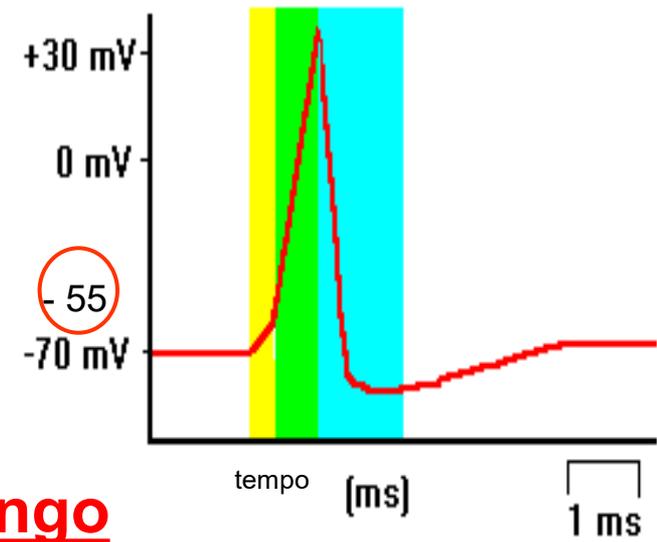
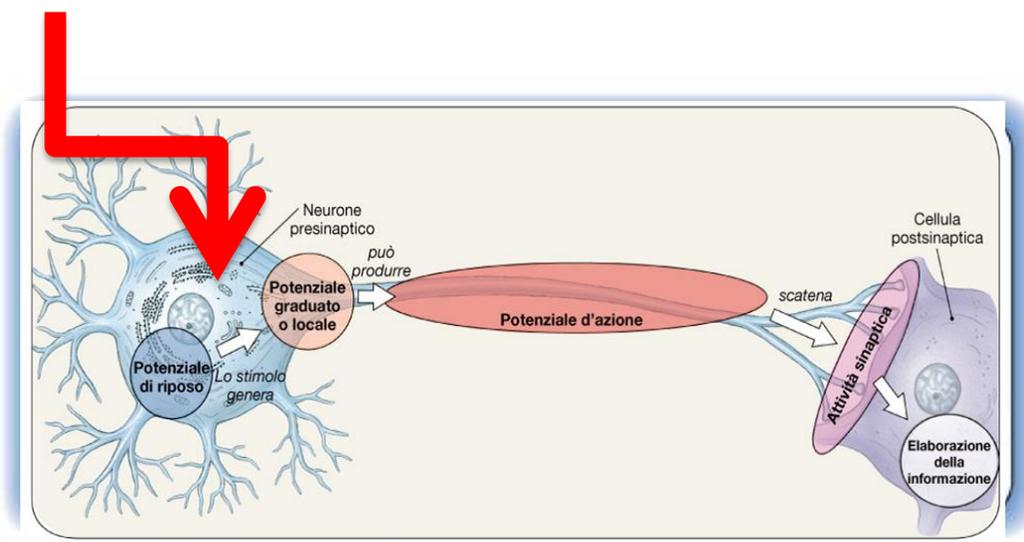
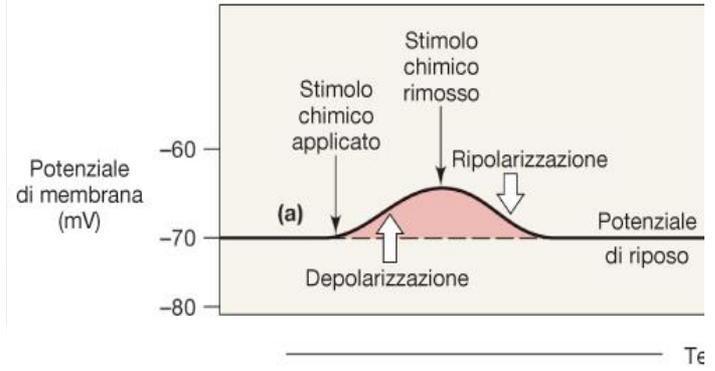
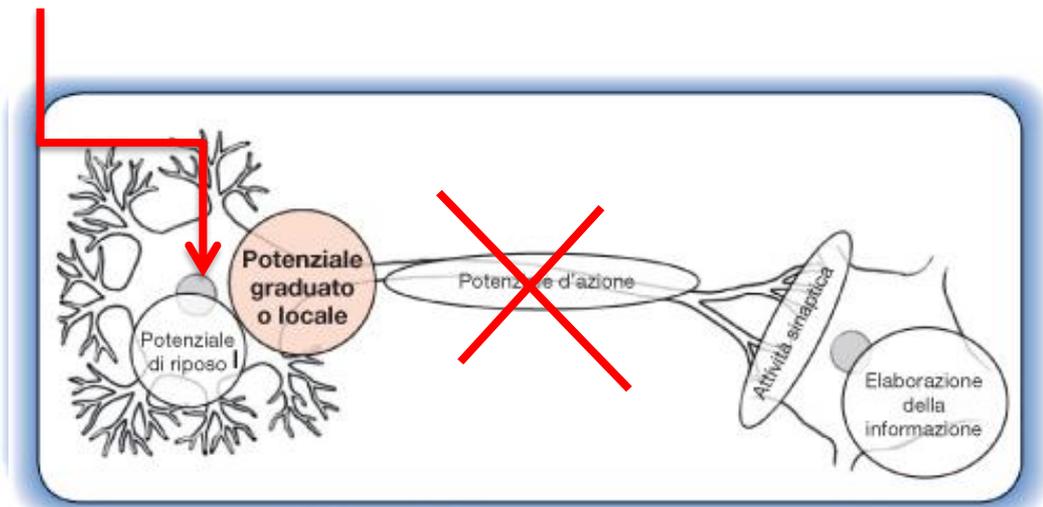
## CONDUZIONE SALTATORIA

(a) I potenziali d'azione sembrano saltare da un nodo di Ranvier al successivo. Solo i nodi hanno canali per il  $\text{Na}^+$  voltaggio-dipendenti.



Nella conduzione, il continuo ingresso di  $\text{Na}^+$  lungo l'assone quando i canali per l' $\text{Na}^+$  si aprono genera un segnale elettrico la cui intensità rimane costante all'aumentare della distanza.





Un **PA** si **propaga senza decremento lungo l'assone** a partire dal monticolo assonico fino al terminale assonico

## TABELLA 12.2

## Confronto tra potenziale locale

Potenziale locale	P
Prodotto da canali regolati sui dendriti e sul soma.	P
Può essere costituito da una modificazione del voltaggio in senso positivo (depolarizzante) o negativo (iperpolarizzante).	In
<u>Graduabile; proporzionale all'intensità dello stimolo.</u>	Ti pi
<u>Reversibile; ritorna al PMR se la stimolazione cessa prima che la soglia sia raggiunta.</u>	In
<u>Locale; esercita i suoi effetti solo entro una breve distanza dal punto di origine.</u>	A o
<u>Decrementale; il segnale diventa più debole con la distanza.</u>	N in

## le e potenziale d'azione

### Potenziale d'azione

Prodotto da canali regolati dal voltaggio localizzati a livello della zona trigger e dell'assone.

Inizia sempre con una depolarizzazione.

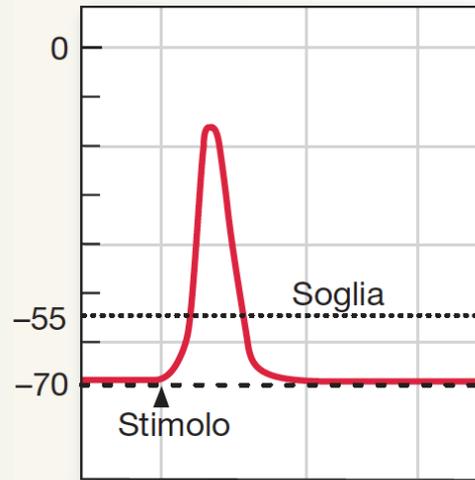
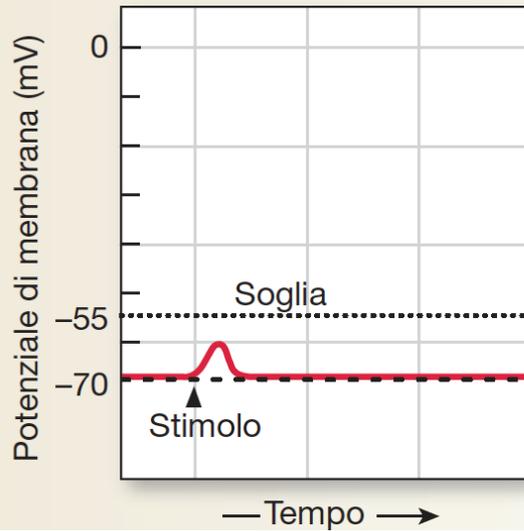
Tutto o nulla; può o non verificarsi affatto o presentare lo stesso picco di voltaggio indipendentemente dall'intensità dello stimolo.

Irreversibile; va a completamento una volta che è innescato.

Auto-propagantesi; esercita effetti a distanza notevole dal punto di origine.

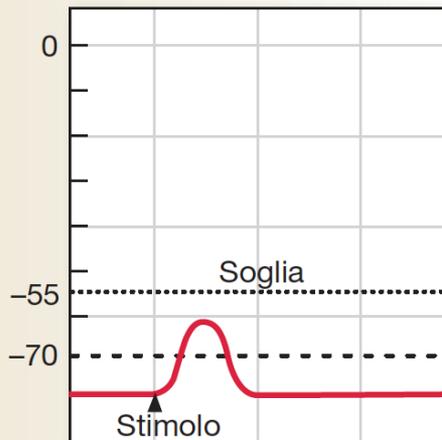
Nondecrementale; il segnale mantiene la stessa intensità indipendentemente dalla distanza.

Plasma normale:  $[K^+] = 3,5 - 5 \text{ mM}$ .



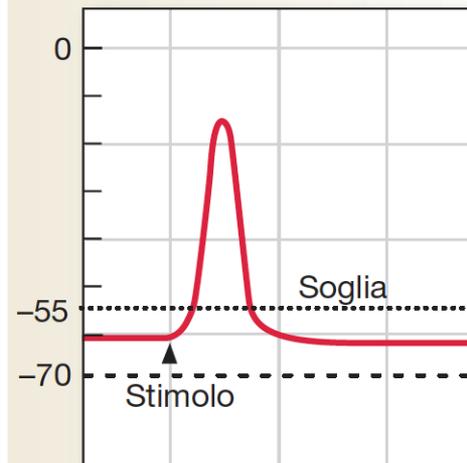
## IPOKALIEMIA

L'ipocaliemia iperpolarizza le cellule.

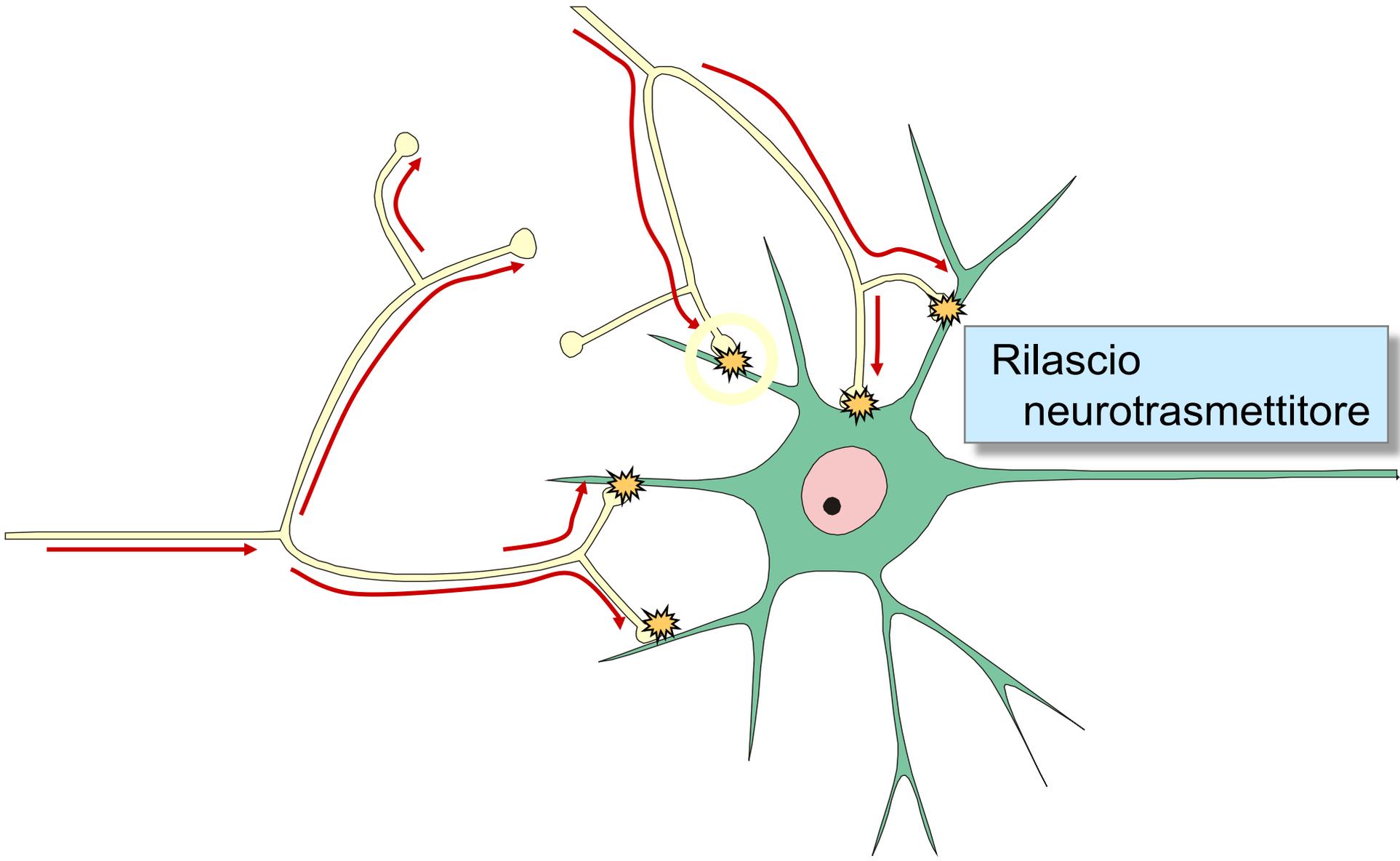


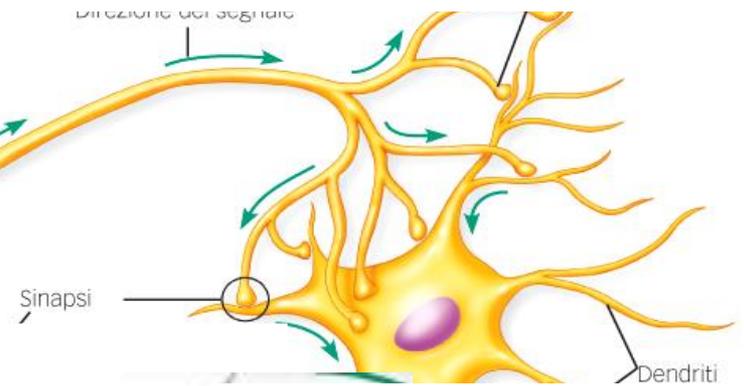
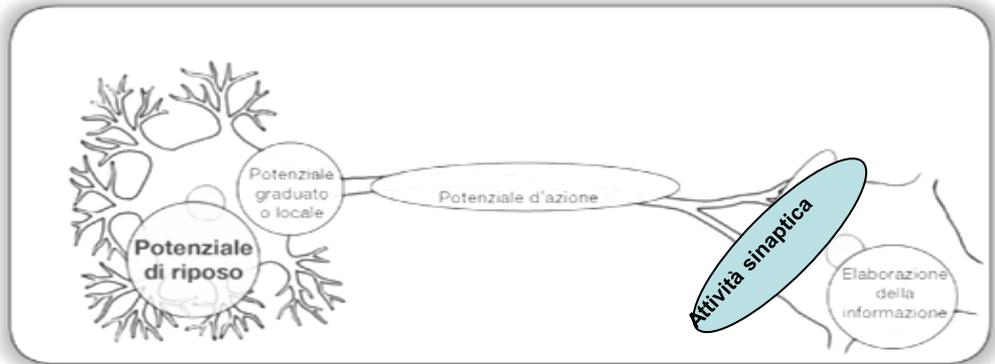
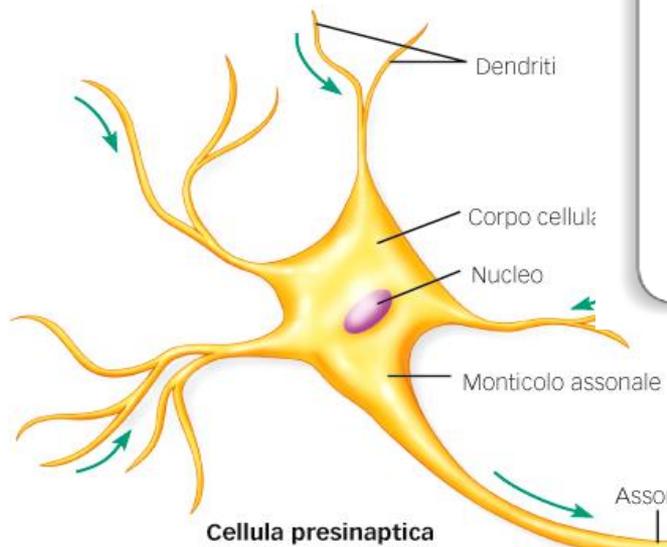
## IPERKALIEMIA

L'iperkaliemia depolarizza le cellule.

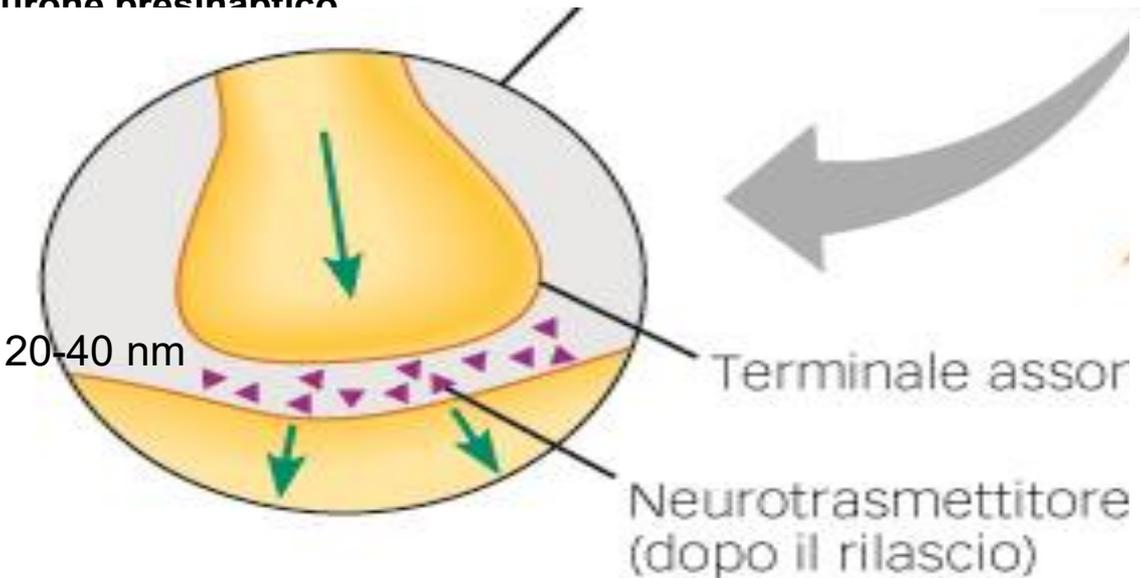


# IL FLUSSO DI INFORMAZIONI

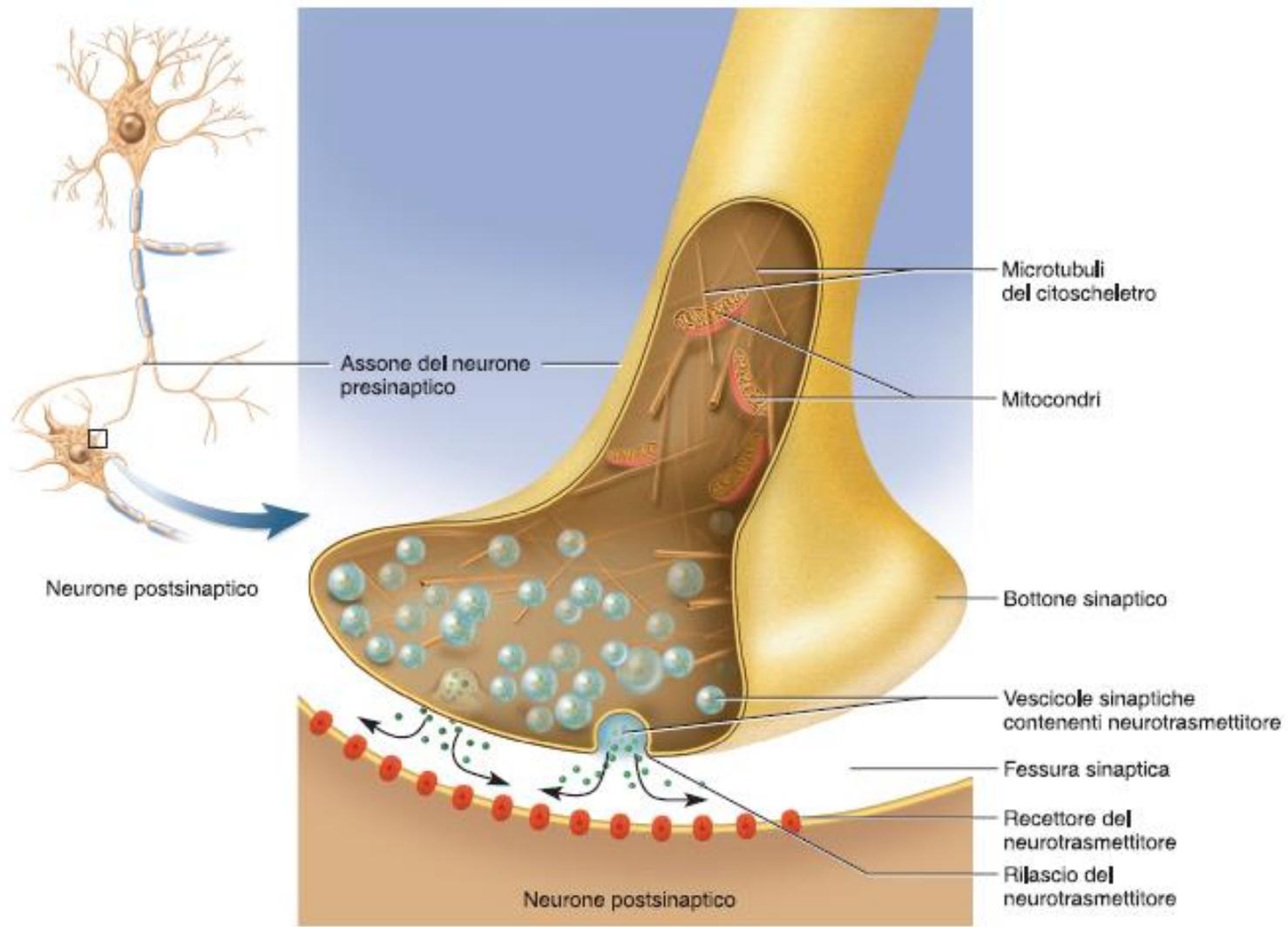




**Neurone presinaptico**

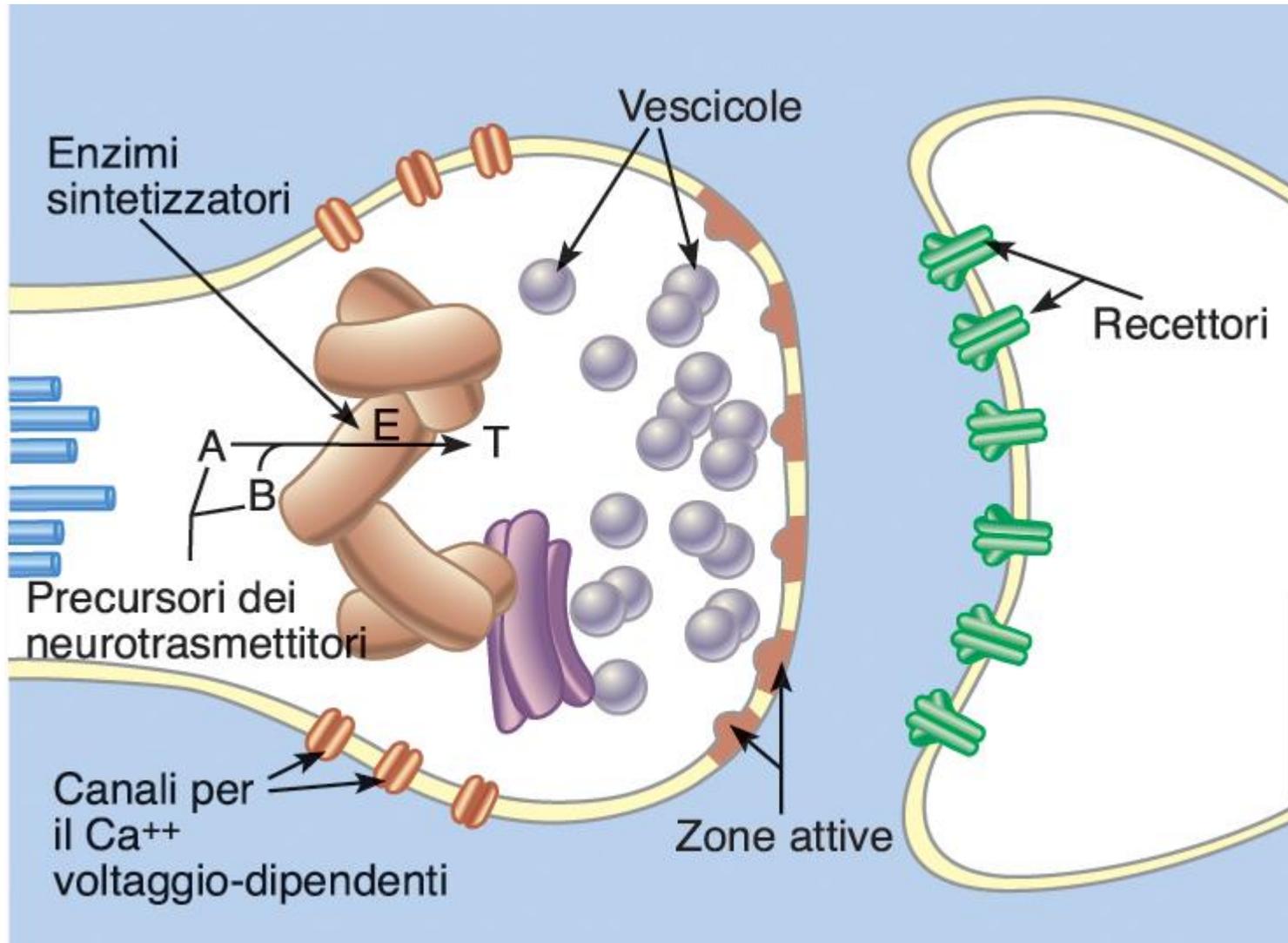


**Neurotrasmettitore:**  
 “segnale chimico”  
 che permette il  
 passaggio del  
 segnale da un  
 neurone al neurone  
 vicino

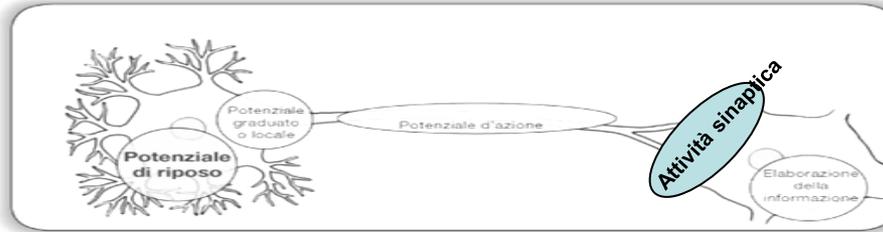


**FIGURA 12.20** Struttura di una sinapsi chimica.

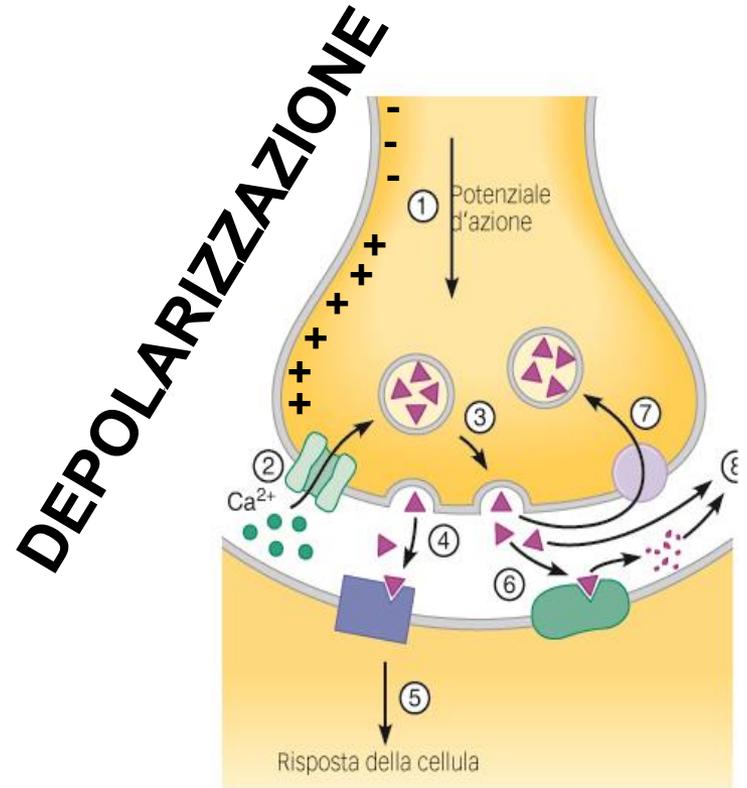
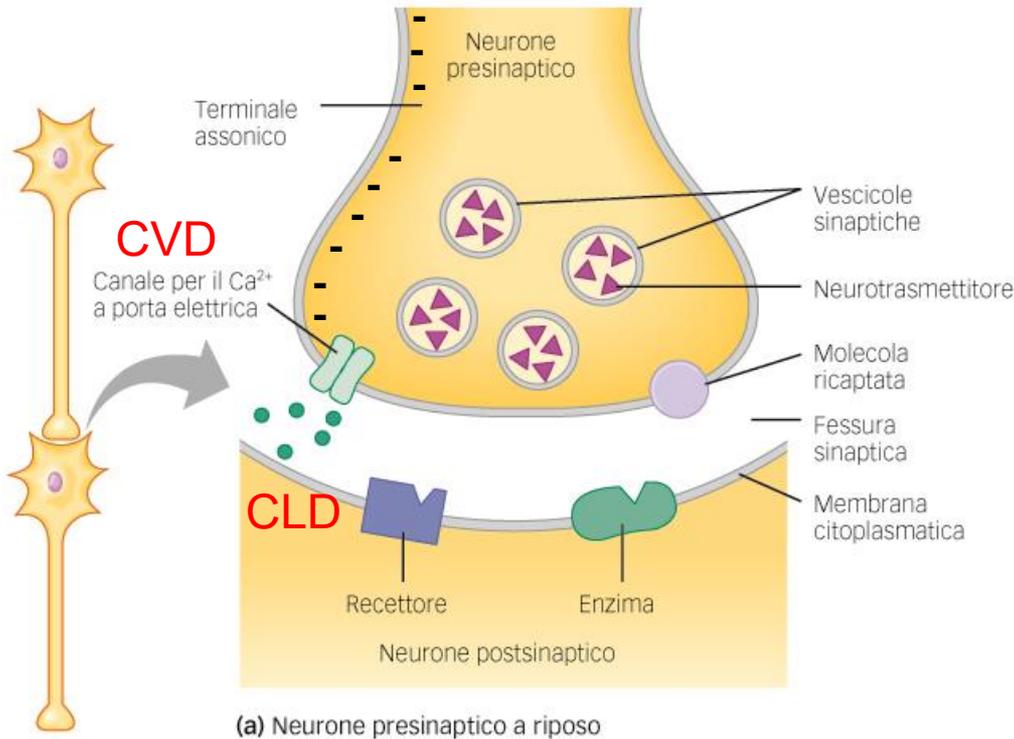
# Dalla struttura alla fisiologia



# TRASMISSIONE SINAPTICA



## SINAPSI CHIMICA



....rilascio e diffusione  
del neurotrasmettitore

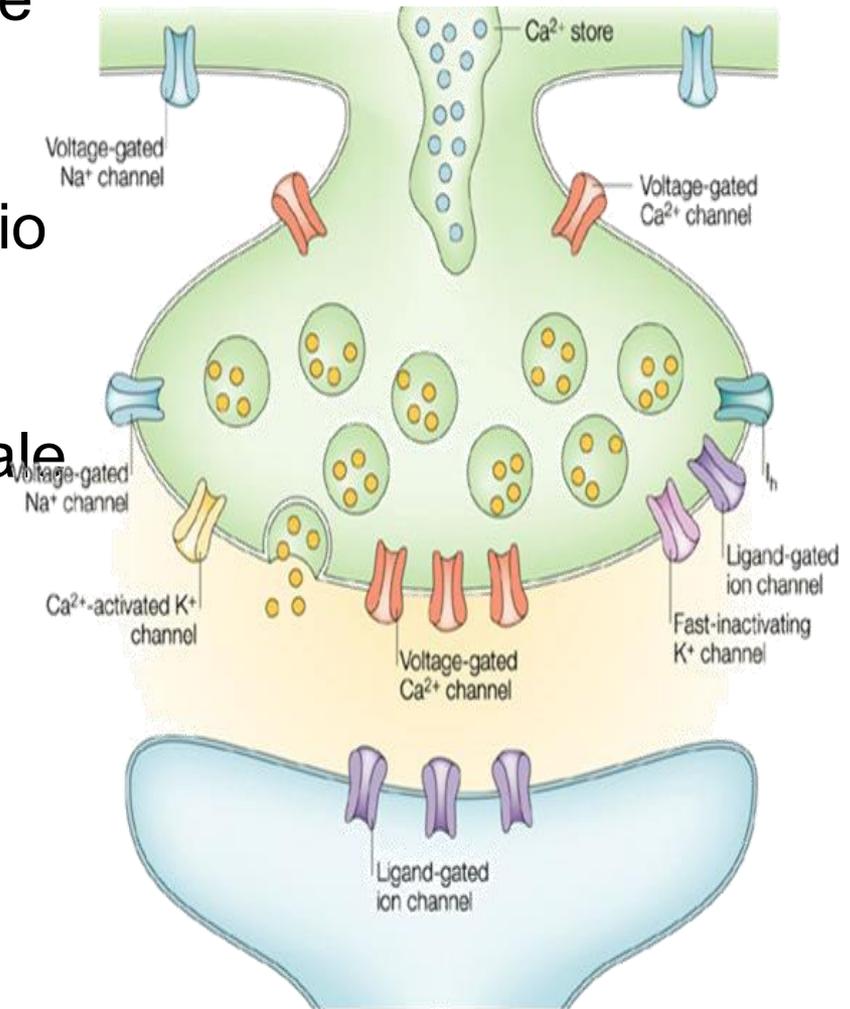
# Sequenza degli eventi (sinapsi chimica)

1. Arrivo del potenziale d'azione nel terminale assonico

2. Attivazione dei canali al calcio voltaggio attivati

3. Ingresso di  $\text{Ca}^{2+}$  nel terminale che stimola la fusione delle vescicole con la membrana plasmatica

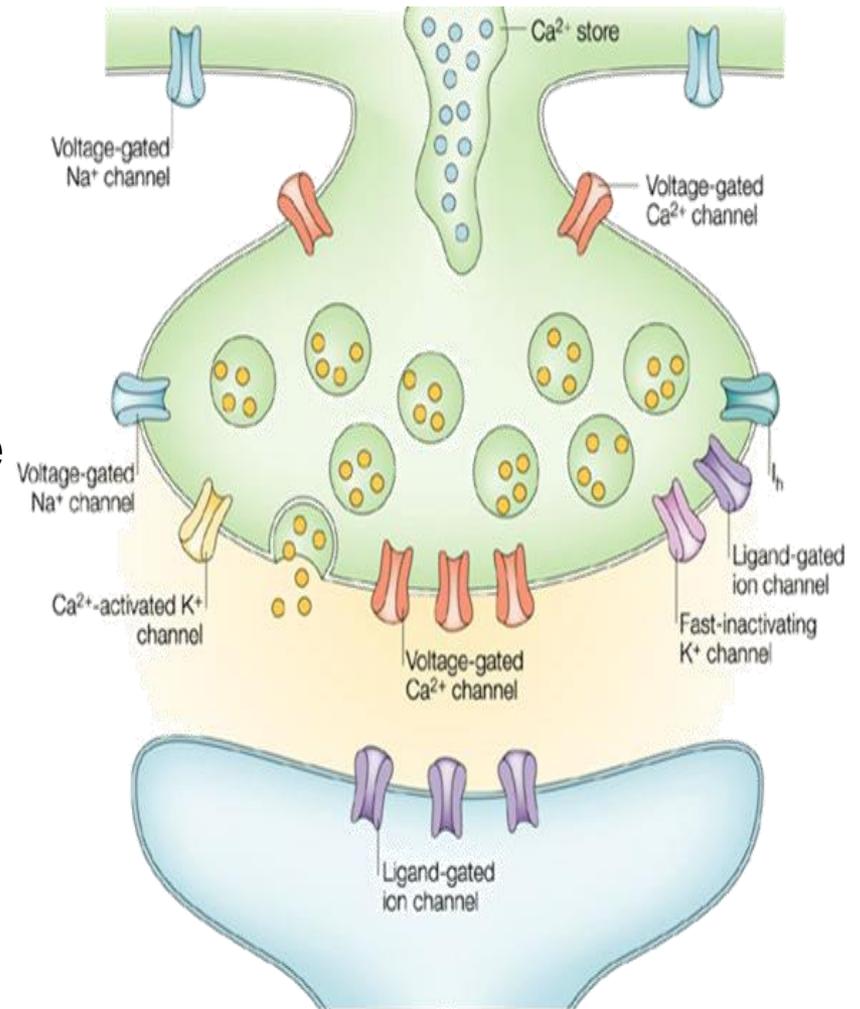
4. Liberazione del neurotrasmettitore nello spazio sinaptico



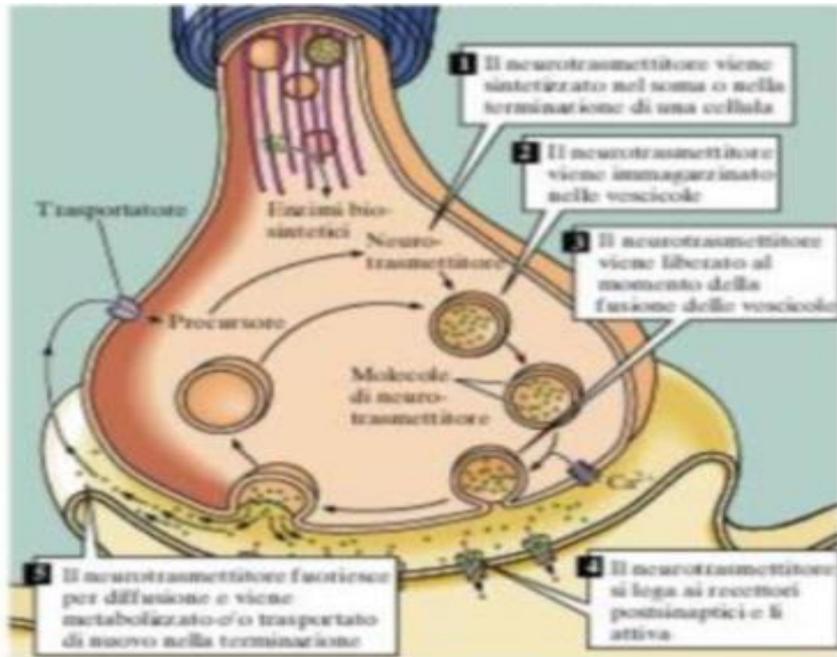
# Sequenza degli eventi (sinapsi chimica)

5. Legame del neurotrasmettitore ai recettori della membrana postsinaptica

6. Apertura dei canali associati ai recettori che permette il flusso ionico secondo il gradiente elettrochimico eccitando o inibendo la cellula postsinaptica



# I neurotrasmettitori



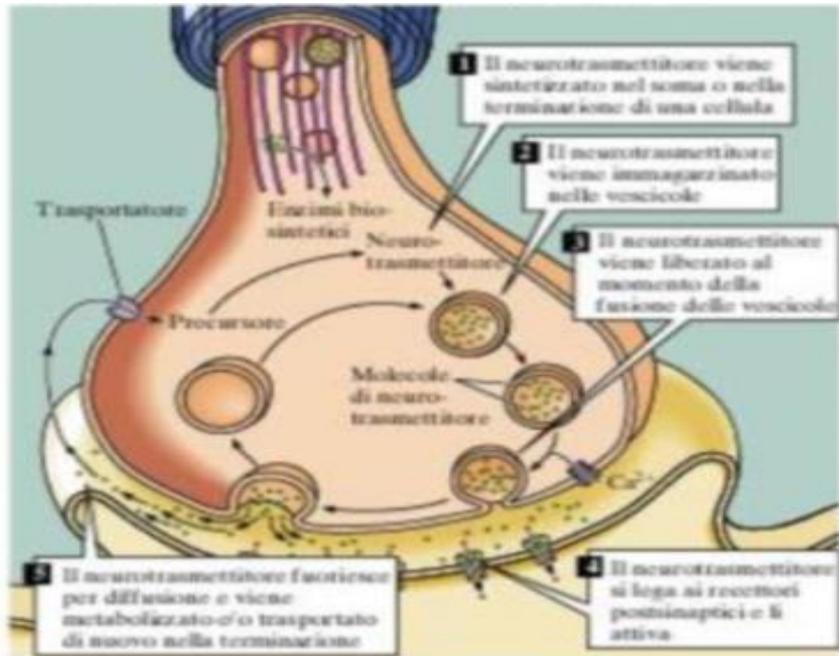
Il numero di molecole identificate come neurotrasmettitori è superiore al centinaio ed è in continua crescita.

- I neurotrasmettitori sono sintetizzati nel terminale presinaptico;

- Sono impacchettati in vescicole e rilasciati per esocitosi;

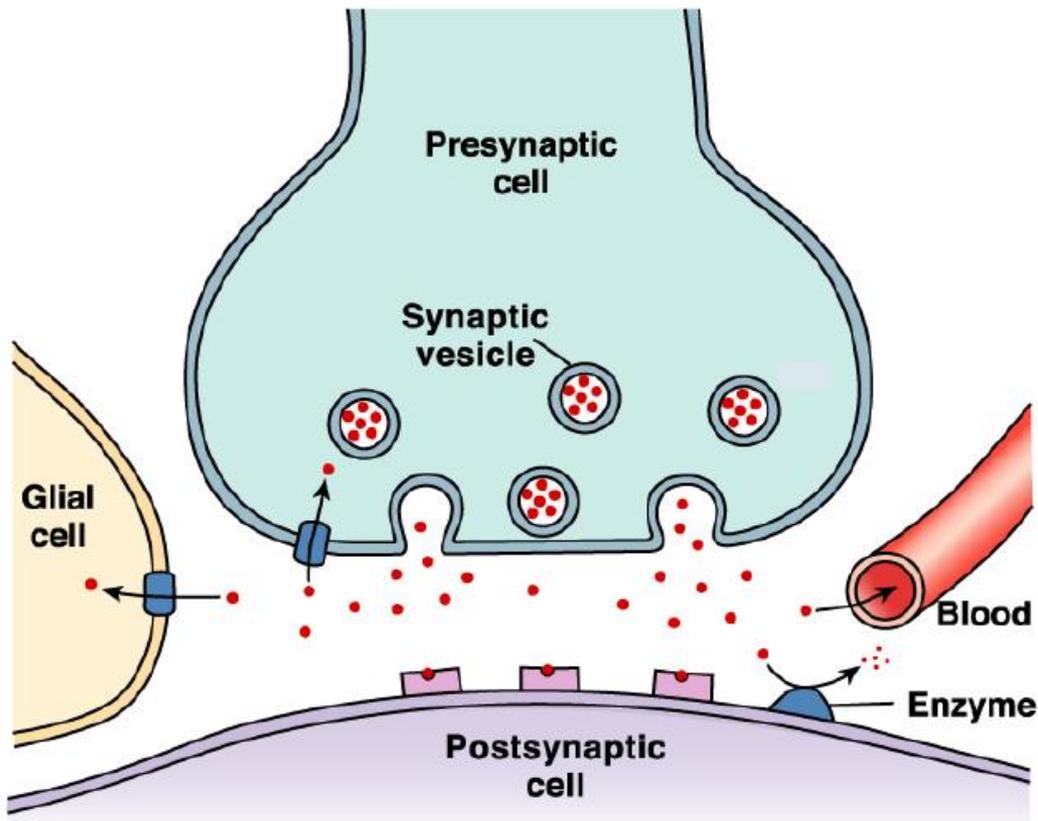
- Diffondono nello spazio intersinaptico e si legano a specifici recettori posti sulla membrana postsinaptica, alterandone in modo transiente le proprietà elettriche;

# I neurotrasmettitori



- Si legano con alta selettività ai recettori postsinaptici, attivandoli;
- La loro azione è bloccata da antagonisti recettoriali specifici;
- La loro azione termina per rimozione.

# Riciclo del neurotrasmettitore



Il neurotrasmettitore può essere ricaptato dal terminale assonico ma anche alle cellule gliali.

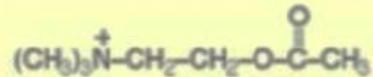
Può legarsi ad una proteina enzimatica dell'elemento post-sinaptico e degradato

o può essere riversato nel sangue come l'ADH e svolgere la funzione ormonale.

# I neurotrasmettitori a basso peso molecolare

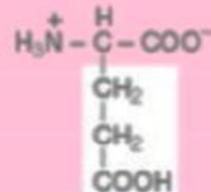
## NEUROTRASMETTITORI A BASSO PESO MOLECOLARE

Acetilcolina

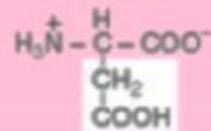


AMINOACIDI

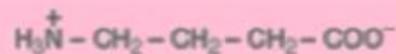
Glutammato



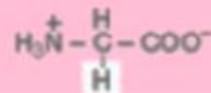
Aspartato



GABA

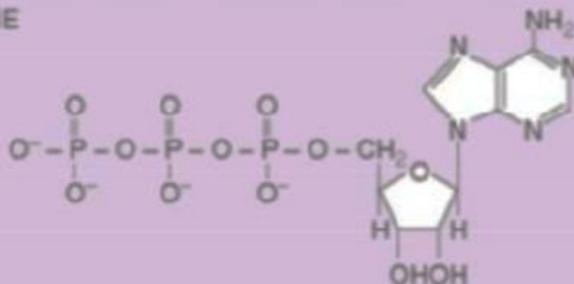


Glicina



PURINE

ATP

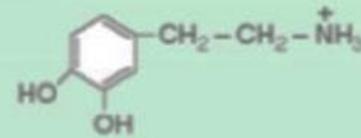


## AMMINE BIOGENE

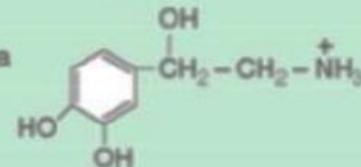
CATECOLAMMINE

tirosina

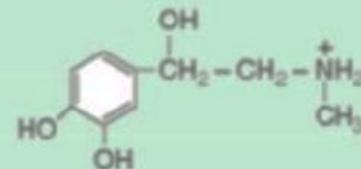
Dopamina



Noradrenalina



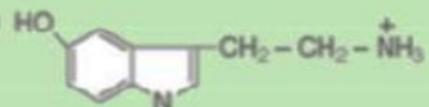
Adrenalina



INDOLAMINA

triptofano

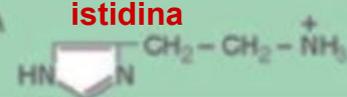
Serotonina (5-HT)



IMIDAZOLAMMINE

istidina

Istamina



# I NEUROTRASMETTITORI A BASSO PESO MOLECOLARE



QUESTI NEUROTRASMETTITORI VENGONO **LIBERATI MOLTO VELOCEMENTE**, ENTRO 1 MS DALL'ARRIVO DEL POTENZIALE D'AZIONE.

GENERALMENTE LE VESICOLE CONTENENTI IL NEUROTRASMETTITORE A BASSO PESO MOLECOLARE SONO ANCORATE ALLA MEMBRANA PRESINAPTICA, PER CUI UN AUMENTO DI CALCIO LOCALIZZATO IN PROSSIMITÀ DEI CANALI DEL CA NE FAVORISCE IL RAPIDO RILASCIO.

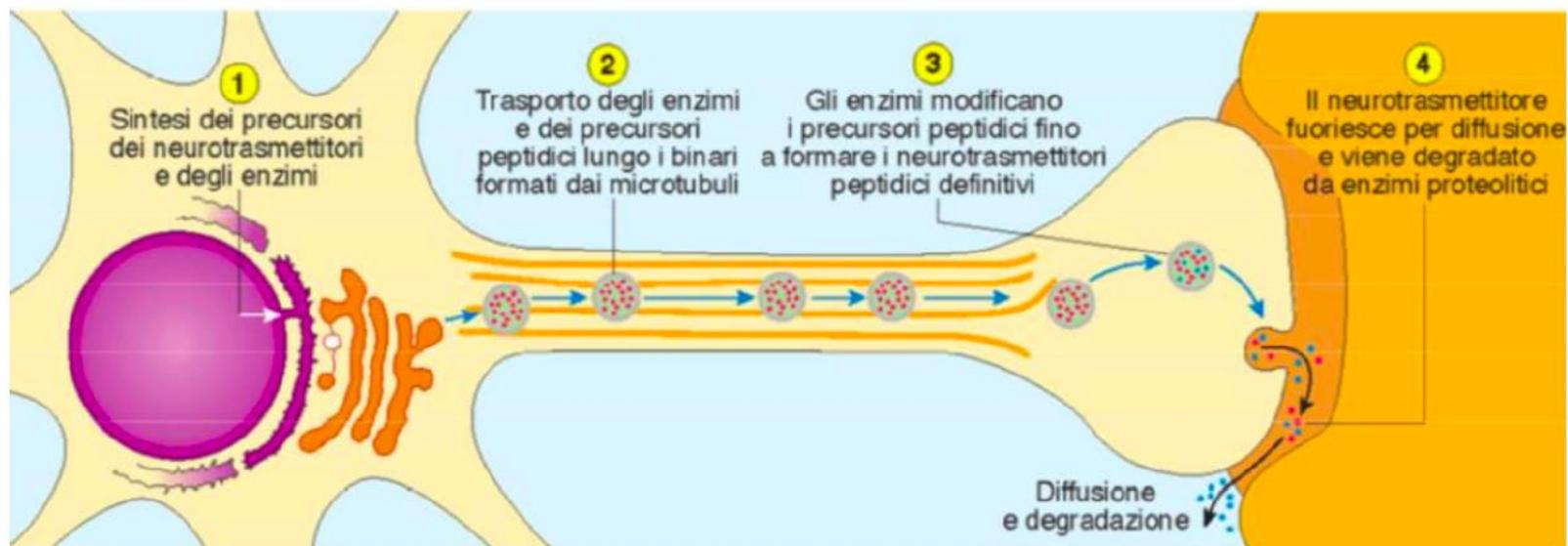
# neuropeptidi

NEUROPEPTIDI	Aminoacidi
Leu-encefalina	5
Met-encefalina	5
$\alpha$ -Endorfina	16
$\beta$ -Endorfina	30
Sostanza P	11
Somatostatina 14	14
Ormone rilasciante la tireotropina (TRH)	3
Ormone rilasciante l'ormone luteinizzante (LHRH)	10
Angiotensina II	8
Vasopressina	9
Ossitocina	9
Colecistochinina octapeptide (CCK-8)	8
Peptide intestinale vasoattivo (VIP)	27
Neuropeptide Y	36
Neurotensina	12
Bombesina (BBS-14)	14

## Neuro peptidi:

Ormone antidiuretico e ossitocina appaiono coinvolti nei meccanismi della memoria; sostanza p, presente nei neuroni sensitivi spinali, agisce nei meccanismi nervosi del dolore; livelli elevati di colecistochinina nel cervello causano sazietà; l'angiotensina stimola il bere; l'ormone LH-rilasciante stimola il comportamento sessuale

# NEUROPEPTIDI

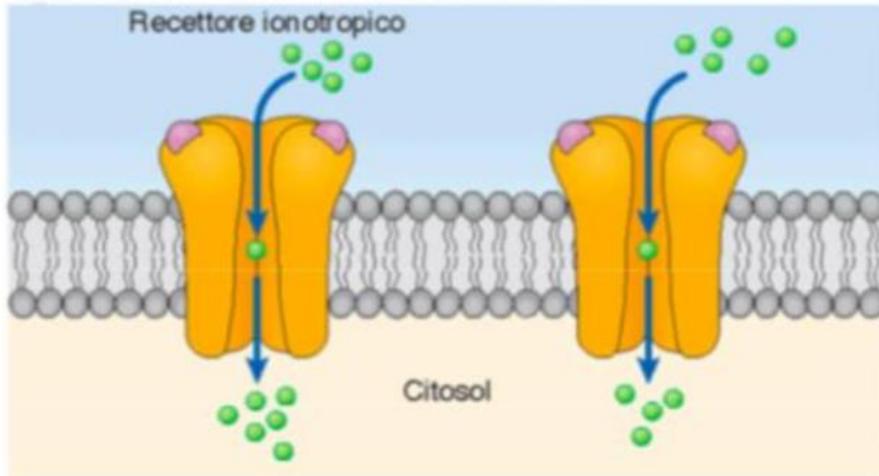


**A DIFFERENZA DEI TRASMETTITORI A BASSO PM, QUELLI PEPTIDICI SONO DEGRADATI ENZIMATICAMENTE E NON SONO RICAPTATI DA TRASPORTATORI.**

**LE SOSTANZE PEPTIDICHE CHE AGISCONO COME NEUROTRASMETTITORI SONO CENTINAIA, TRA CUI: OPPIACEI ENDOGENI (ENDORFINE, ENCEFALINE, DINORFINE) CHE MEDIANO L'ANALGESIA.**

# Tipi di recettori

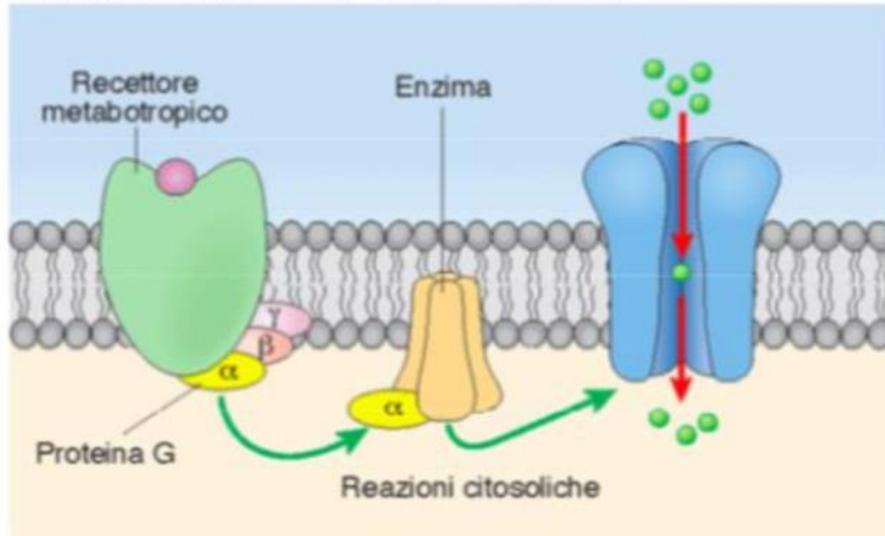
## RECETTORE IONOTROPO



## SINAPSI CHIMICA VELOCE

il neurotrasmettitore si lega ad un sito recettoriale di un canale ionico ligando-dipendente (recettore ionotropo o ionotropico)

## RECETTORE METABOTROPO



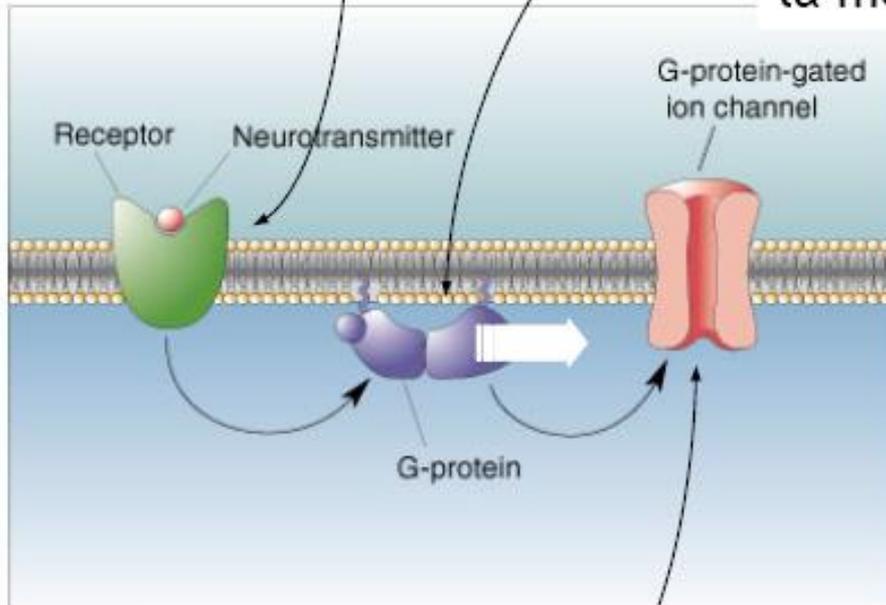
## SINAPSI CHIMICA LENTA

il neurotrasmettitore si lega ad un recettore che scatena una risposta indiretta attraverso dei meccanismi a cascata che vanno ad influenzare indirettamente la permeabilità della membrana postsinaptica (recettore metabotropo o metabotropico)

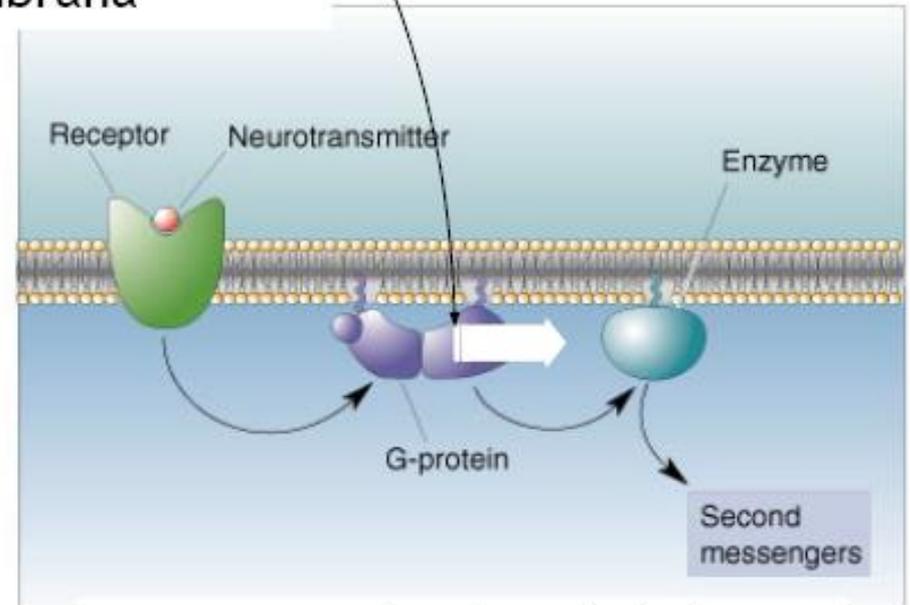
# Recettori accoppiati alla proteina G

**1** NT si lega al recettore proteico

**2** Il recettore proteico attiva la proteina G che **si sposta** lungo la membrana

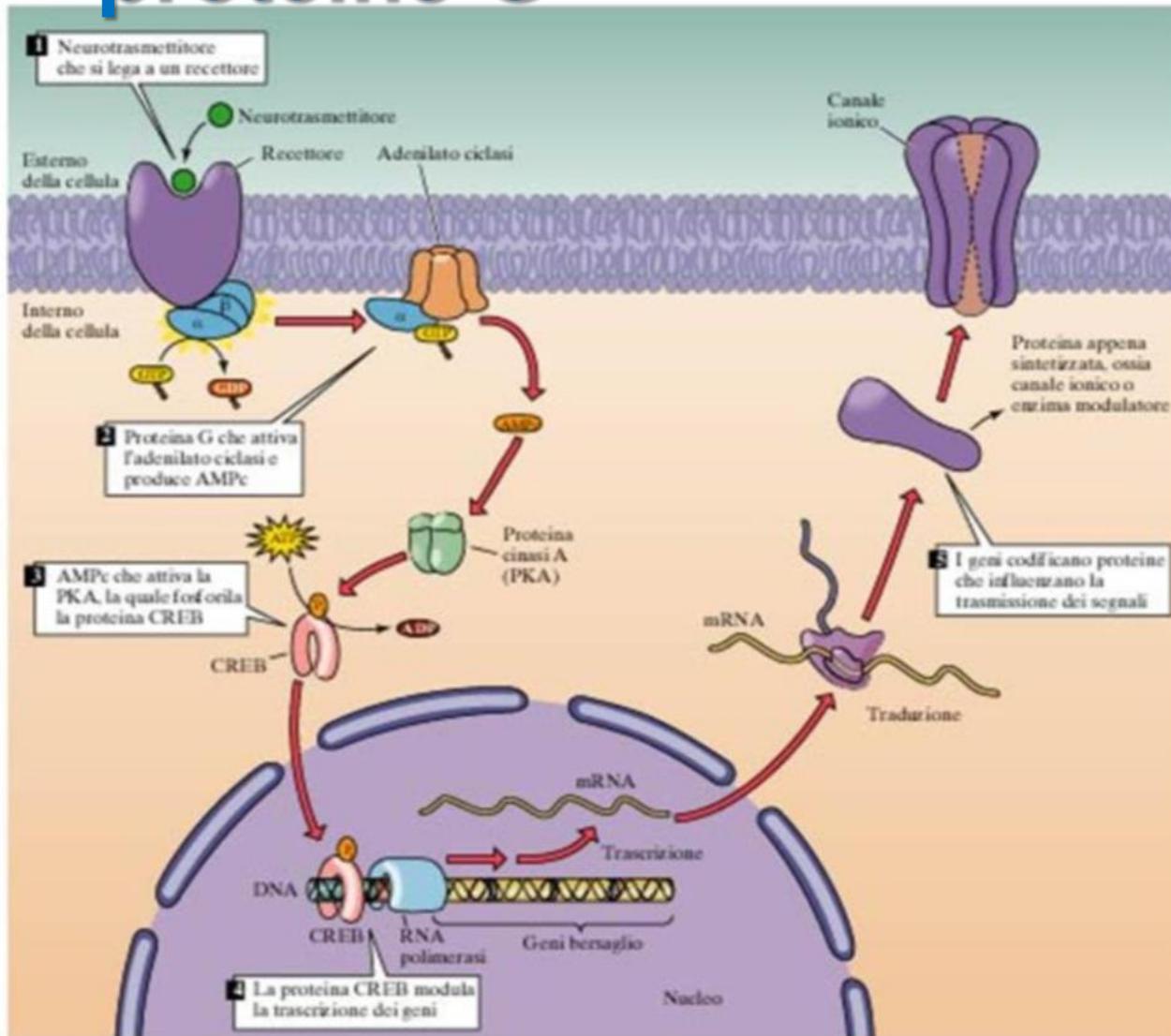


**3a** Vengono attivati i canali ionici proteina G dipendenti

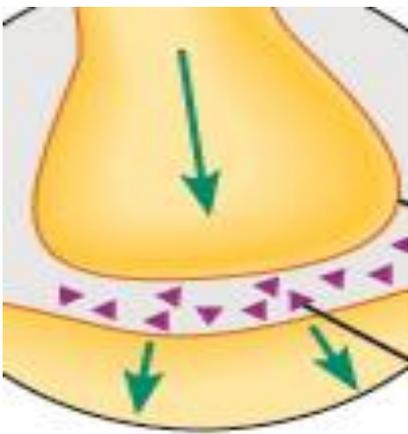


**3b** Vengono attivati enzimi che generano **secondi messaggeri** che si diffondono e andranno ad regolare canali ionici o innescare processi metabolici

# recettori metabotropi: accoppiati a proteine G



I recettori metabotropi possono innescare delle cascate di segnalazione intracellulare



# NEUROTRASMETTITORI

Permettono  
la comunicazione cellulare sinaptica

- Interagiscono con recettori specifici
- Possono avere effetti:

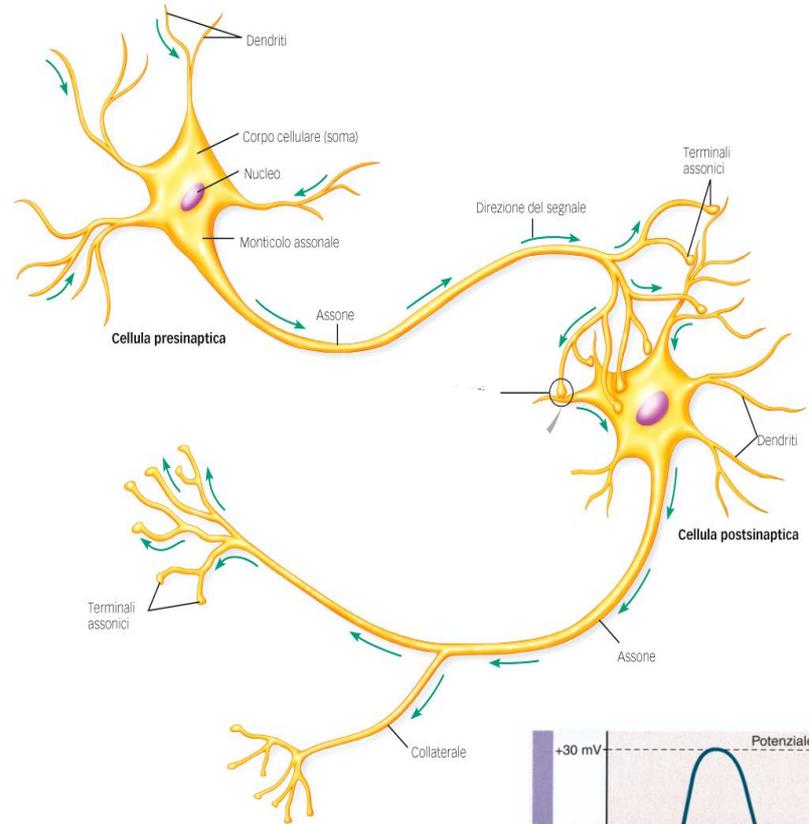
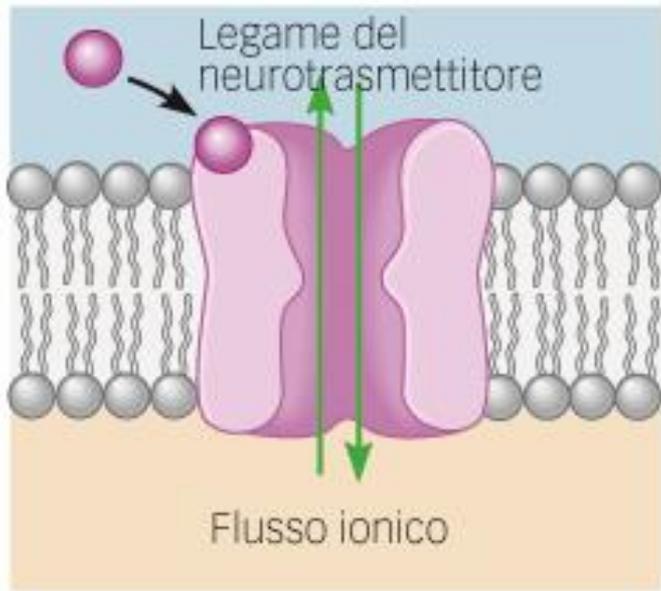
**ECCITATORI** (glutammato-  
aspartato) →

generano un nuovo  
segnale che si propaga  
nella cellula  
postsinaptica

**INIBITORI:** (glicina, acido gamma amino  
butirrico **GABA**)

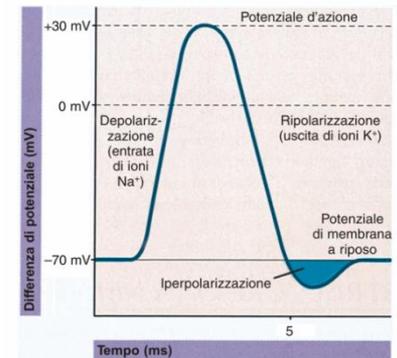
→ **FINE**

# neurotrasmettitori con effetti ECCITATORI

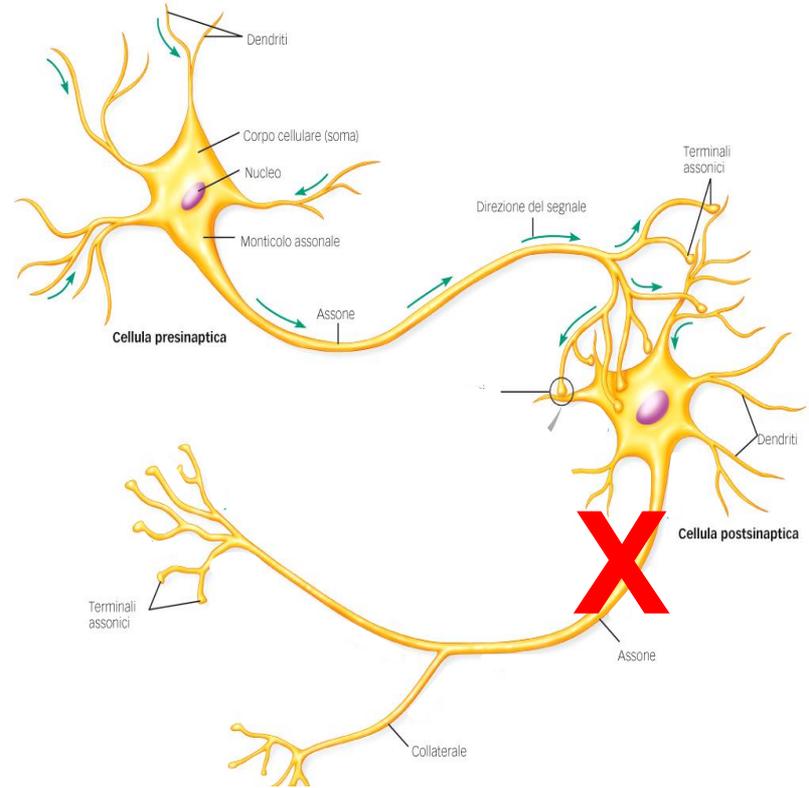
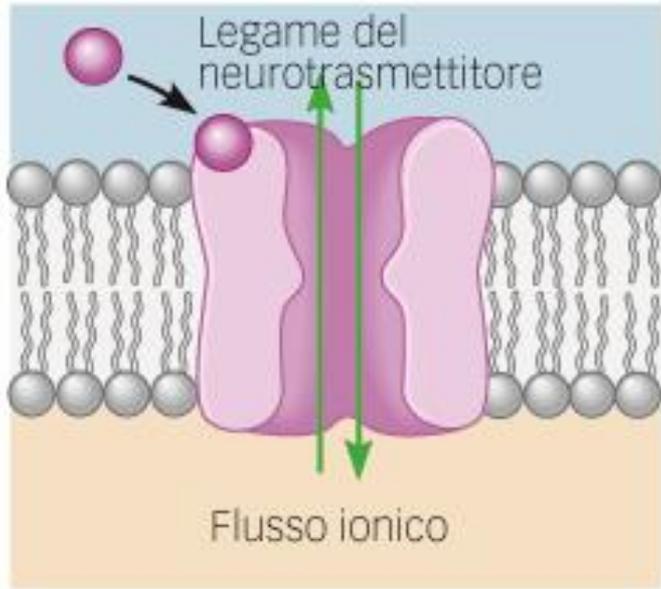


**Sinapsi eccitatoria:**  
depolarizza la membrana postsinaptica e può portare al valore soglia nel m.a. (apre canali voltaggio per il  $\text{Na}^+$ )

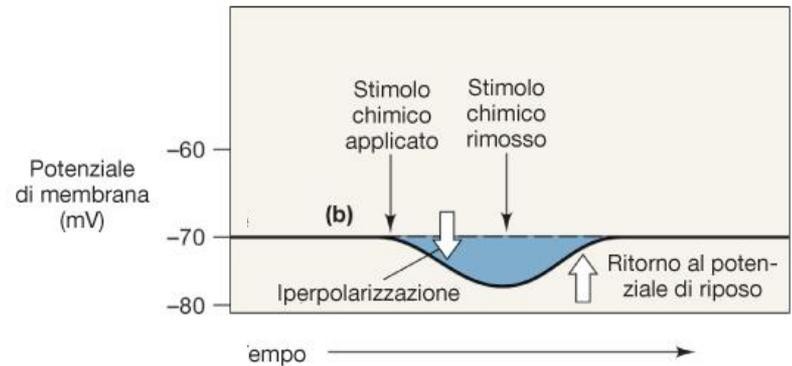
**Propagarsi del segnale nel neurone post-sinaptico**



# neurotrasmettitori con effetti INIBITORI

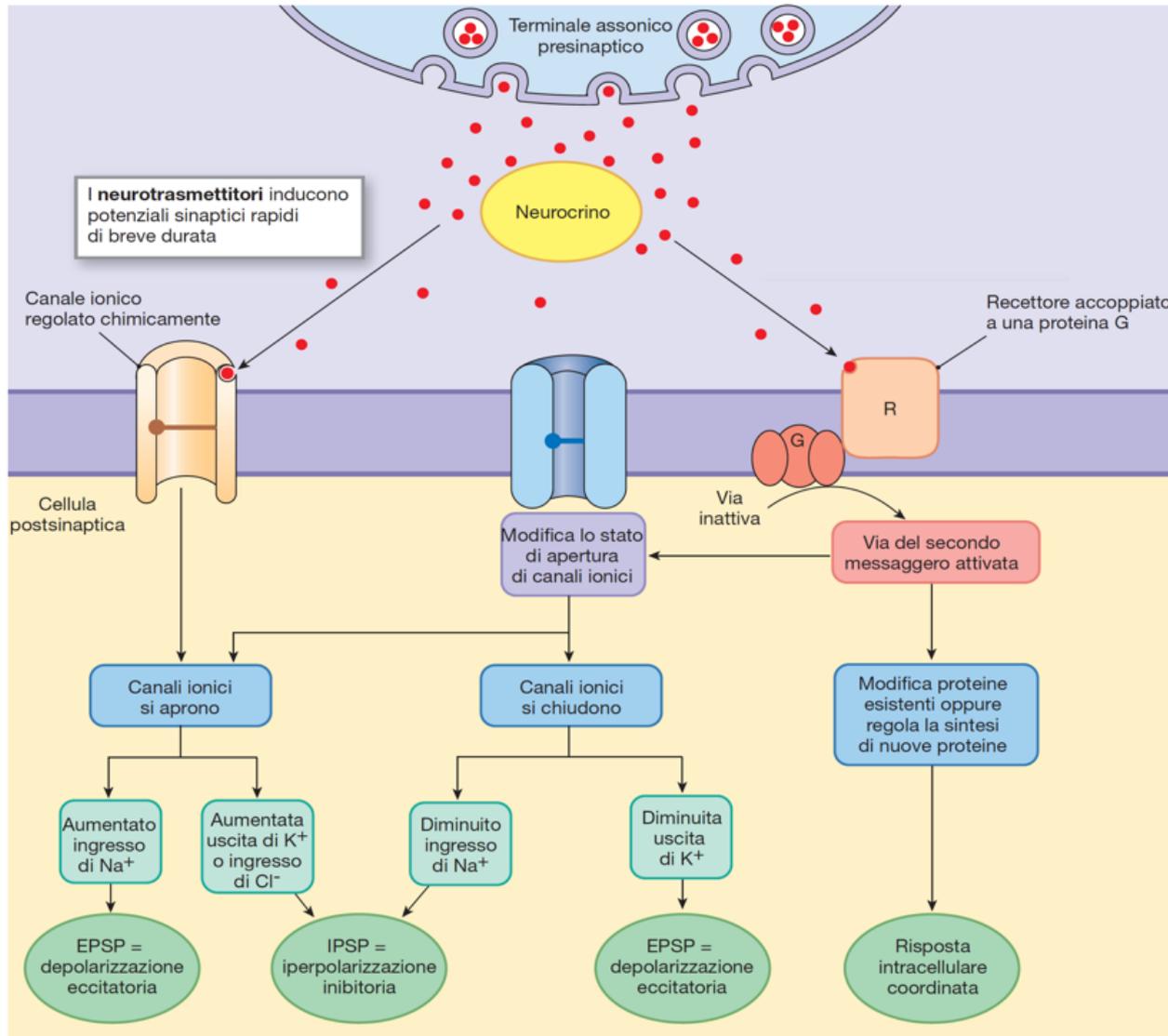


**Sinapsi inibitoria:**  
iperpolarizza la membrana postsinaptica, allontanandola dal valore soglia



**Fine del segnale**

# Azione dei neurotrasmettitori

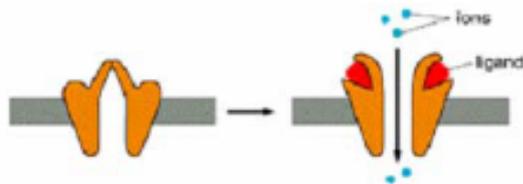


# Ricapitolando..

## Sinapsi dirette

( o sinapsi ionotropiche)  
(o a canali ionici trasmettitore dipendenti)

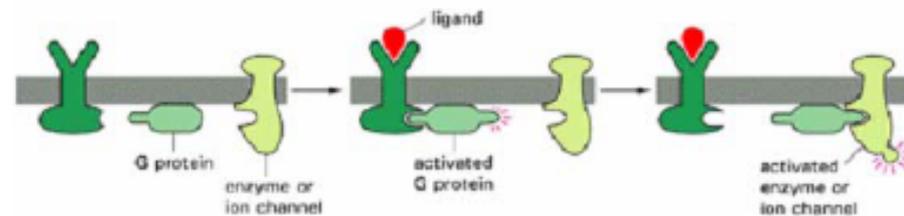
- Risponde **rapidamente** ma ha un effetto di **breve durata**
- Una **molecola di NT** apre un **solo canale ionico**
- Le risposte sono specifiche **localizzate**



## Sinapsi indirette

(o sinapsi metabotropiche)  
(o sinapsi a secondo messaggero)

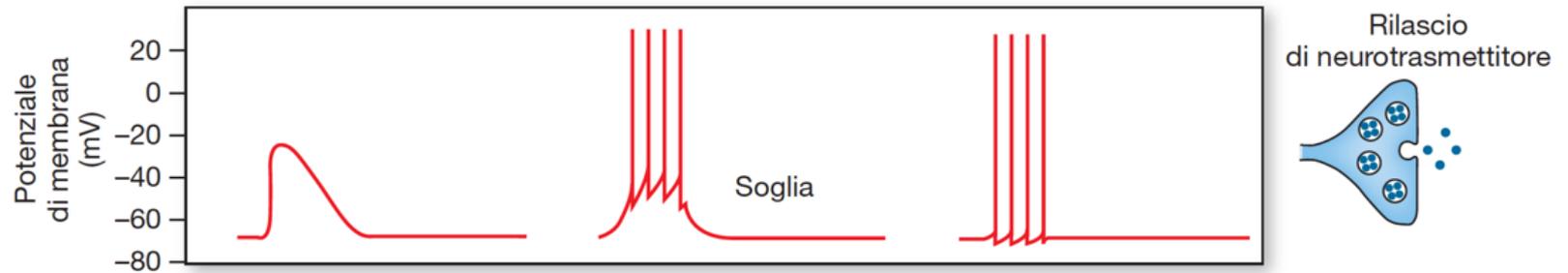
- Risponde **lentamente** ma ha un effetto di **prolungato nel tempo**
- Una **molecola di NT** attiva un recettore che innesca una serie di reazioni chimiche a cascata. Può aprire anche **10000 canali**
- Ha effetti su **tutte** le parti della cellula e su **molte** funzioni metaboliche



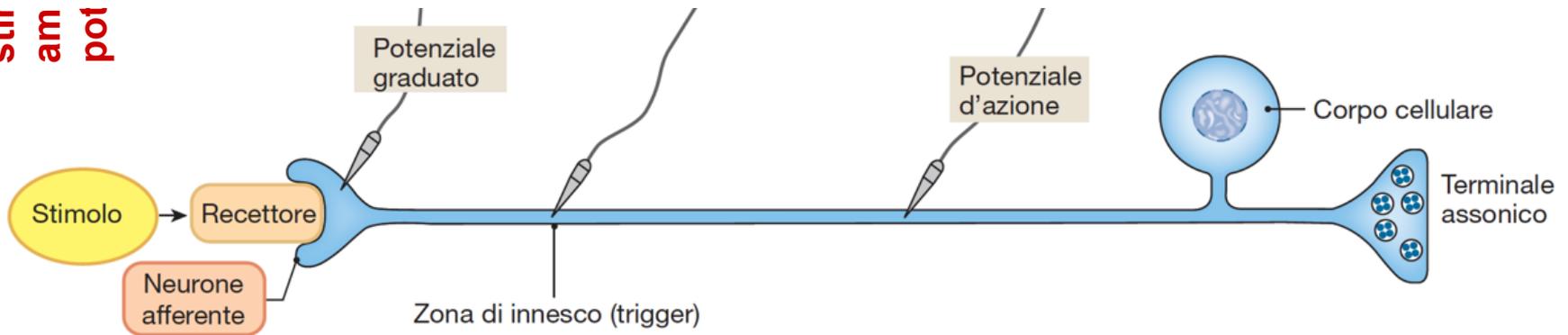
# Codifica intensità dello stimolo

(a) Uno stimolo debole provoca il rilascio di una piccola quantità di neurotrasmettitore.

**Aumento intensità  
stimolo = aumento  
della frequenza dei  
pot. di azione**

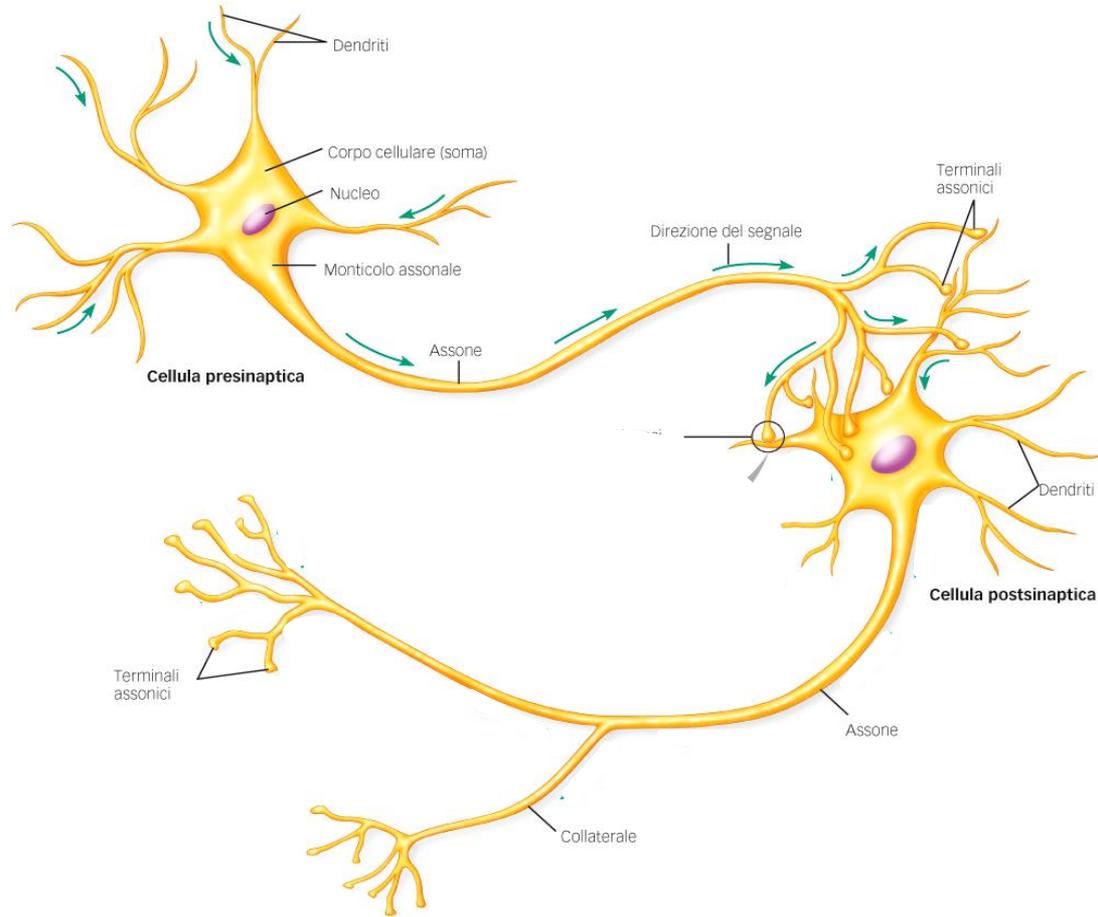


**Au-  
stir-  
am-  
pot**



**FIGURA 8.21** Codifica dell'intensità di uno stimolo. La frequenza di scarica dei potenziali d'azione indica l'intensità di uno stimolo.

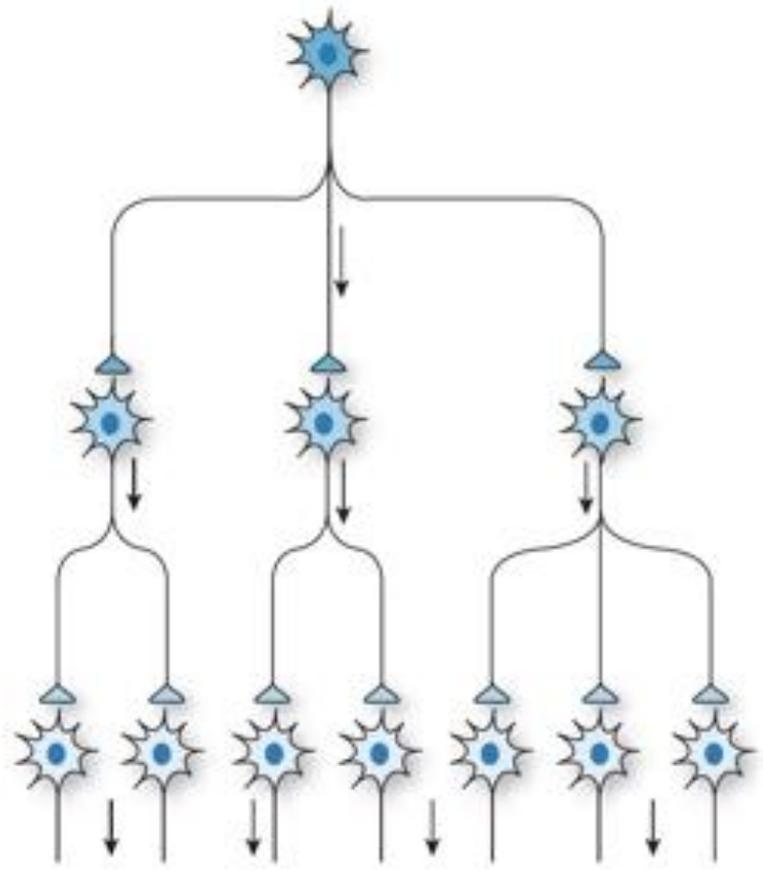
# Circuiti sinaptici



# Circuiti sinaptici

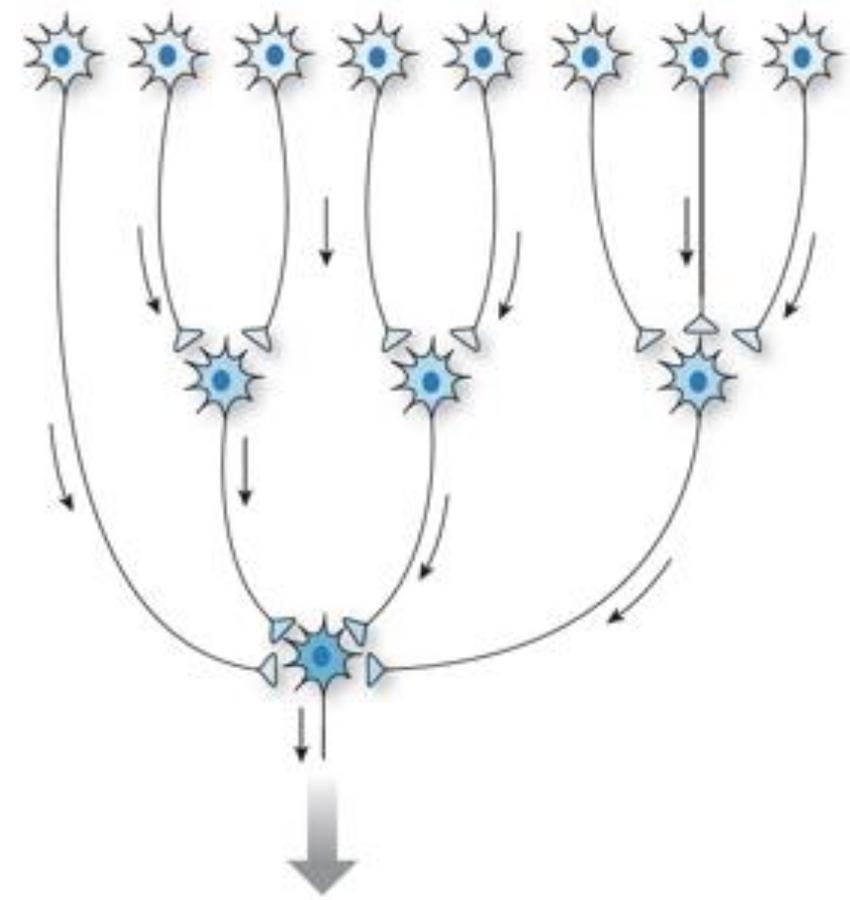
## Divergenza

(a) In un **circuito divergente**, un neurone presinaptico si ramifica andando a influenzare un gran numero di neuroni postsinaptici.

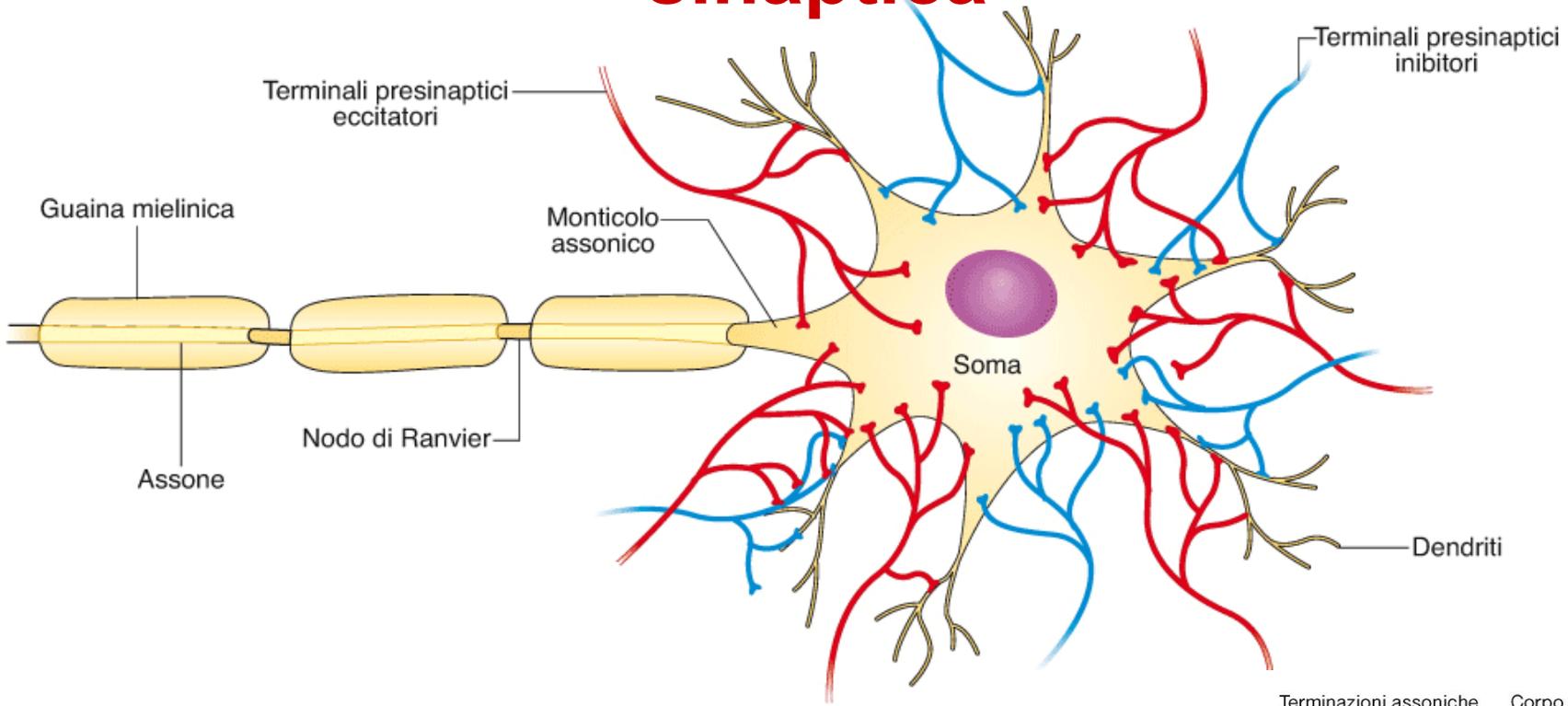


## Convergenza

(b) In un **circuito convergente**, molti neuroni presinaptici convergono, influenzando così pochi neuroni postsinaptici.

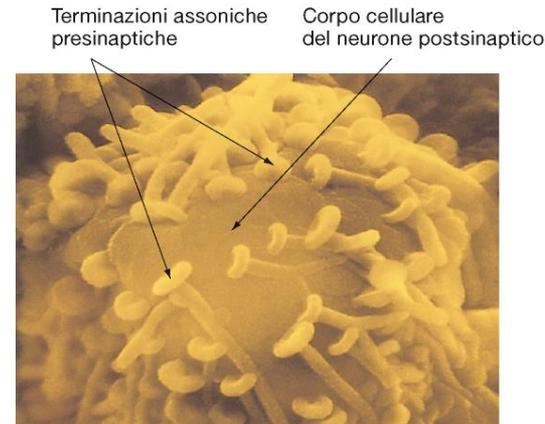


# Integrazione sinaptica

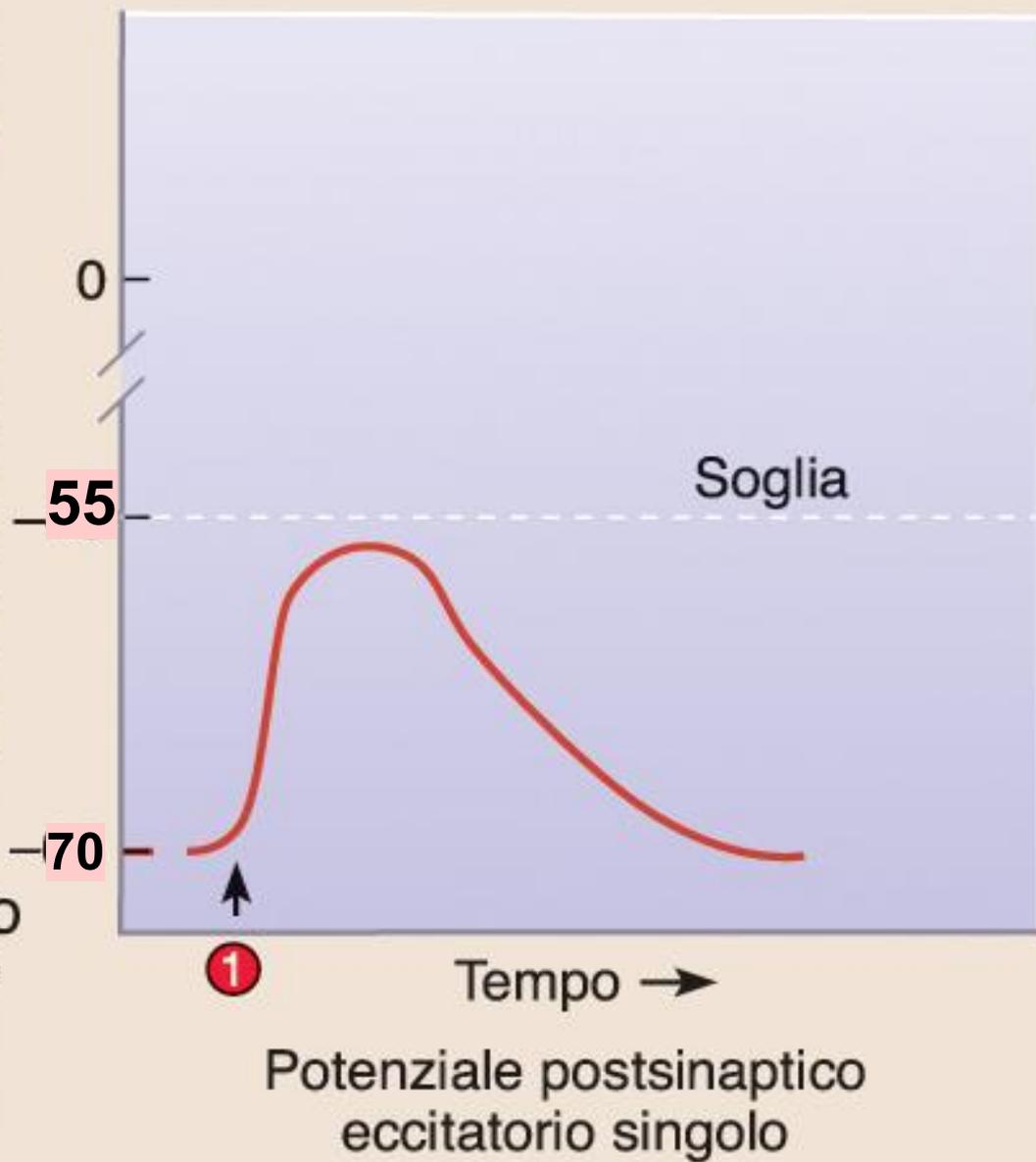
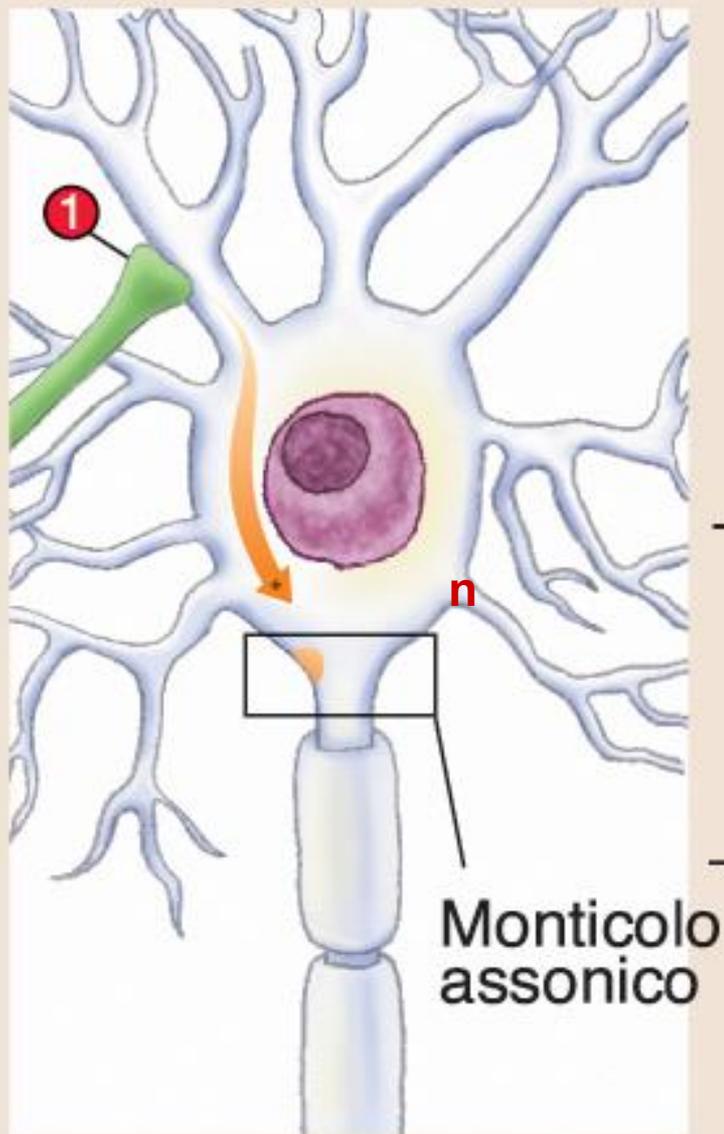


**Figura 4.17**

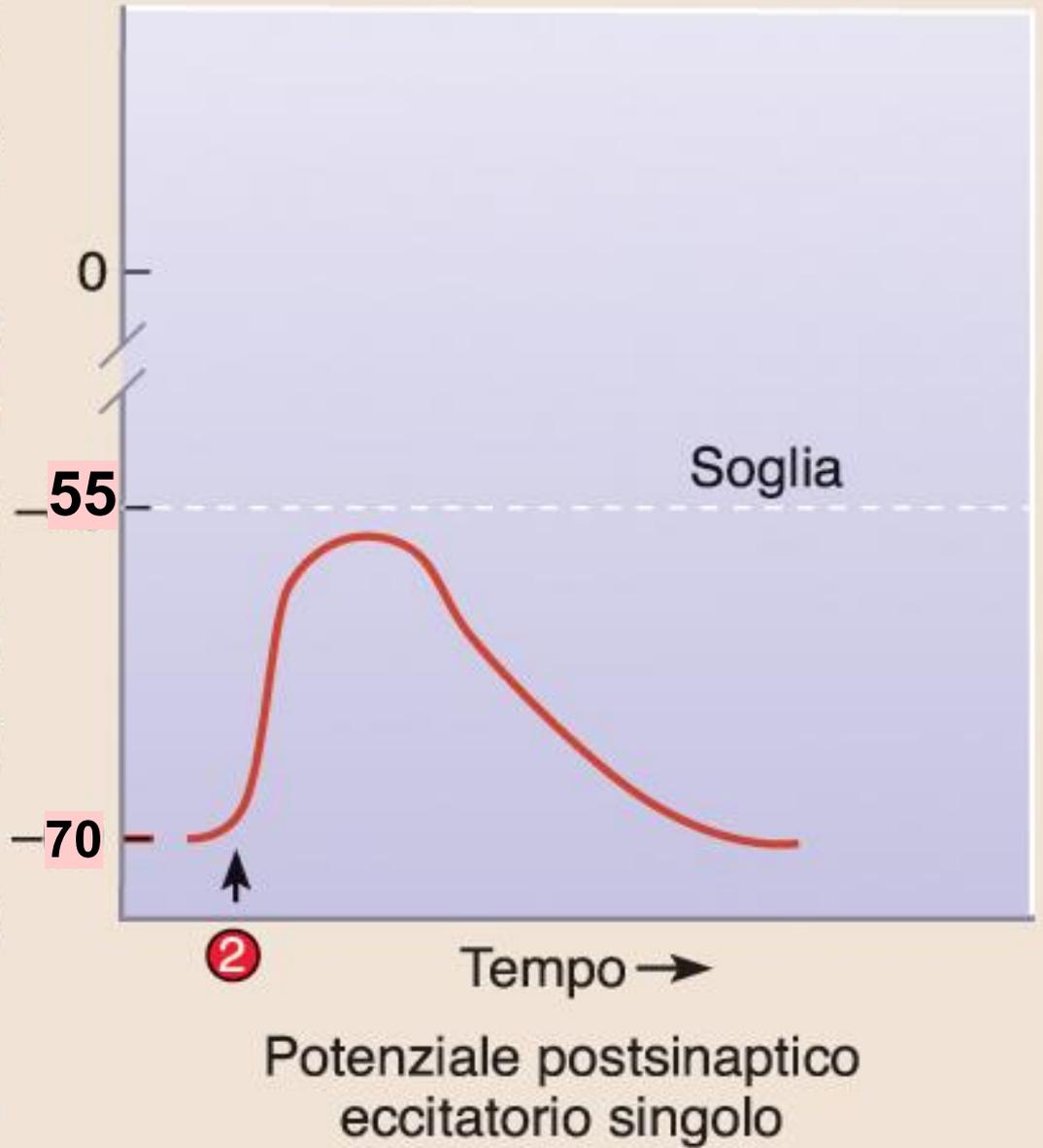
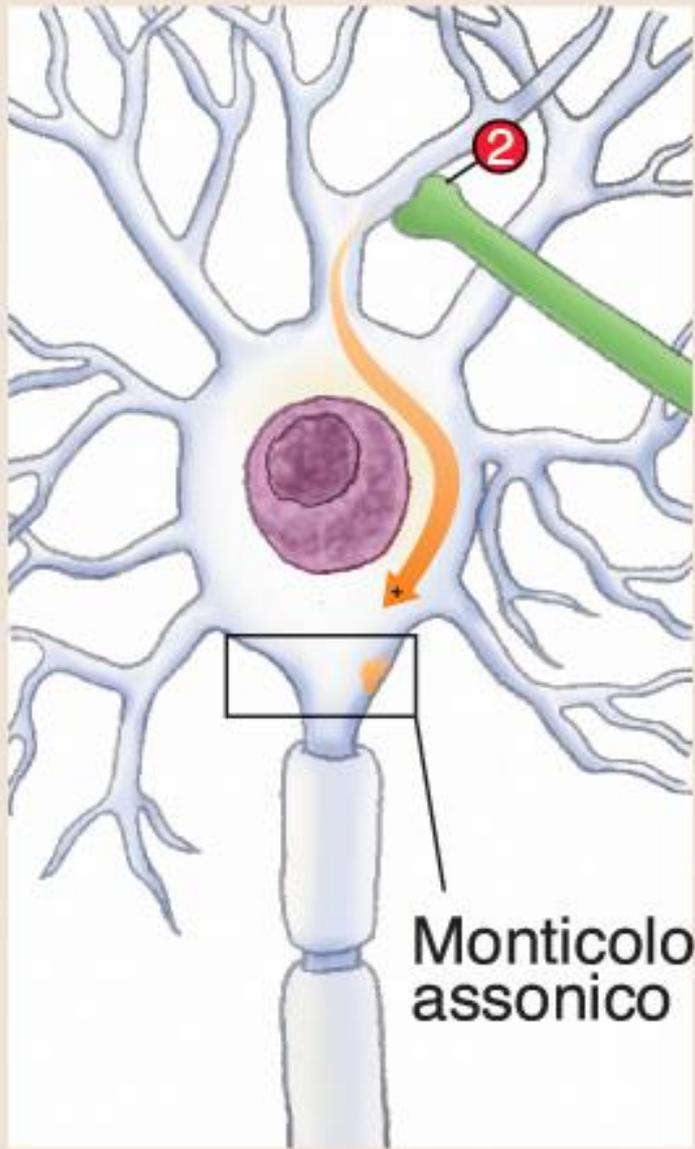
Neurone postsinaptico su cui convergono sinapsi eccitatorie (in rosso) e inibitorie (in blu)



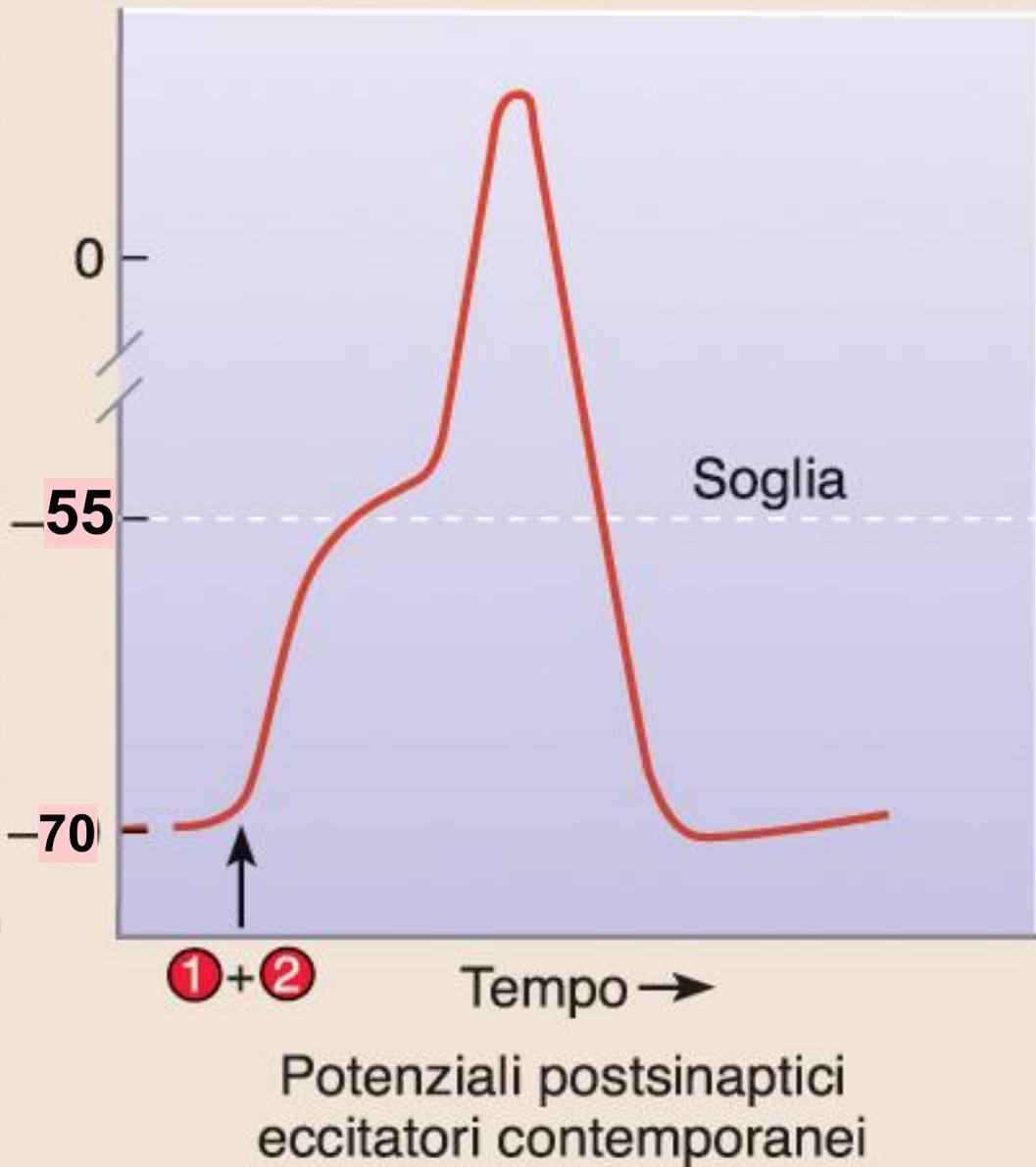
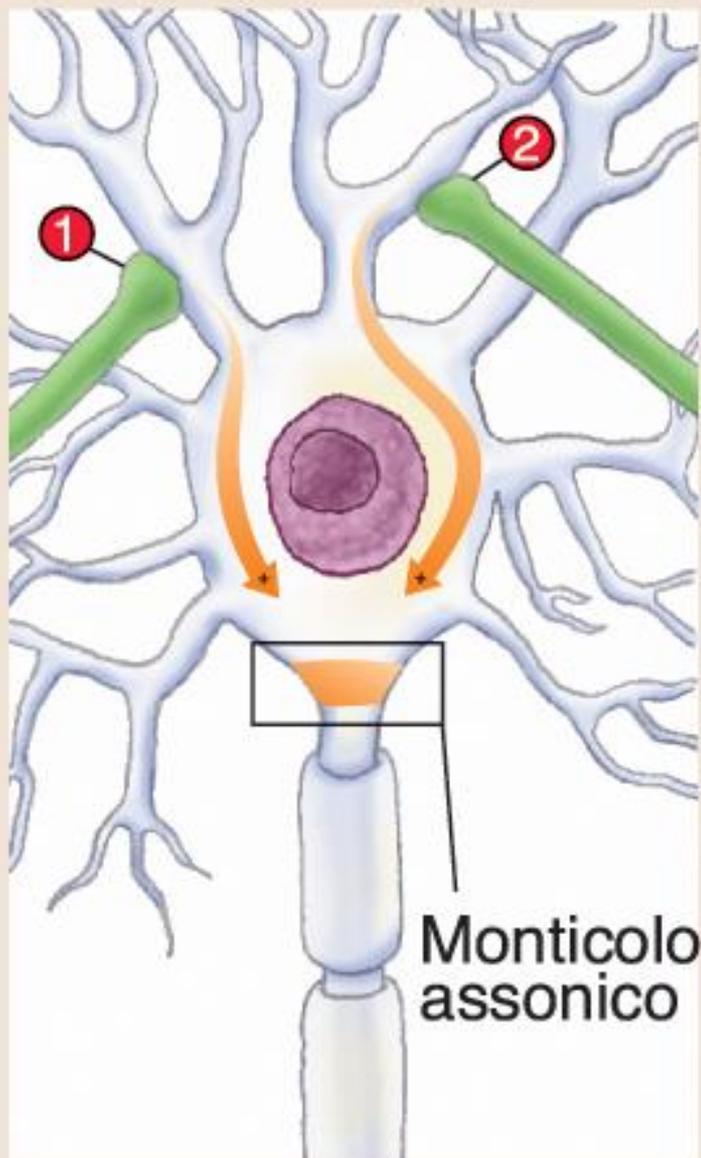
(b)



Potenziale di membrana al segmento iniziale



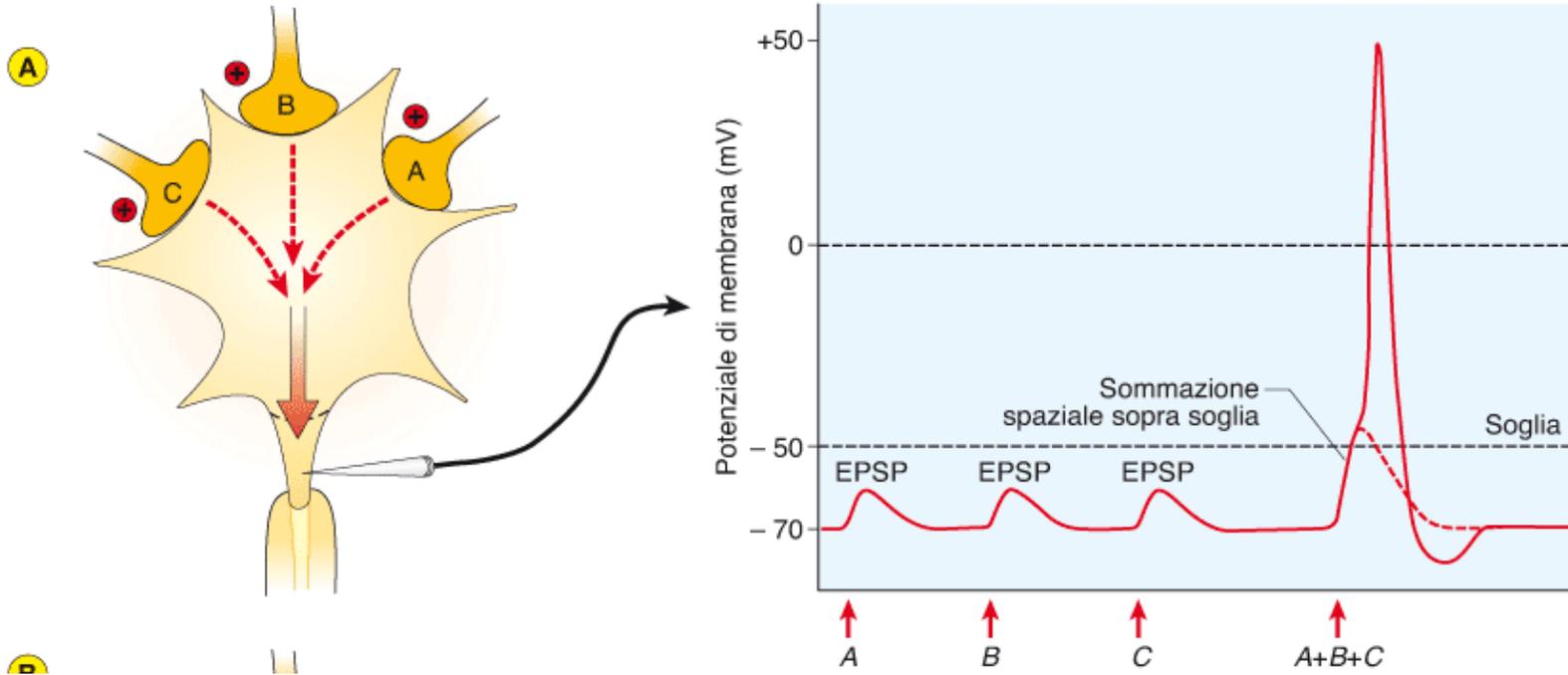
Potenziale di membrana al segmento iniziale



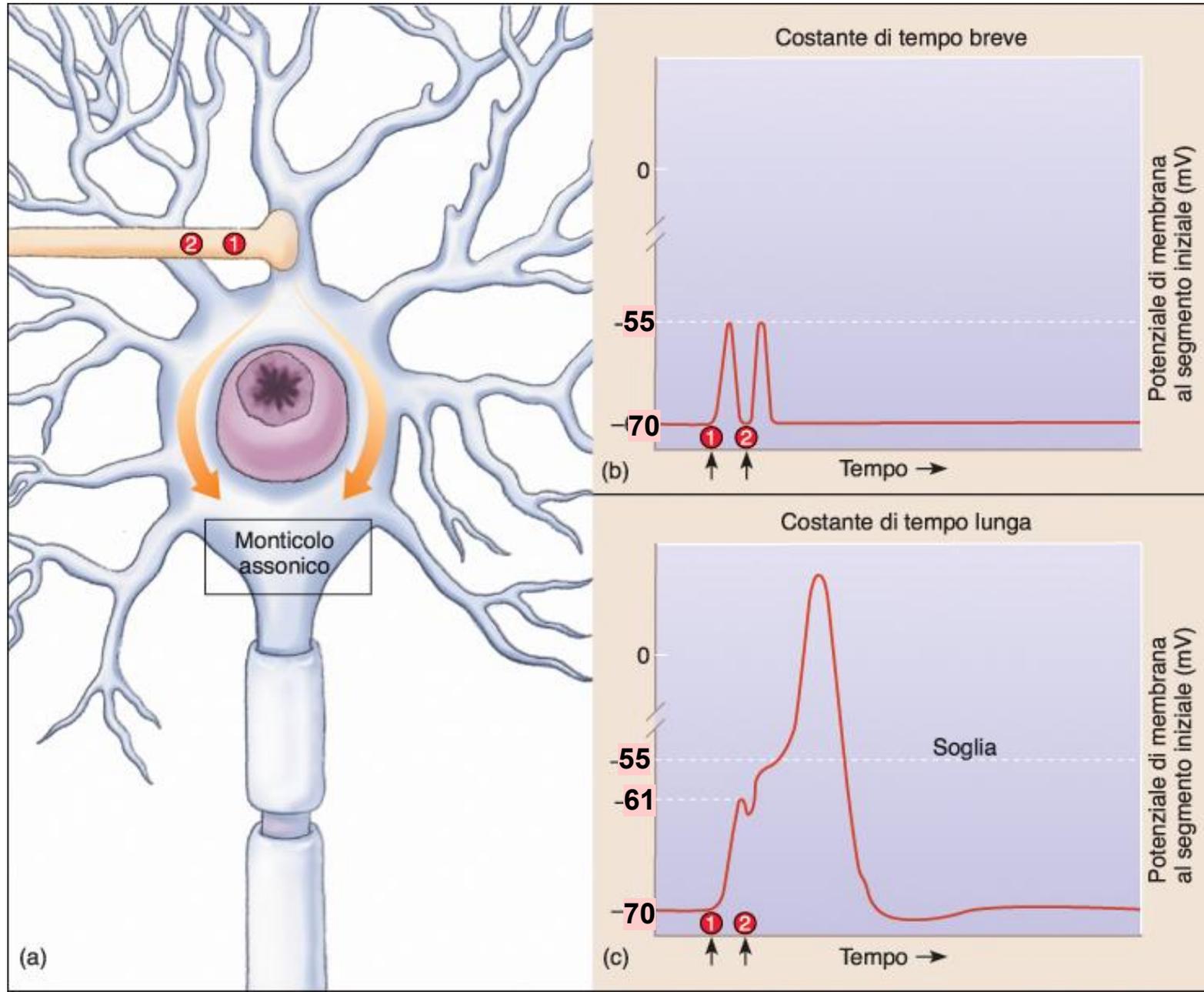
Potenziale di membrana al segmento iniziale

## Sommazione spaziale

# Sommazione spaziale

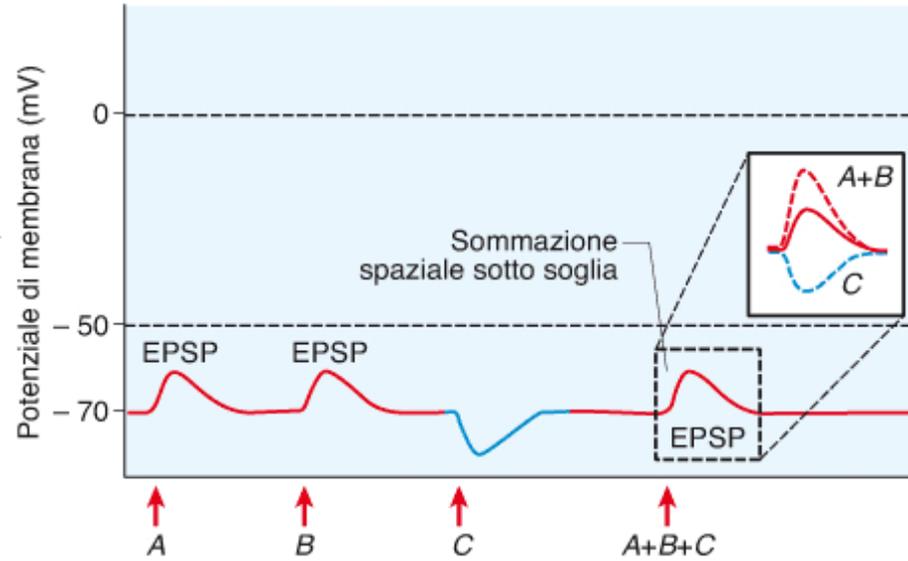
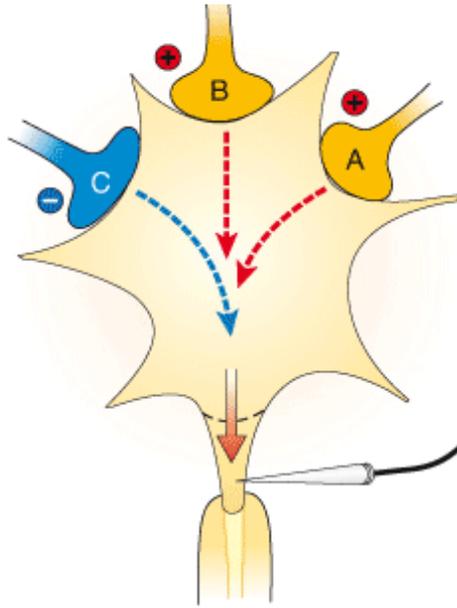


# Sommazione temporale



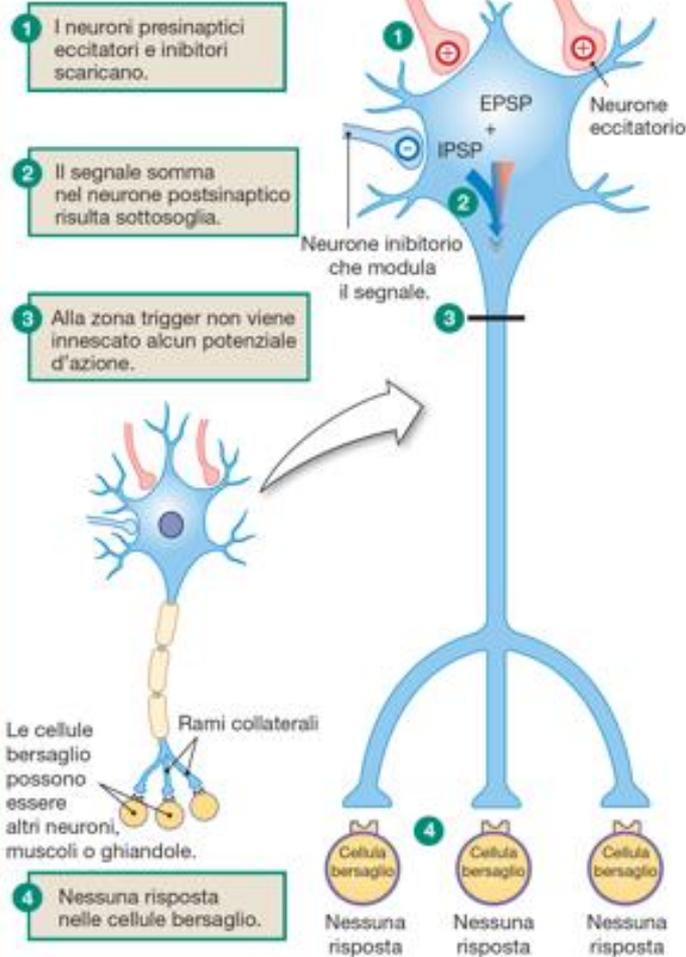
# Inibizione sinaptica

B



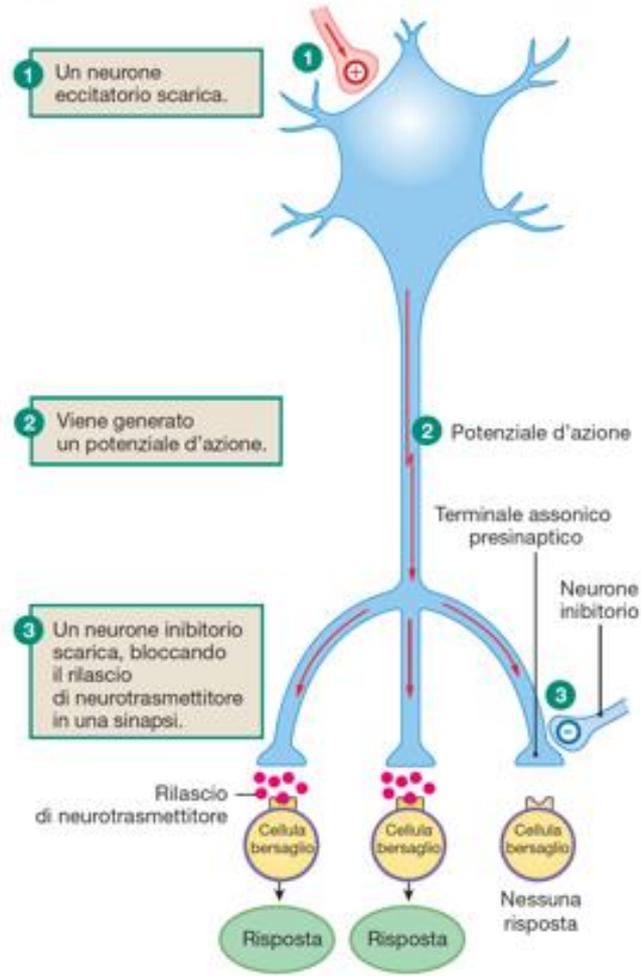
# Inibizione pre-sinaptica globale

(f) Nell'inibizione presinaptica globale, tutti i bersagli del neurone postsinaptico sono ugualmente inibiti.

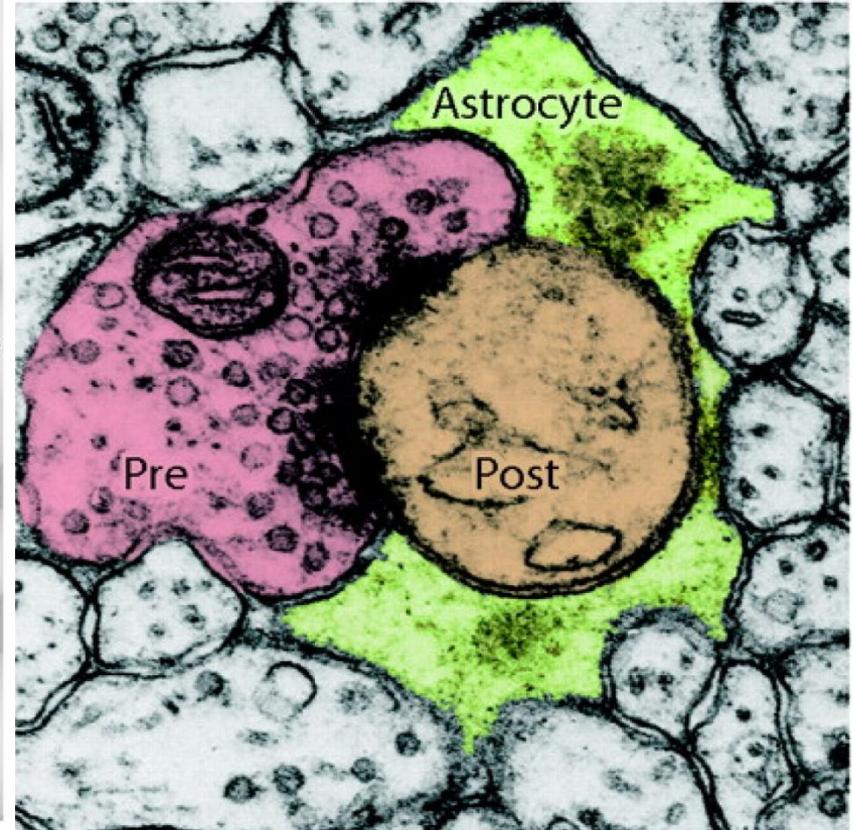
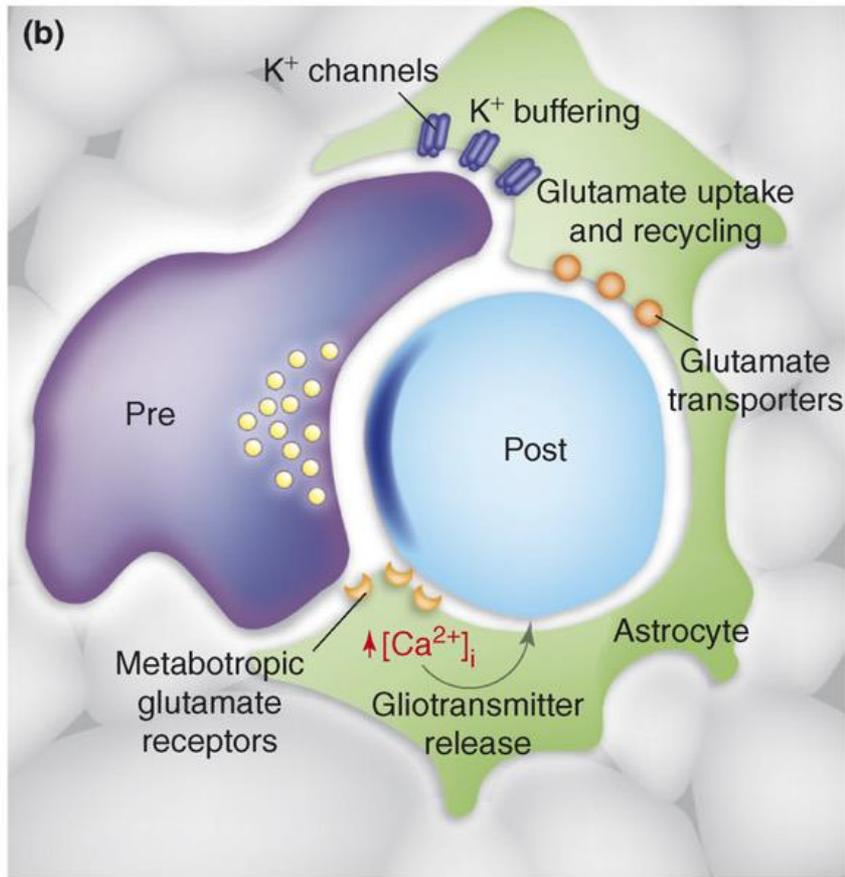


# Inibizione pre-sinaptica selettiva

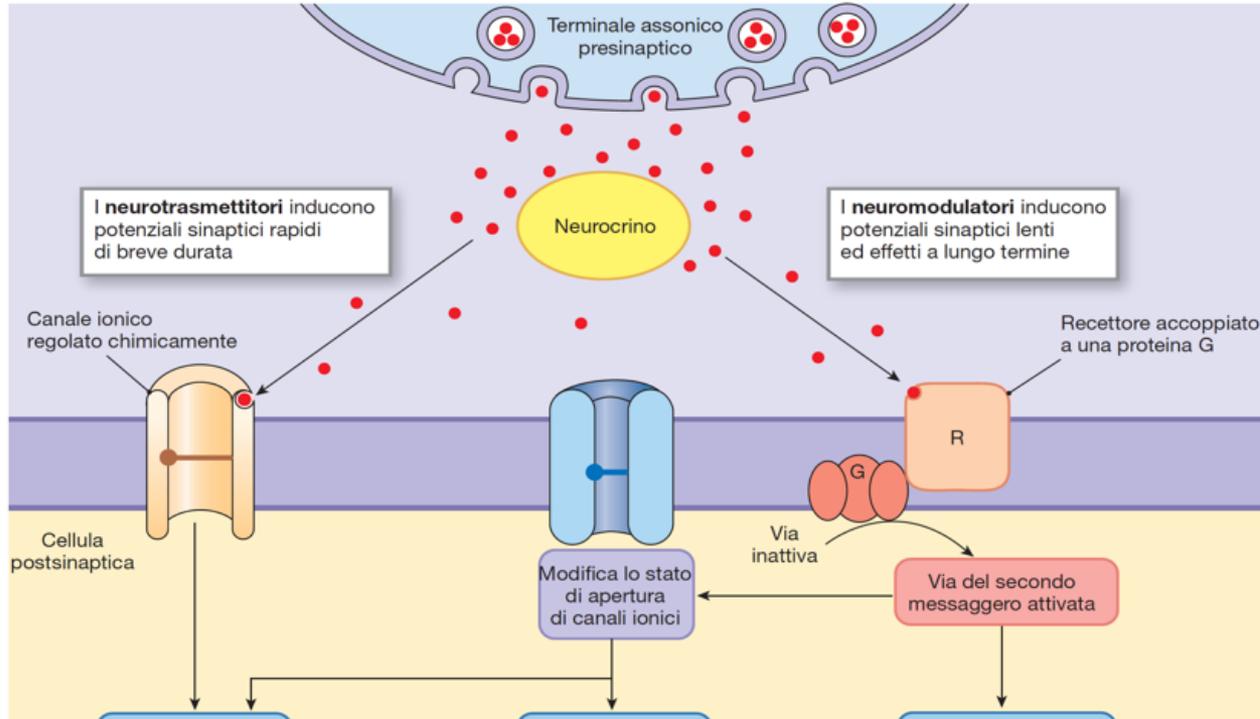
(g) Nell'inibizione presinaptica selettiva, un neurone inibitorio stabilisce la sinapsi su un ramo collaterale del neurone presinaptico e inibisce selettivamente un bersaglio.



# SINAPSI TRIPARTITA

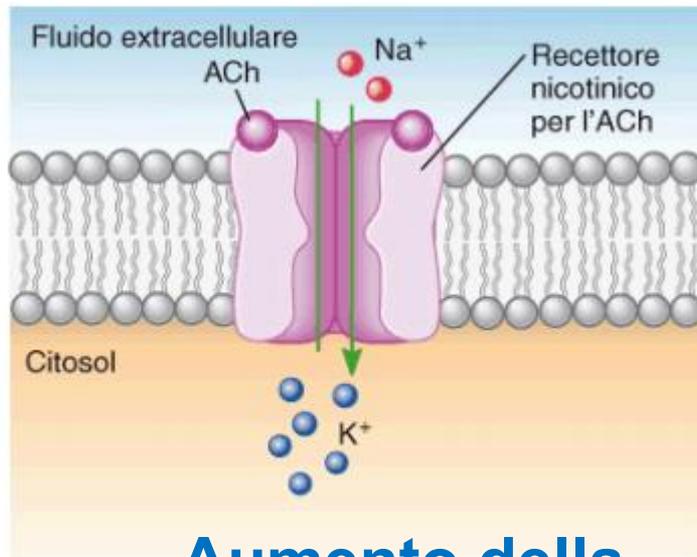


# Azione dei neurotrasmettitori



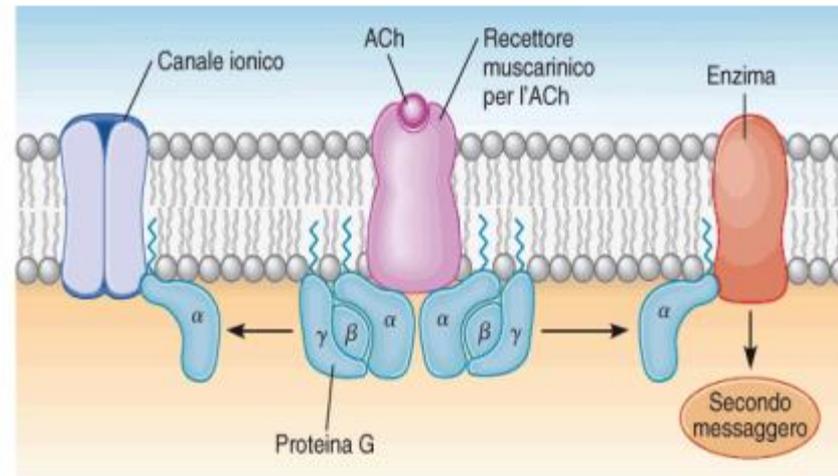
# RECEPTORI COLINERGICI

## RECEPTORI NICOTINICI (IONOTROPI)



**Aumento della permeabilità a Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup>**

## RECEPTORI MUSCARINICI (METABOTROPI)



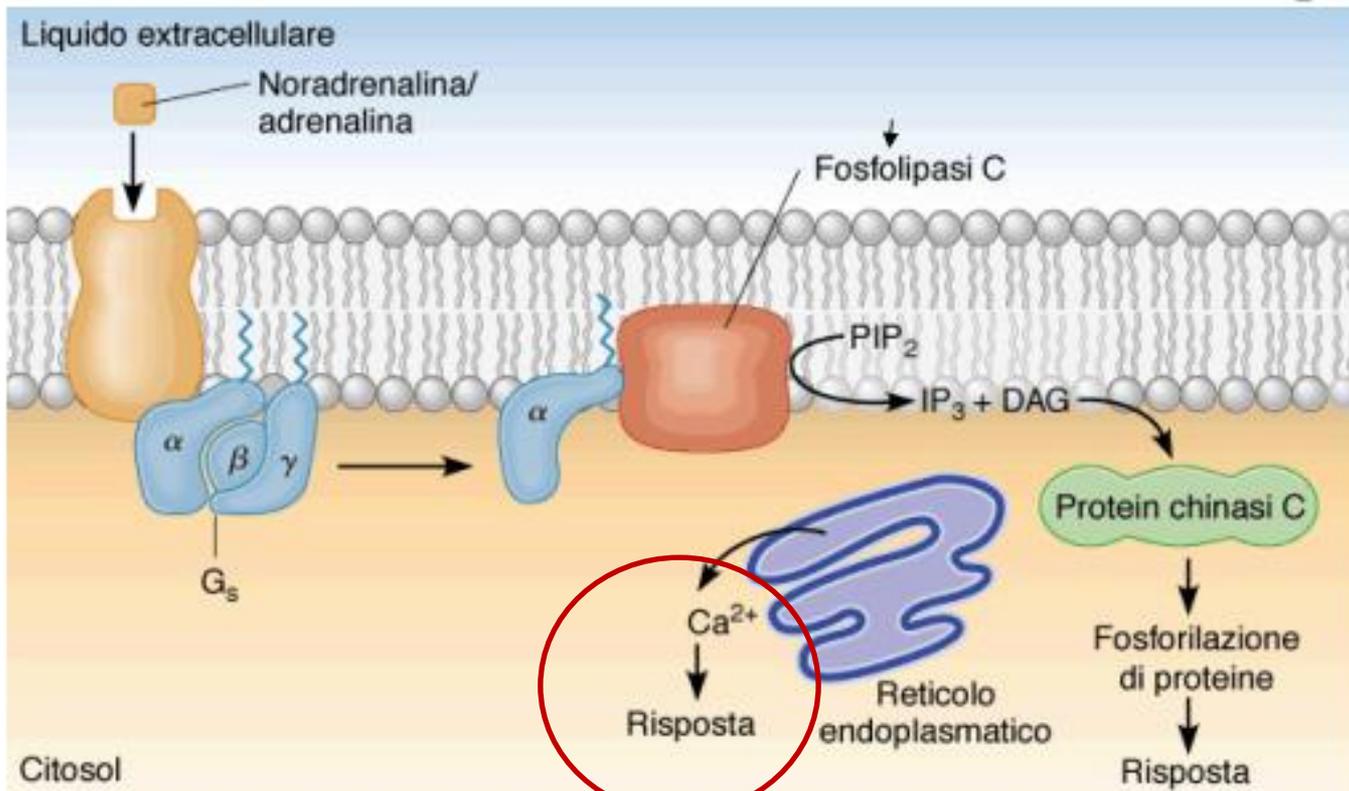
**M1,3,5: aumento Ca<sup>2+</sup> intracellulare**  
**M2,4: Gi riduzione livelli di AMP ciclico**

# RECETTORI ADRENERGICI

Sono sempre **METABOTROPI** ed associati a proteine G.  
Si distinguono 2 tipi:

- 1) **RECETTORI ALFA** ( $\alpha_1, \alpha_2$ );
- 2) **RECETTORI BETA** ( $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ )

**RECETTORI  $\alpha_1$**  → Fosfolipasi C



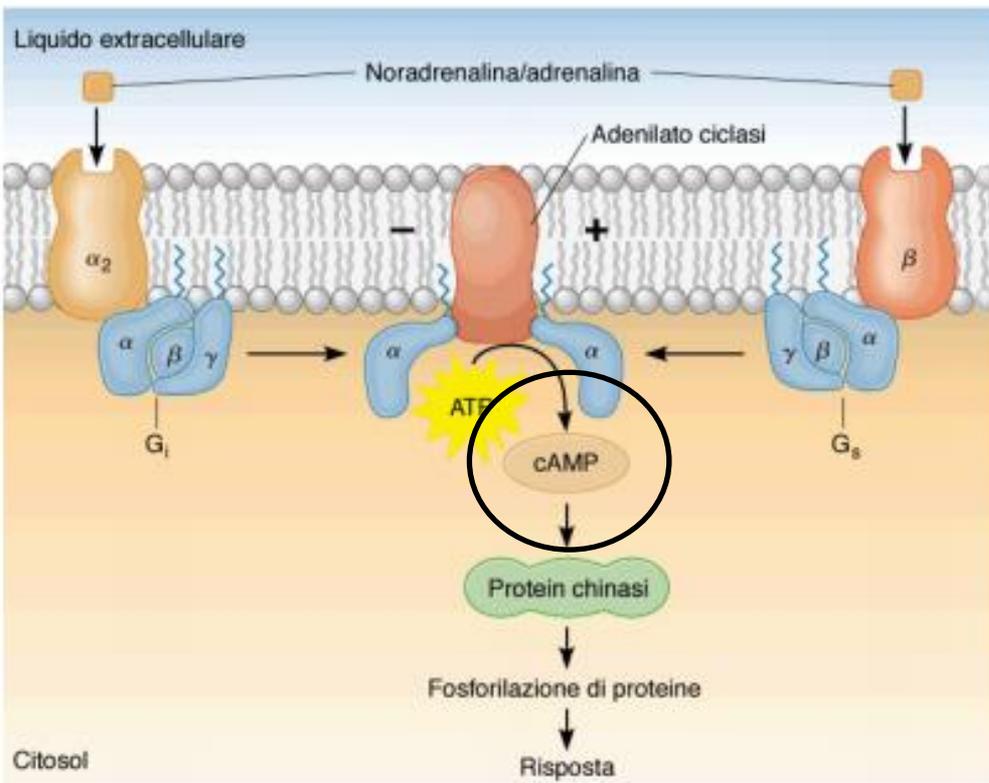
PIP<sub>2</sub> Fosfatidilinositolo-bifosfato  
IP<sub>3</sub> Inositolo Trifosfato  
DAG Diacilglicerolo

# RECETTORI ADRENERGICI

Sono sempre **METABOTROPI** ed associate a proteine G.  
Si distinguono 2 tipi:

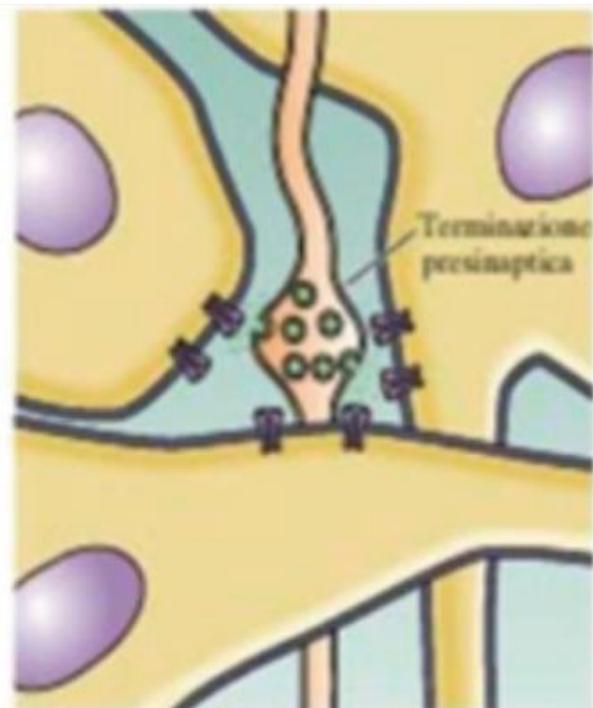
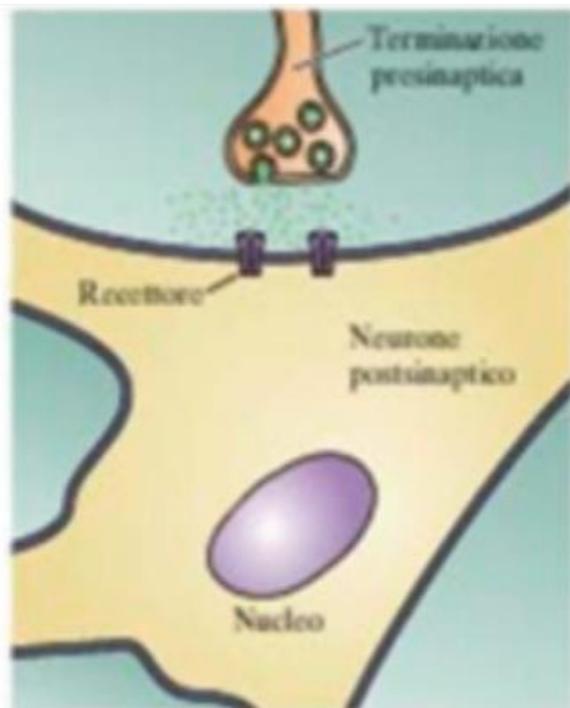
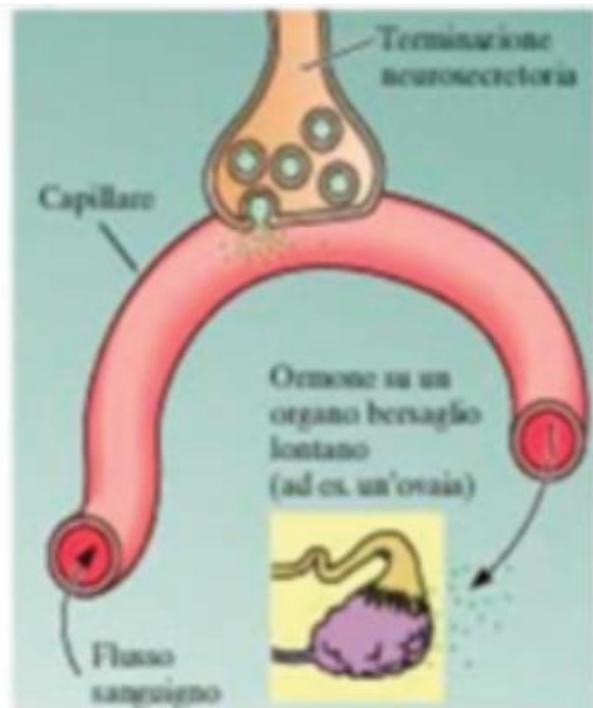
1) **RECETTORI ALFA** ( $\alpha_1, \alpha_2$ ); 2) **RECETTORI BETA** ( $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ )

**RECETTORI  $\alpha_2\beta$**   $\longrightarrow$  Adenilatociclastasi

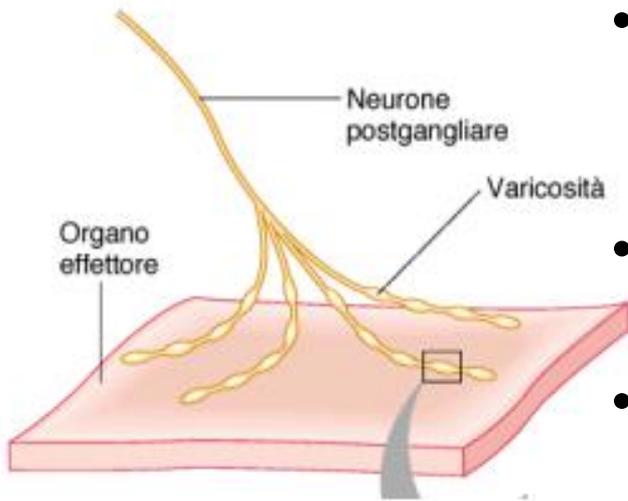


**Recettori  $\alpha_2$  attivano una Proteina G INIBITORIA**  
 $\longrightarrow$  **DIMINUZIONE  $cAMP$**

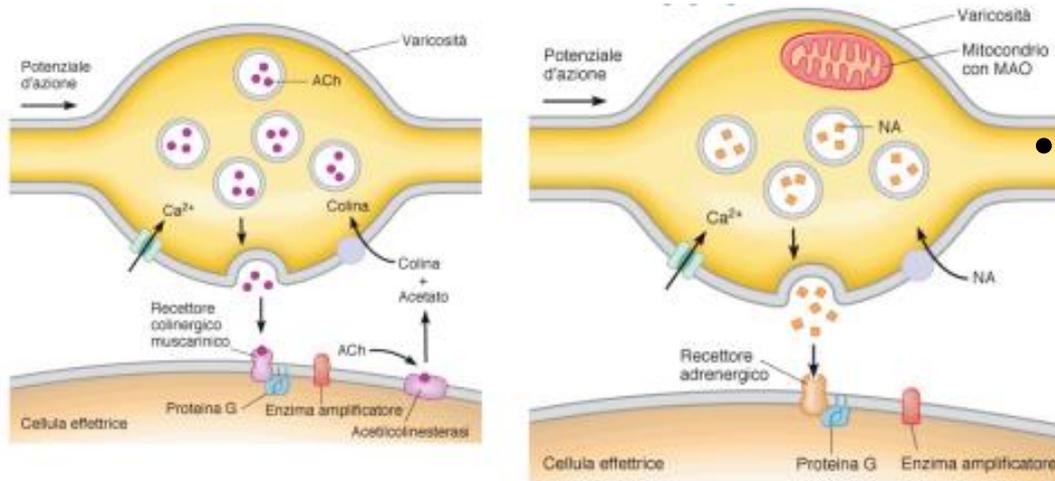
**Recettori  $\beta$  attivano una Proteina G ECCITATORIA**  
 $\longrightarrow$  **AUMENTO  $AMP_c$**



# GIUNZIONI NEUROEFFETTRICI

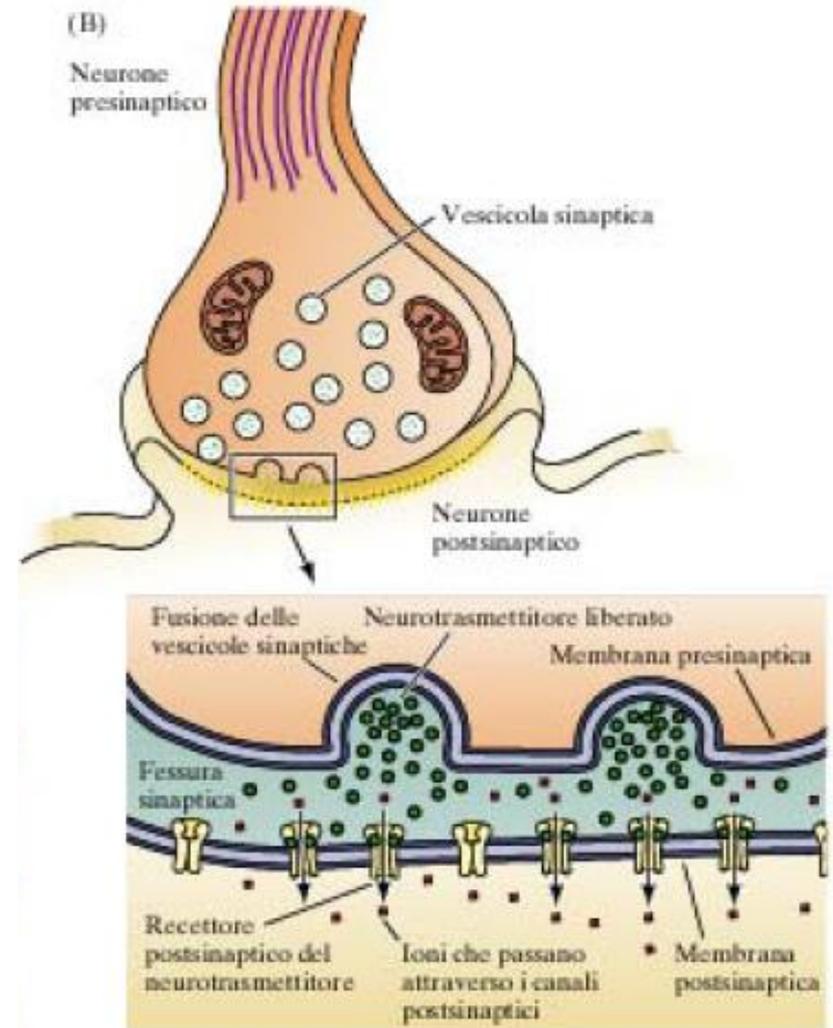
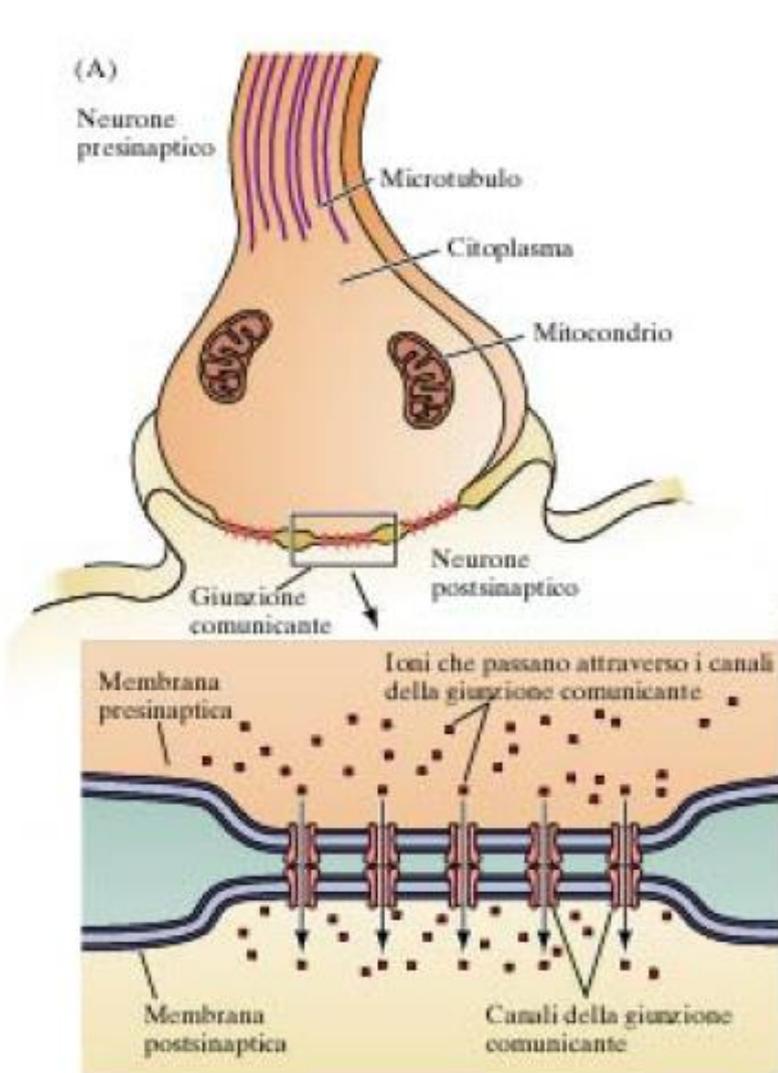


- Non ci sono organizzazioni anatomiche ben definite come nelle sinapsi.
- Ci sono molti rigonfiamenti (**VARICOSITA'**)
- Il potenziale di azione le attiva tutte
- La distanza tra le varicosità e i bersagli è grande, quindi c'è **diffusione**



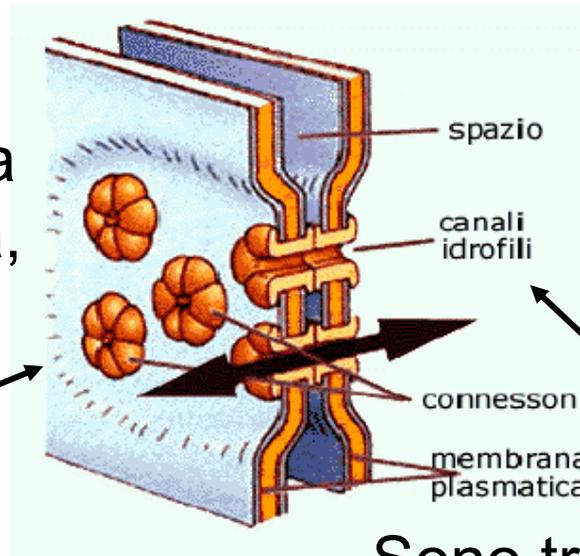
- L'azione finisce grazie alla **degradazione** dei neurotrasmettitori

# Sinapsi elettriche vs sinapsi chimiche



# Sinapsi elettriche morfologia

l'onda di depolarizzazione del potenziale d'azione passa da una cellula all'altra attraverso una struttura specializzata, la **giunzione comunicante**

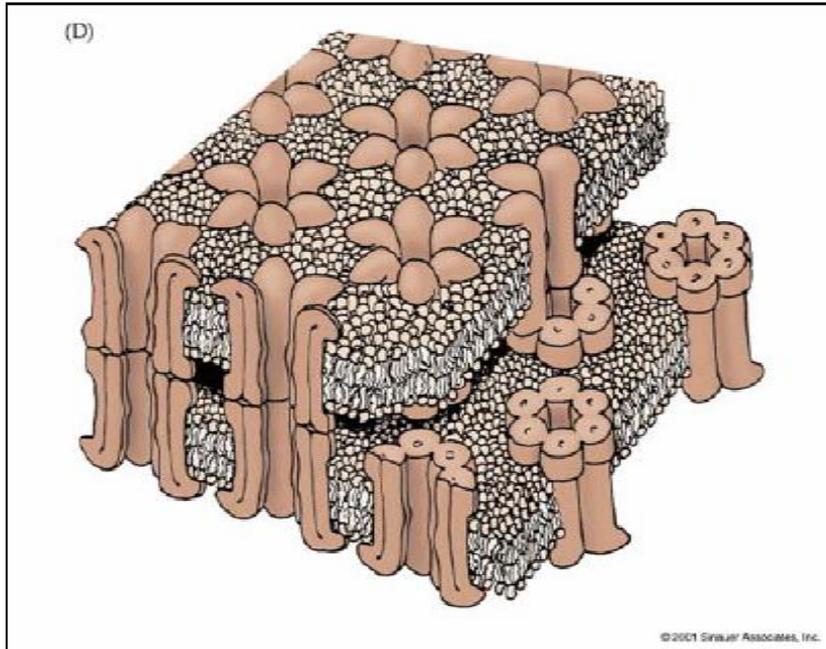


## **Connessione:**

è costituito da 6 subunità proteiche disposte ad esagono che circondano un canale permeabile all'acqua.

Sono tra i pori più larghi che si conoscano. Il loro diametro è tale da permettere il passaggio dei maggiori ioni cellulari e micromolecole organiche

# Sinapsi elettriche caratteristiche



- hanno sempre carattere **eccitatorio**

- **Velocità**-non c'è il ritardo sinaptico tipico delle sinapsi chimiche

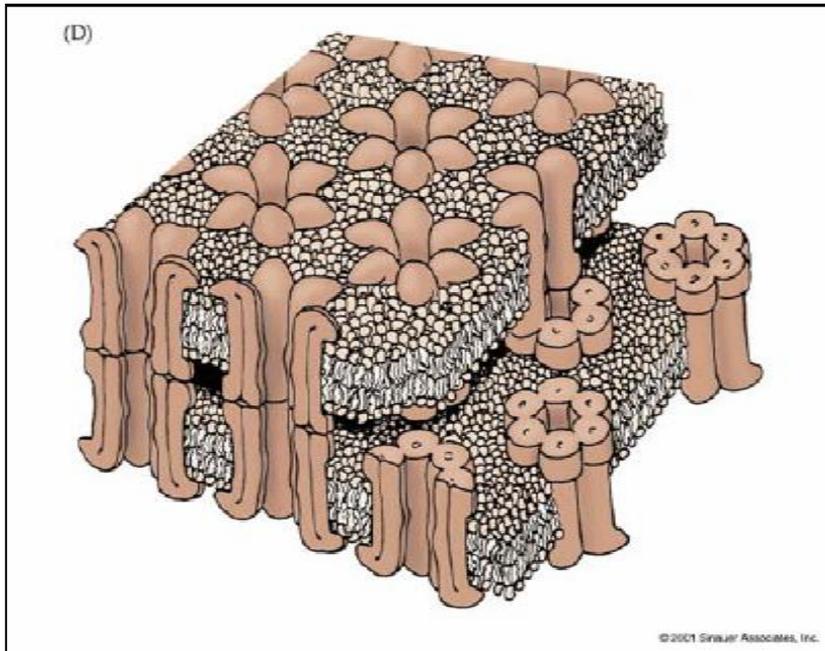
- **Bidirezionalità**—normalmente la trasmissione dell'impulso può avvenire nei due sensi, cosa fisiologicamente impossibile per le sinapsi chimiche.

- **Non** permettono l'**integrazione** di più segnali sinaptici

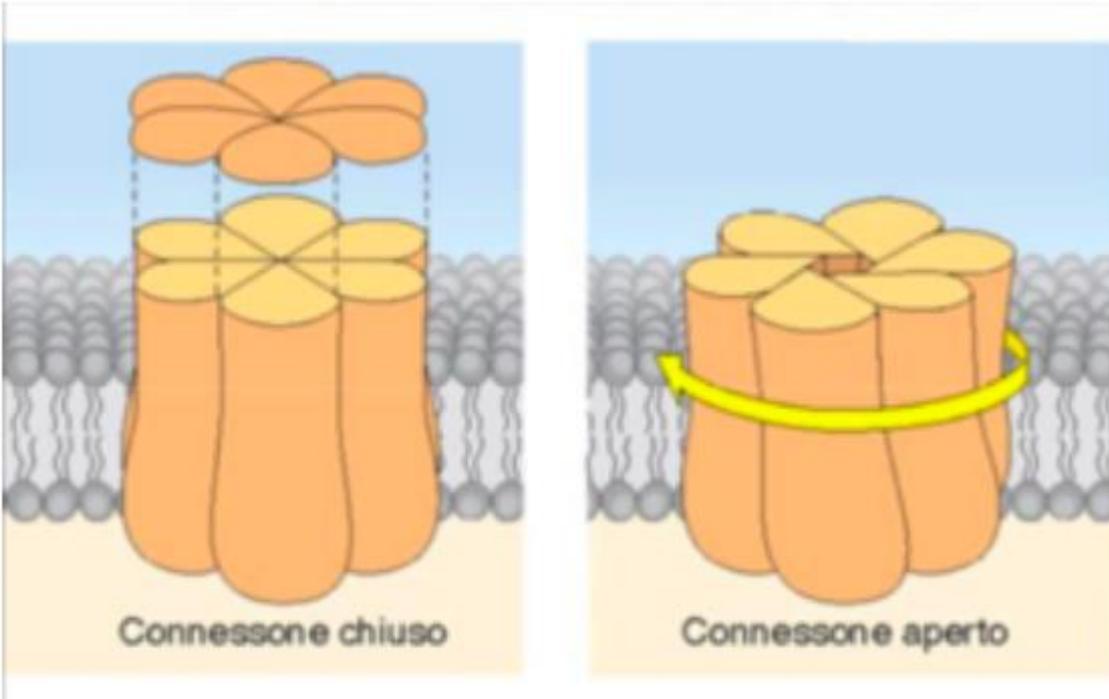
# Sinapsi elettriche

- Quando serve **rapidità nella trasmissione del segnale** (ad esempio nel cuore)

- Quando è richiesta la **sincronizzazione nell'attività di più cellule** (ad esempio nel muscolo cardiaco nel quale le fibre devono contrarsi in sintonia)



# CONNESSONE



- L'apertura del connessione richiede un cambio conformazionale di tutte e 6 le connessine ed è modulata dal: pH intracellulare, gli ioni  $\text{Ca}^{2+}$ , da secondi messaggeri o da neurotrasmettitori

Il connessione si chiude in presenza di stimoli che possono causare un danno cellulare: diminuzione del pH, aumento della concentrazione intracellulare di  $\text{Ca}^{2+}$ , variazioni anomale del potenziale di membrana

**Si comportano come vere e proprie porte in grado di poter isolare completamente le cellule danneggiate dalle cellule circostanti, preservando l'integrità del tessuto**