



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI TRIESTE

Corso di Laurea Triennale in Scienze e Tecnologie per l'Ambiente e la Natura

11- Il sistema nervoso e sensoriale

Antonio Terlizzi
Laboratorio di Zoologia e Biologia Marina
aterlizzi@units.it

Stimolo/i – Integrazione - Azione



Tutti gli animali sono in grado di percepire stimoli ma la capacità di integrazione è funzione della complessità del centro di elaborazione

Il processo di risposta agli stimoli negli animali coinvolge tre fasi principali: la **percezione dello stimolo** (sensorialità), l'**integrazione** dell'informazione (sistema nervoso centrale) e la **reazione** (risposta motoria o comportamentale).

Percezione dello stimolo

Gli animali utilizzano organi sensoriali specializzati (occhi, orecchie, naso, lingua, pelle) per rilevare cambiamenti nell'ambiente esterno o interno (stimoli). Questi stimoli possono essere di natura chimica, fisica (luce, suono, temperatura, pressione) o meccanica.

Recettori sensoriali: Sono cellule specializzate che convertono l'energia dello stimolo in un segnale elettrico, o impulso nervoso.

Neuroni sensoriali (afferenti): Trasmettono questi impulsi dai recettori sensoriali al sistema nervoso centrale (SNC)

Integrazione dello stimolo

L'integrazione è il processo in cui il sistema nervoso centrale (cervello e midollo spinale) elabora e interpreta le informazioni sensoriali ricevute.

Neuroni associativi: All'interno del SNC, i neuroni associativi (o interneuroni) ricevono gli impulsi dai neuroni sensoriali, li analizzano e li integrano con altre informazioni, come esperienze passate (apprendimento) o stati interni.

Elaborazione: Questa fase determina il tipo di risposta più appropriato. Per i riflessi semplici, l'integrazione avviene a livello del midollo spinale (arco riflesso), permettendo risposte rapide e involontarie. Per comportamenti più complessi, l'integrazione coinvolge il cervello.

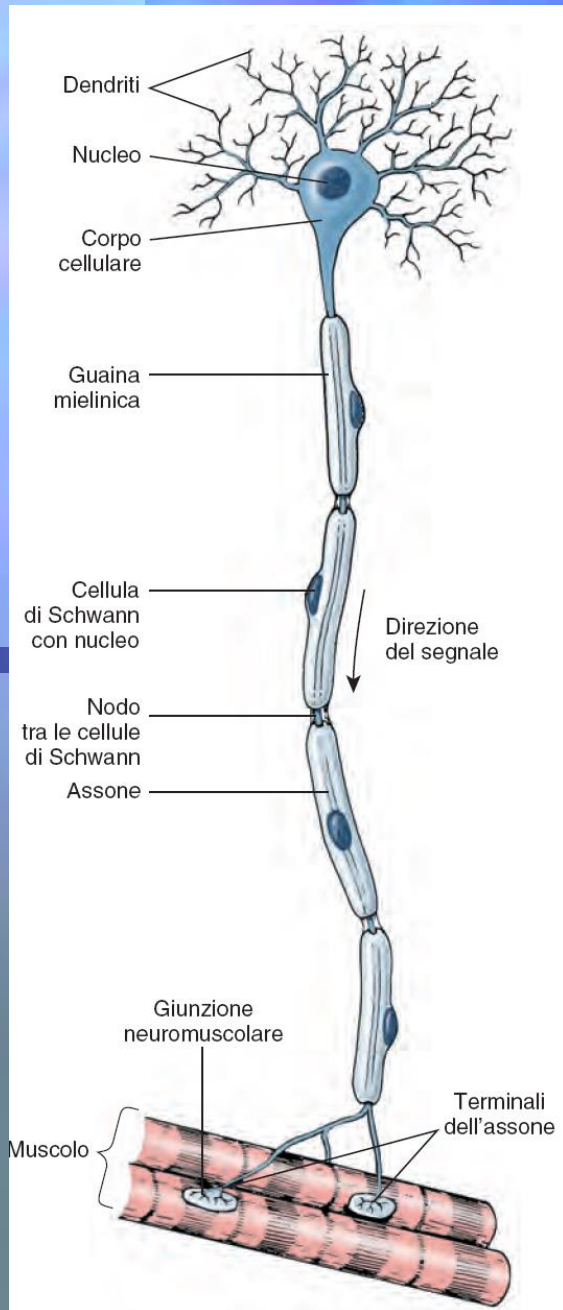
Reazione allo stimolo

In seguito all'integrazione, il sistema nervoso genera una risposta adeguata.

Neuroni motori (efferenti): Trasportano gli impulsi dal SNC agli organi effettori, che sono tipicamente muscoli o ghiandole.

Organi effettori: Eseguono la risposta. Nei muscoli, ciò si traduce in movimento (contrazione o rilassamento). Nelle ghiandole, si traduce nella secrezione di sostanze. La risposta può essere un'azione semplice, come ritrarre un arto da una fonte di dolore, o un comportamento complesso, come la ricerca di cibo o la fuga da un predatore

Il componente cellulare fondamentale: il neurone



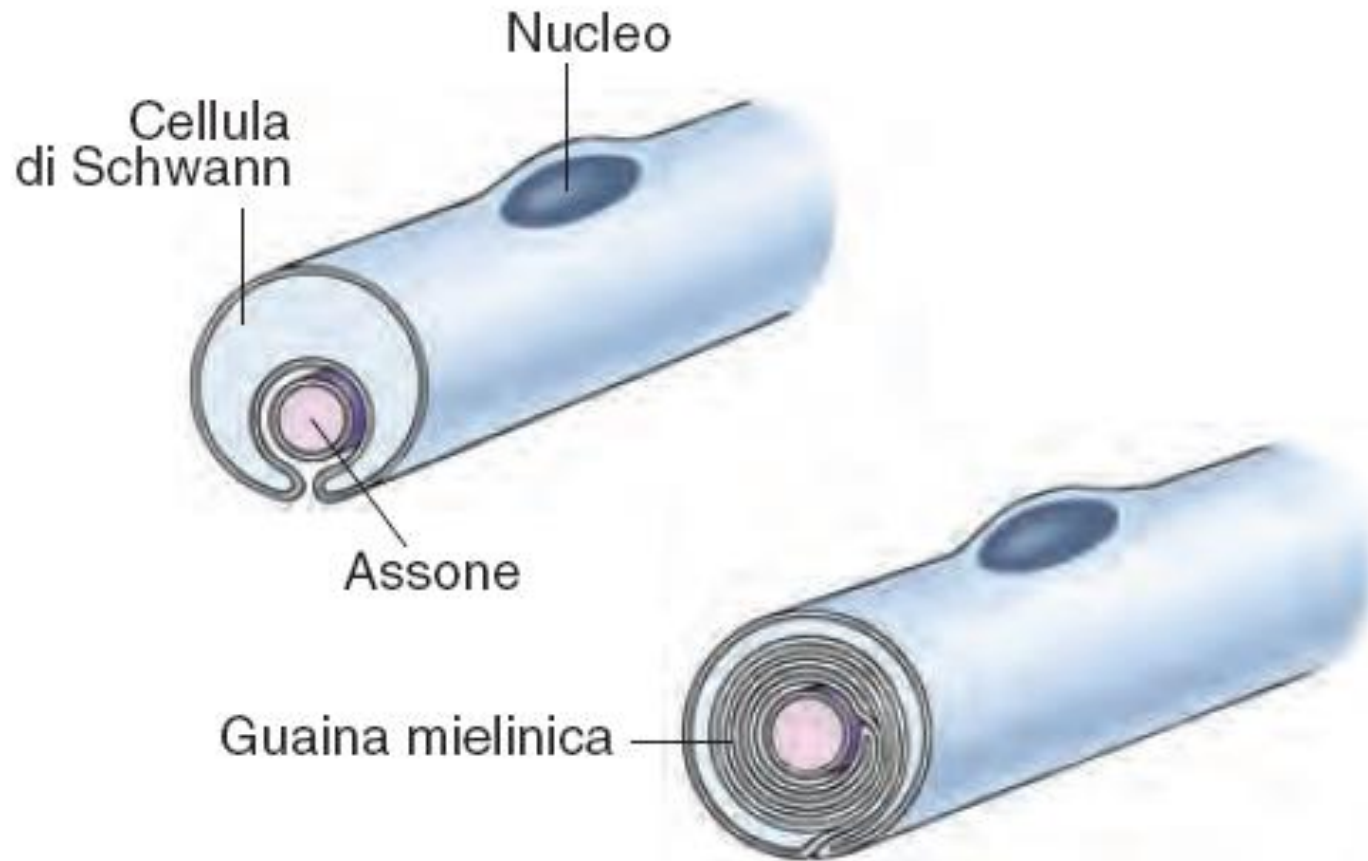
Corpo cellulare (soma)

Dendriti (brevi e ramificati, raccolgono il segnale proveniente da altre cellule e lo trasmettono al corpo cellulare)

Assoni (lungo, conduce i segnali verso altre cellule nervose, muscoli o ghiandole. In alcuni casi può ramificarsi)

Gli assoni sono spesso racchiusi in una guaina isolante, la **guaina mielinica**, formata da cellule non sensoriali

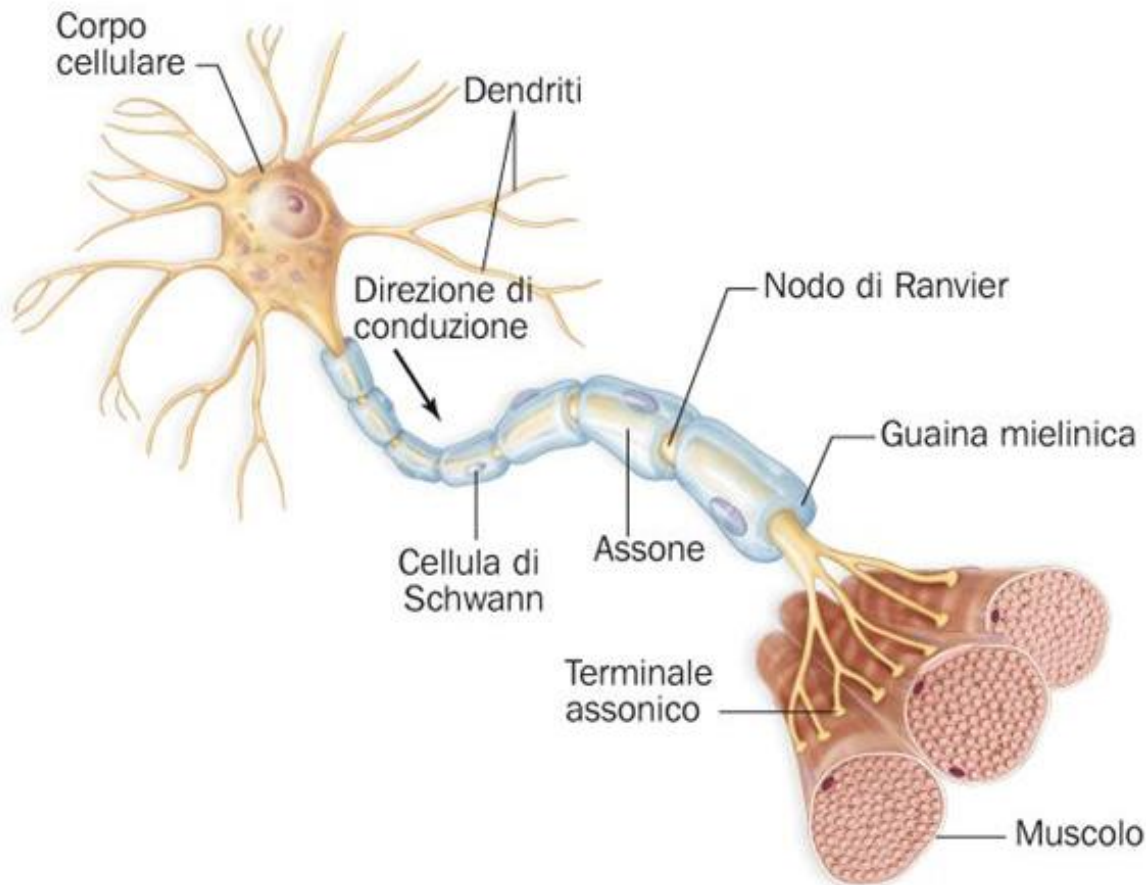
La guaina in un neurone mielinico



La cellula di Schwann si accresce intorno all'assone avvolgendolo in una guaina multistratificata

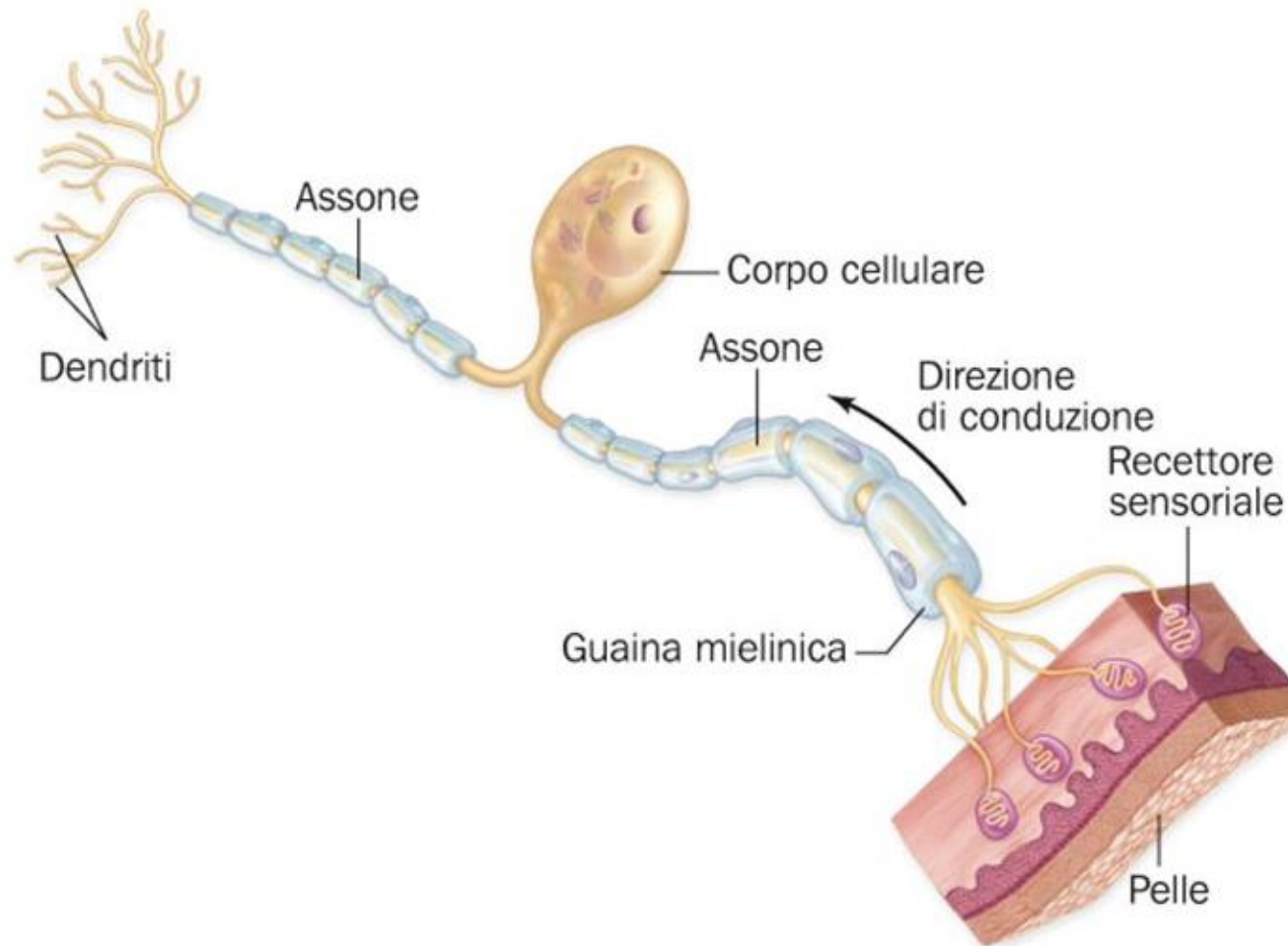
I tre tipi di neuroni

I **neuroni motòri (efferenti)** portano gli impulsi nervosi dal sistema nervoso centrale ai muscoli e alle ghiandole.



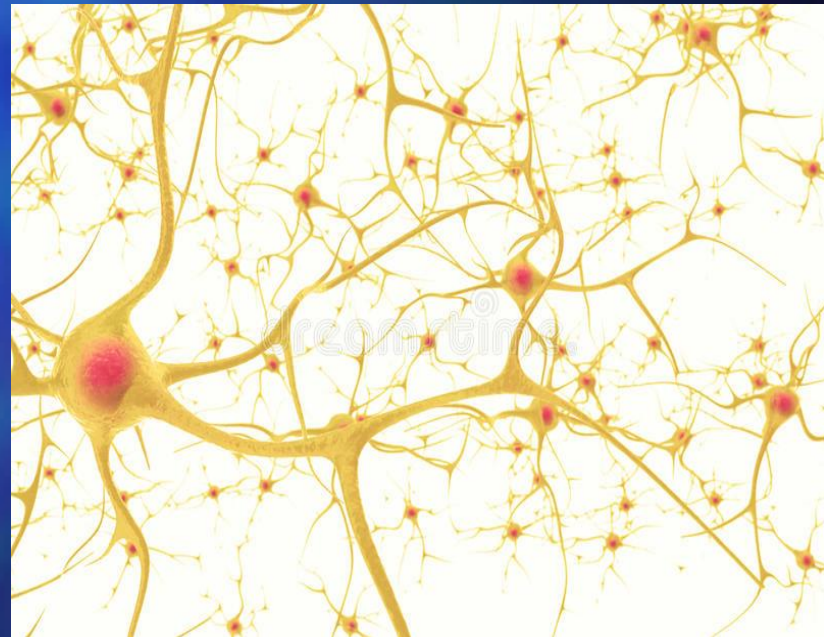
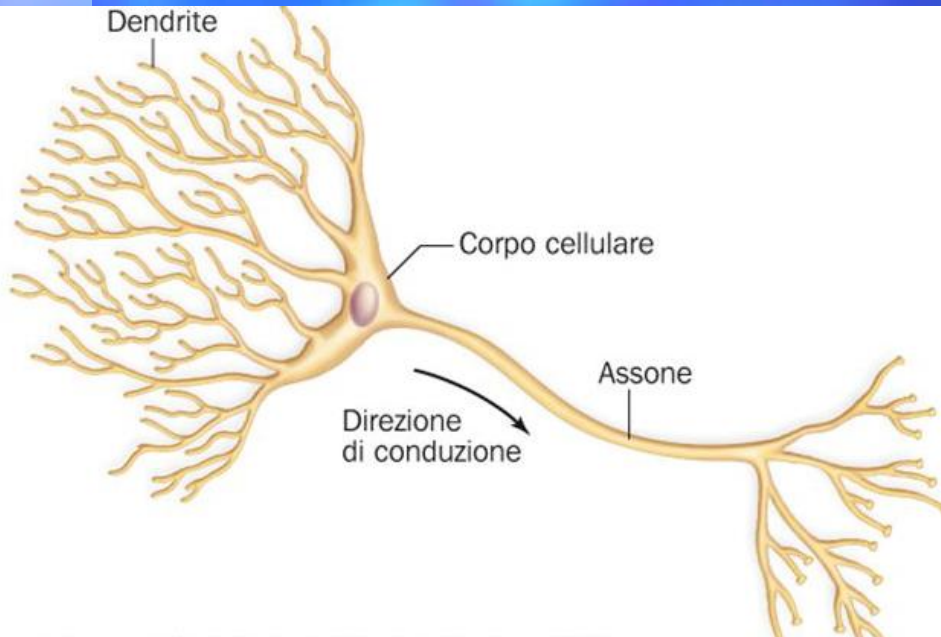
I tre tipi di neuroni

I **neuroni sensoriali (afferenti)** portano gli impulsi dai recettori sensoriali al sistema nervoso centrale.



I tre tipi di neuroni

Gli **interneuroni**, o **neuroni di associazione**, si trovano esclusivamente nel sistema nervoso centrale. Essi trasmettono gli impulsi tra le varie parti del sistema nervoso centrale, possono essere interposti tra i neuroni sensoriali e quelli motori, e formare vie nervose complesse all'interno dell'encefalo.



Il corpo umano adulto è composto da circa 30 trilioni di cellule, con variazioni individuali (un uomo adulto ha circa 36 trilioni di cellule, una donna adulta circa 28 trilioni). Queste cellule, che includono circa 250 tipi diversi, sono organizzate in tessuti e organi e svolgono funzioni diverse a seconda della loro specializzazione, come quelle muscolari e nervose.

Per dare un'idea:

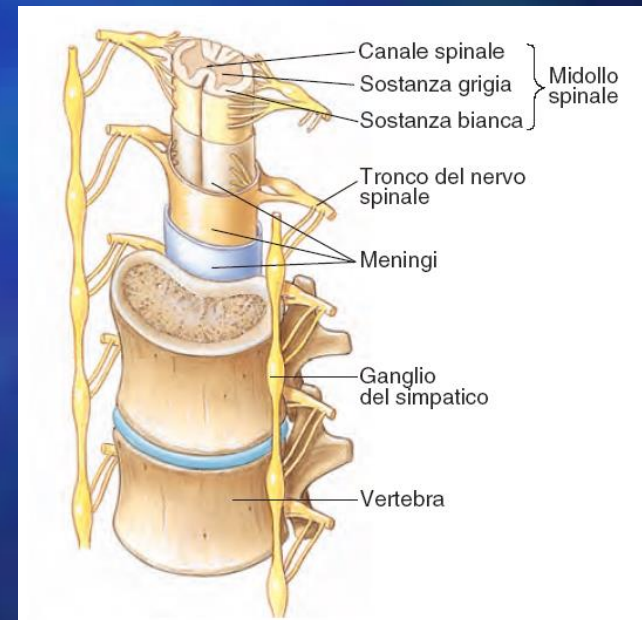
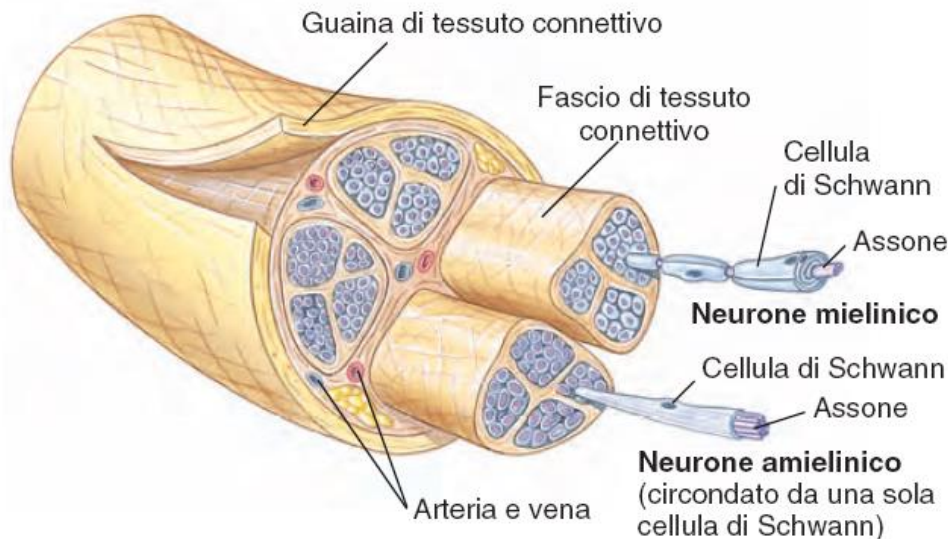
Globuli rossi: **circa 25 trilioni**

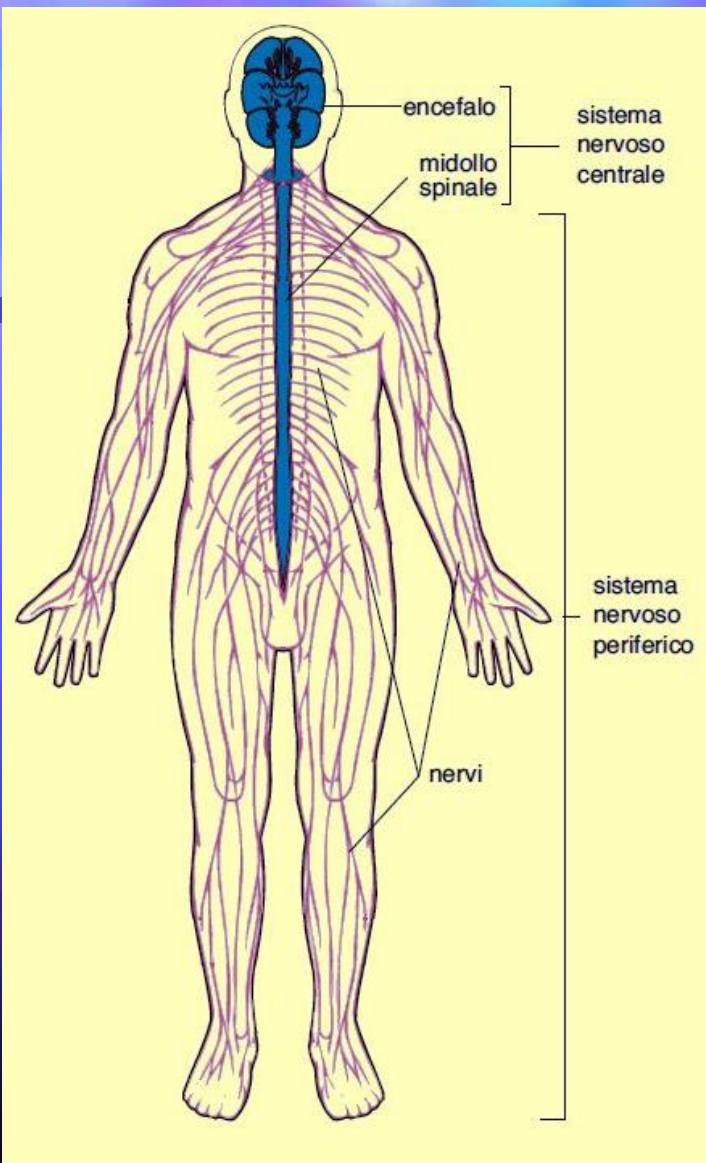
Neuroni: **≈ 86 miliardi**



Il sistema nervoso periferico si trova al di fuori del sistema nervoso centrale ed è costituito dai **gangli**, che contengono i corpi cellulari dei neuroni, e dai **nervi**, che sono fasci di assoni.

Esso comprende i **nervi cranici**, che si connettono con l'encefalo, e i **nervi spinali**, connessi al midollo spinale tramite due corte radici, dorsale e ventrale.

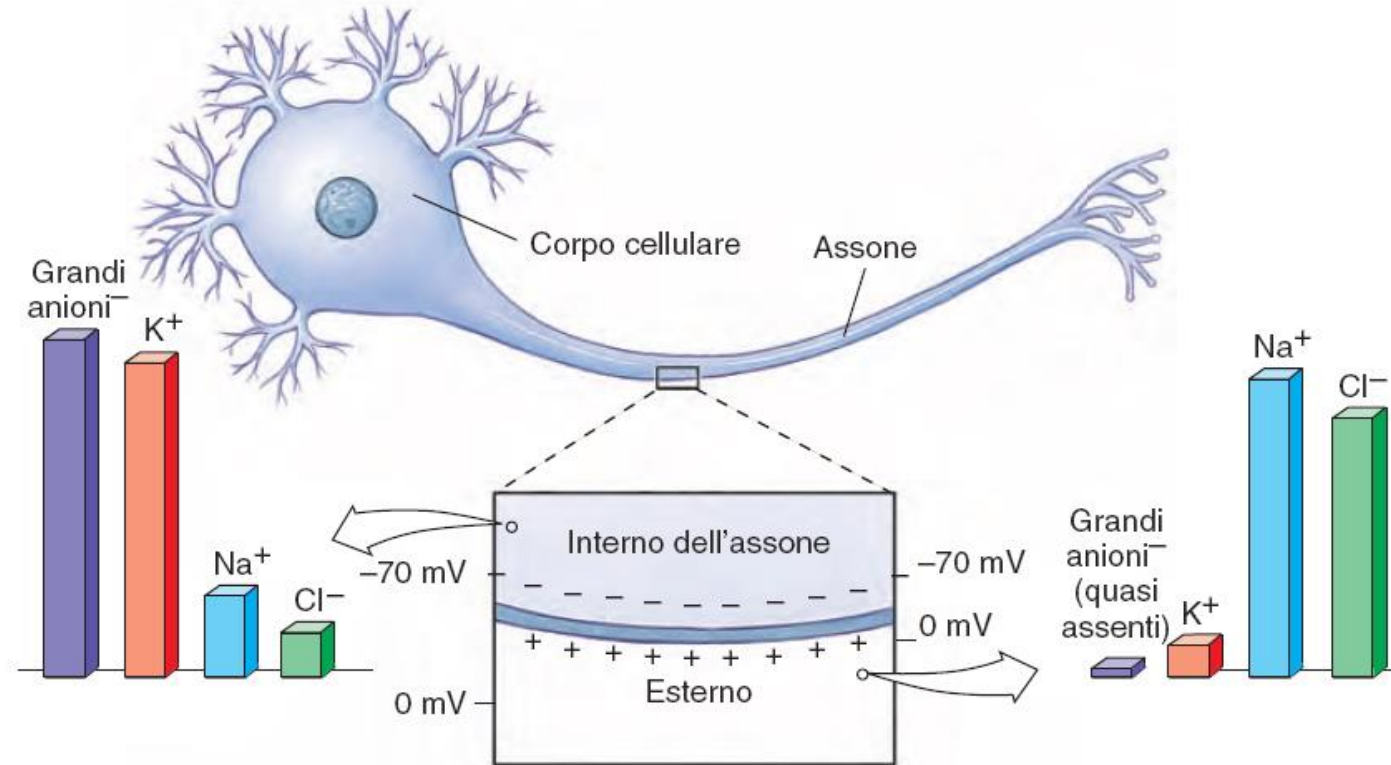




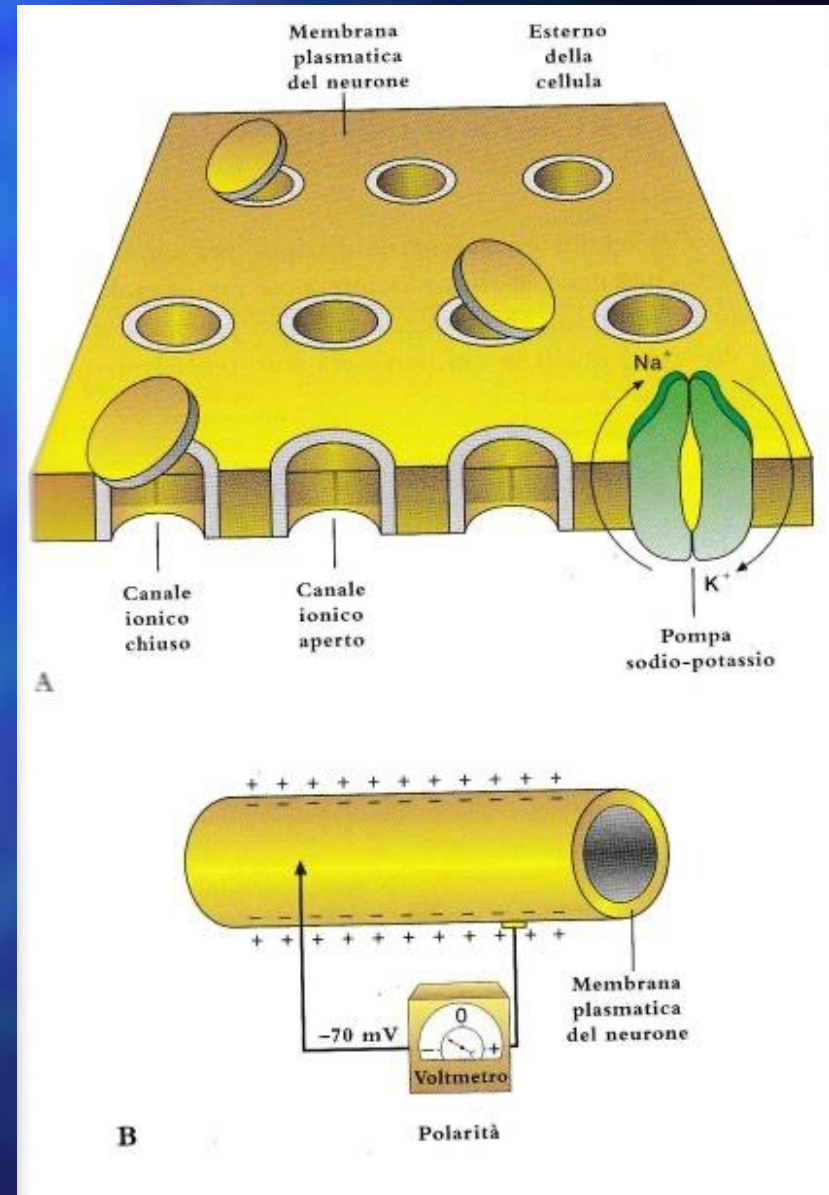
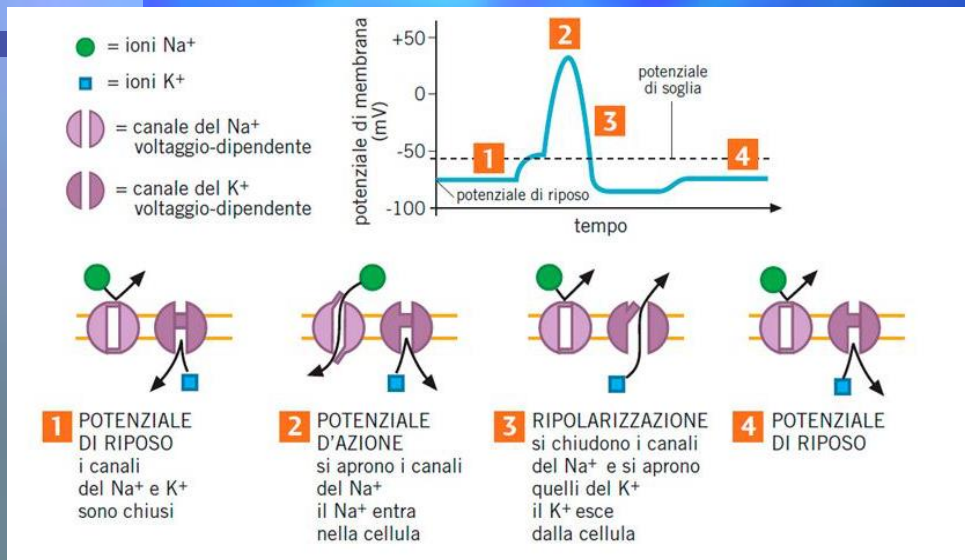
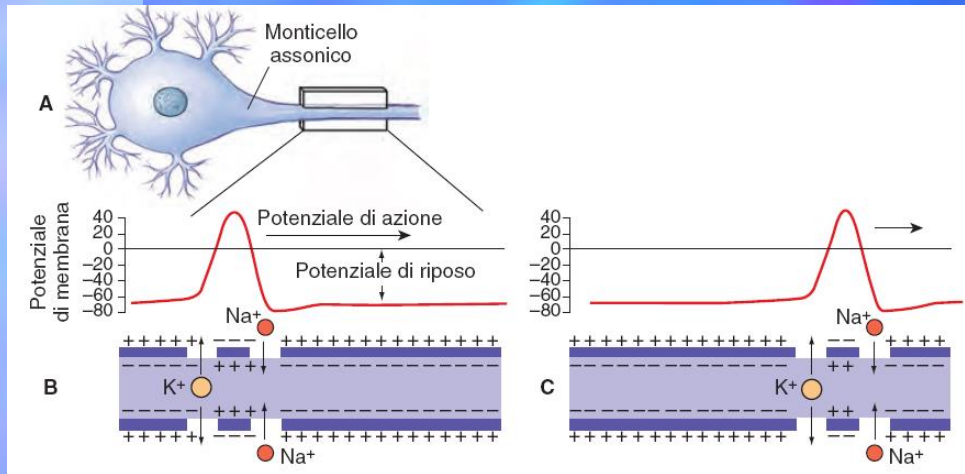
Il Sistema Nervoso Centrale comprende l'**encefalo**, racchiuso nella scatola cranica, e il **midollo spinale**, contenuto nel canale vertebrale.

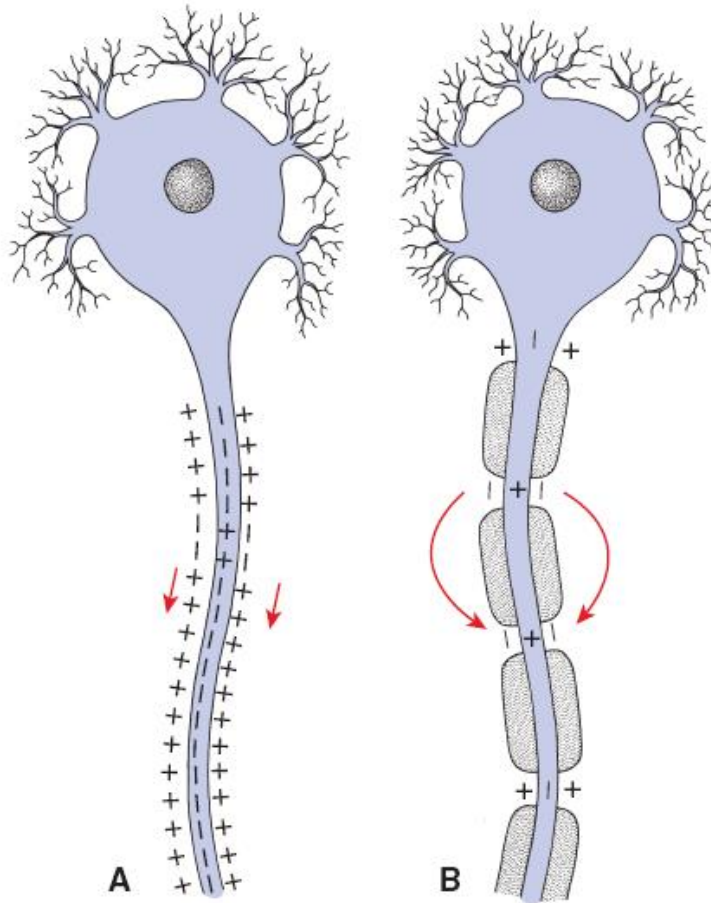
Il Sistema Nervoso Periferico è costituito dai nervi sensitivi (afferenti) ed efferenti (es. motori)

La comunicazione: il potenziale di riposo



La comunicazione: il potenziale di azione

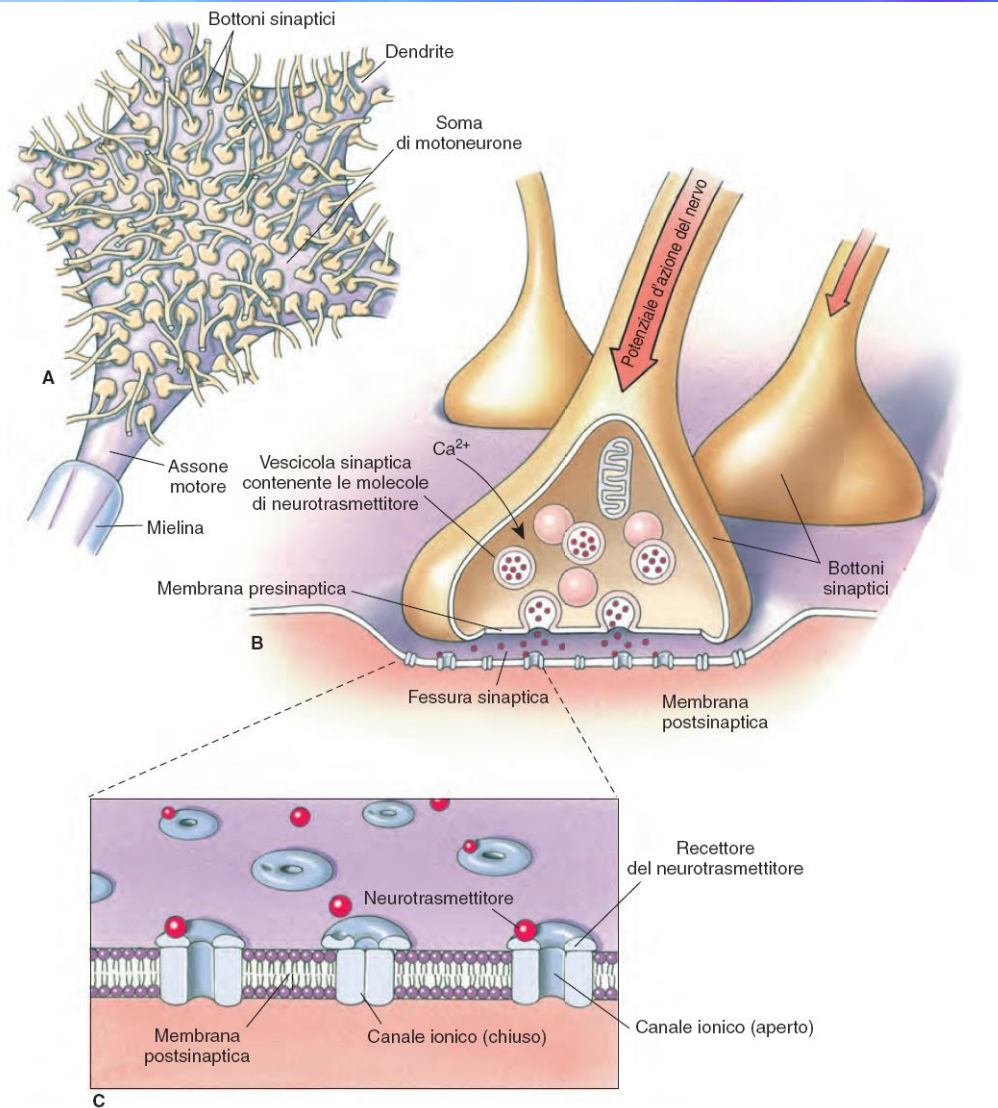




La conduzione dell'impulso in fibre mieliniche e non mieliniche

La conduzione saltatoria è più efficiente e. soprattutto più veloce

La Trasduzione del segnale: le sinapsi

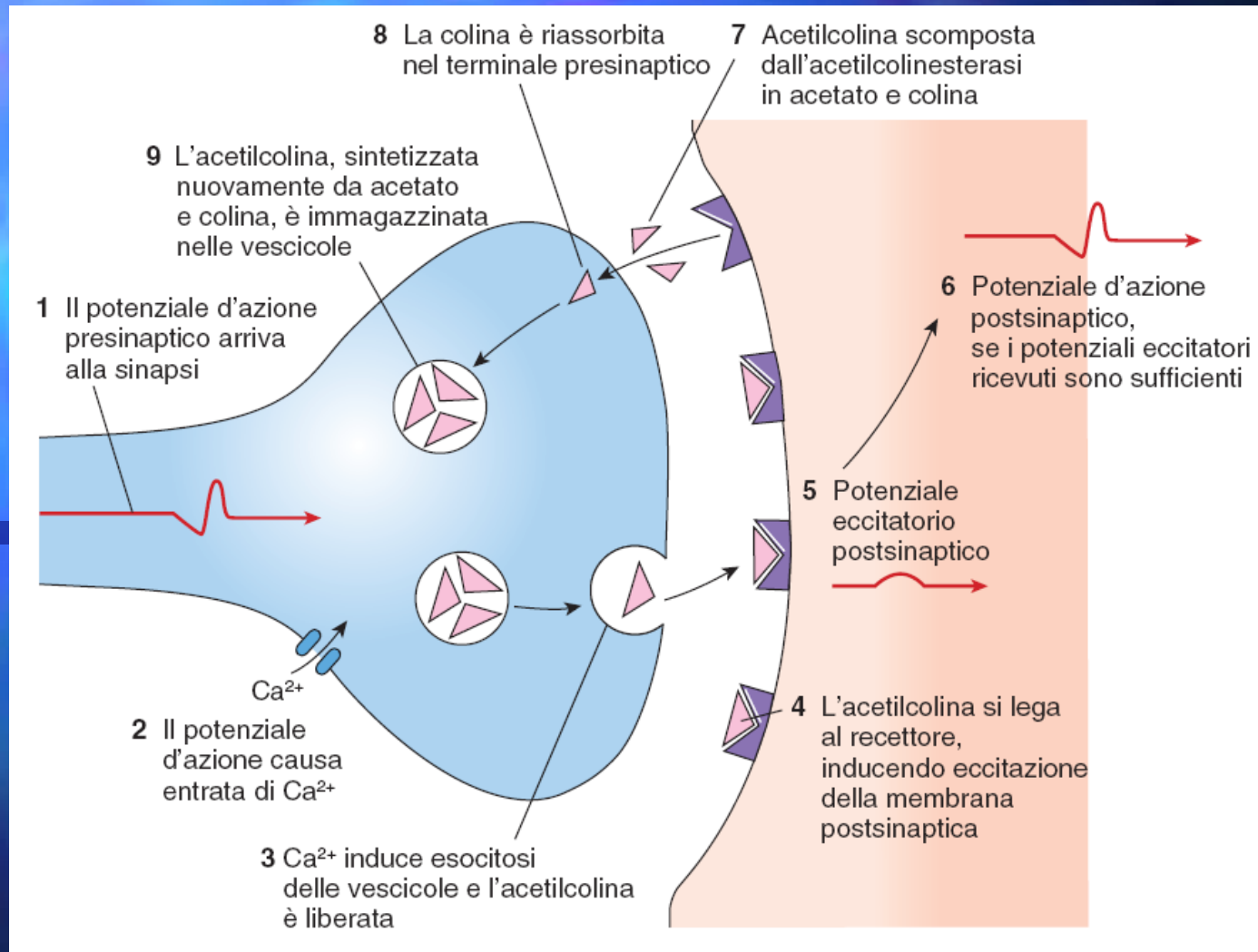


Sinapsi asso-dendritiche (assone di un neurone (quello presinaptico) entra in contatto con il dendrite di un altro neurone (quello postsinaptico))

Sinapsi asso-assoniche (assone di un neurone (presinaptico) si collega all'assone di un altro neurone (postsinaptico))

Sinapsi assosomatiche (giunzioni specializzate che consentono il **passaggio diretto e rapidissimo di segnali elettrici** tra cellule eccitabili adiacenti)

Le sinapsi chimiche



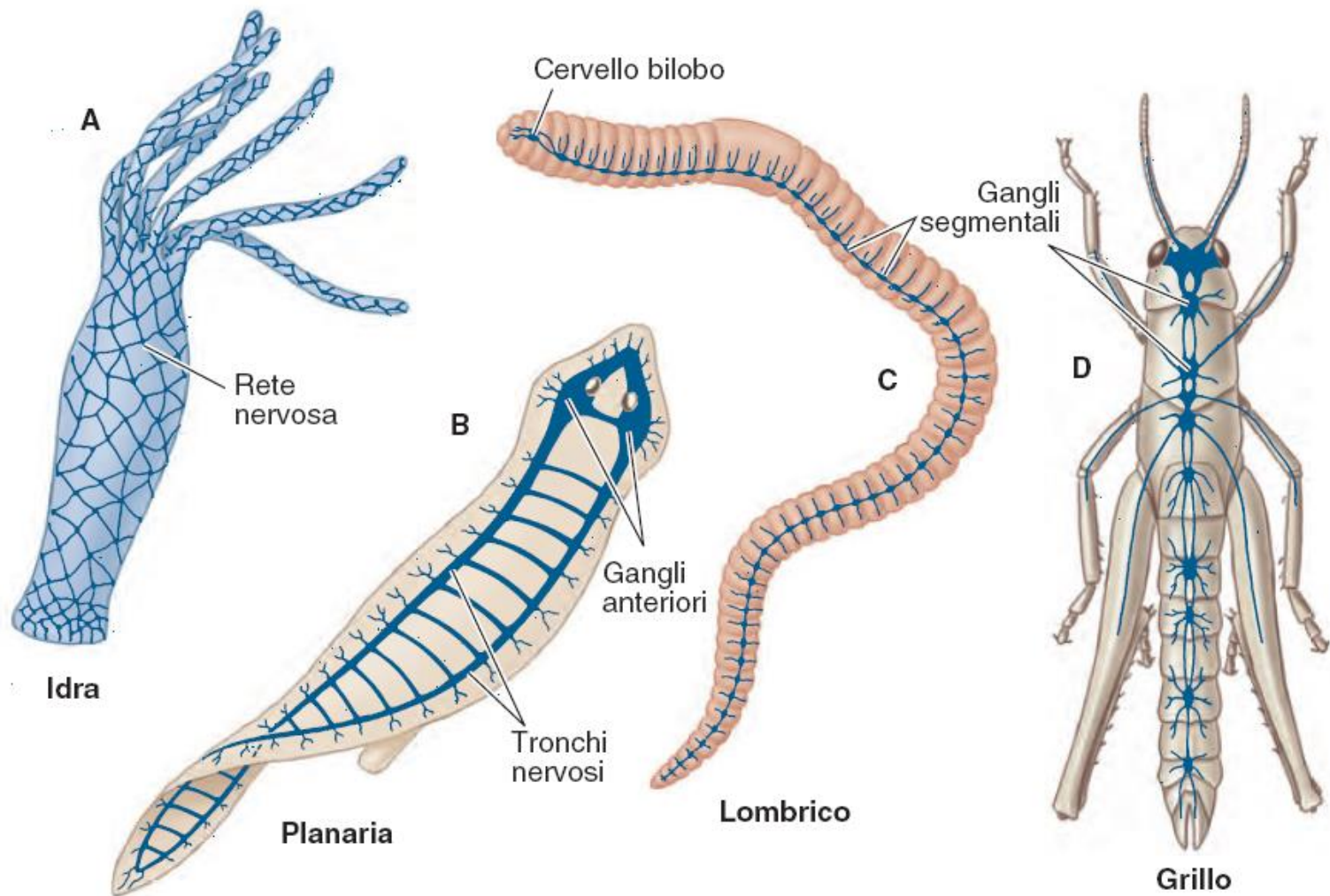


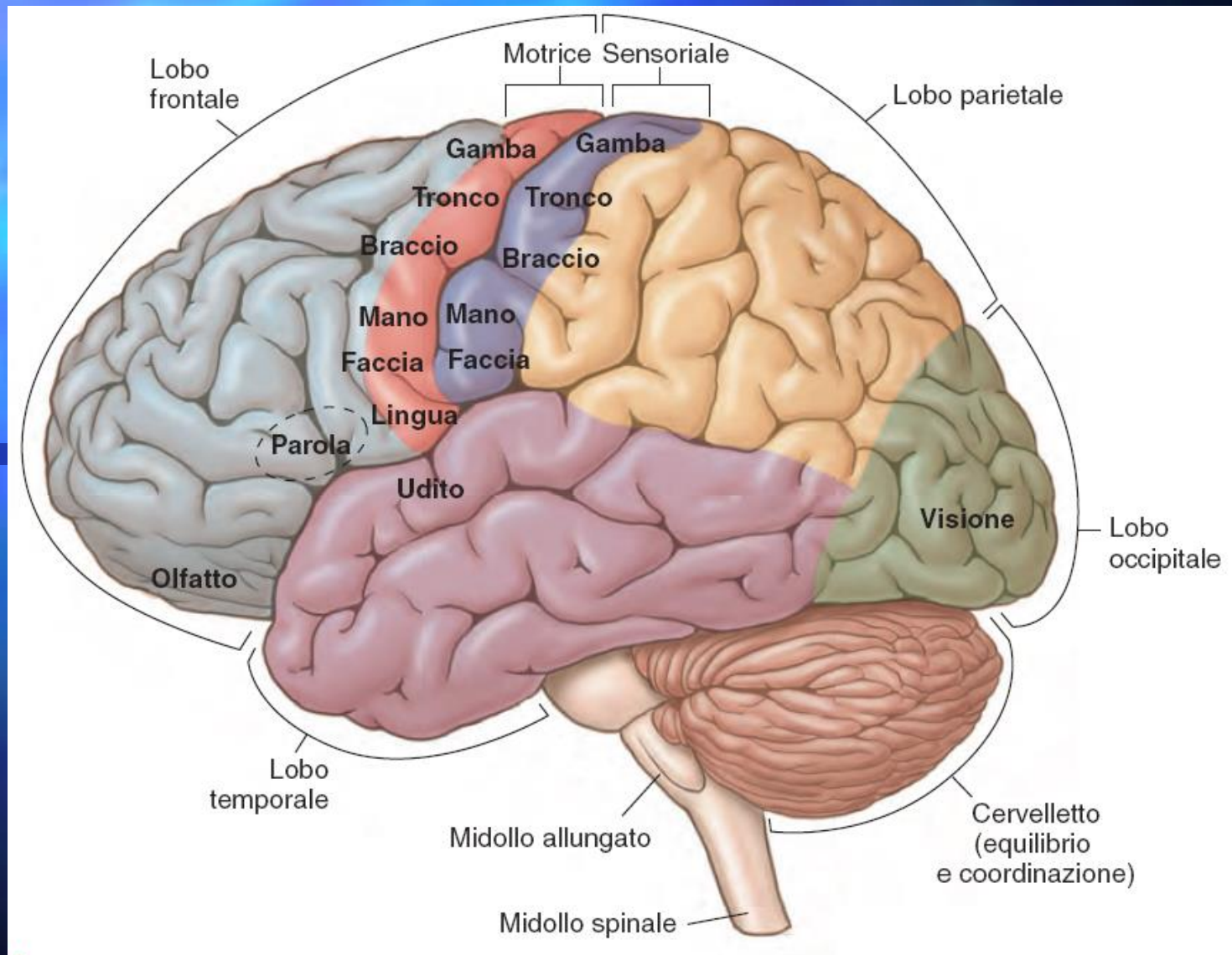
Figura 8.9 Sistemi nervosi di invertebrati. **A**, la rete nervosa dei radiati, l'organizzazione nervosa più semplice. **B**, il sistema nervoso di un platelminta, il sistema nervoso più semplice di tipo lineare, costituito da due tronchi nervosi connessi a una complessa rete neurale. **C**, il sistema nervoso di un anellide, organizzato in un cervello bilobo e in una catena ventrale provvista di gangli segmentali. **D**, sistema nervoso di un artropode, anch'esso segmentale, con gangli grandi e con organi di senso più progrediti.

Il cervello dei vertebrati

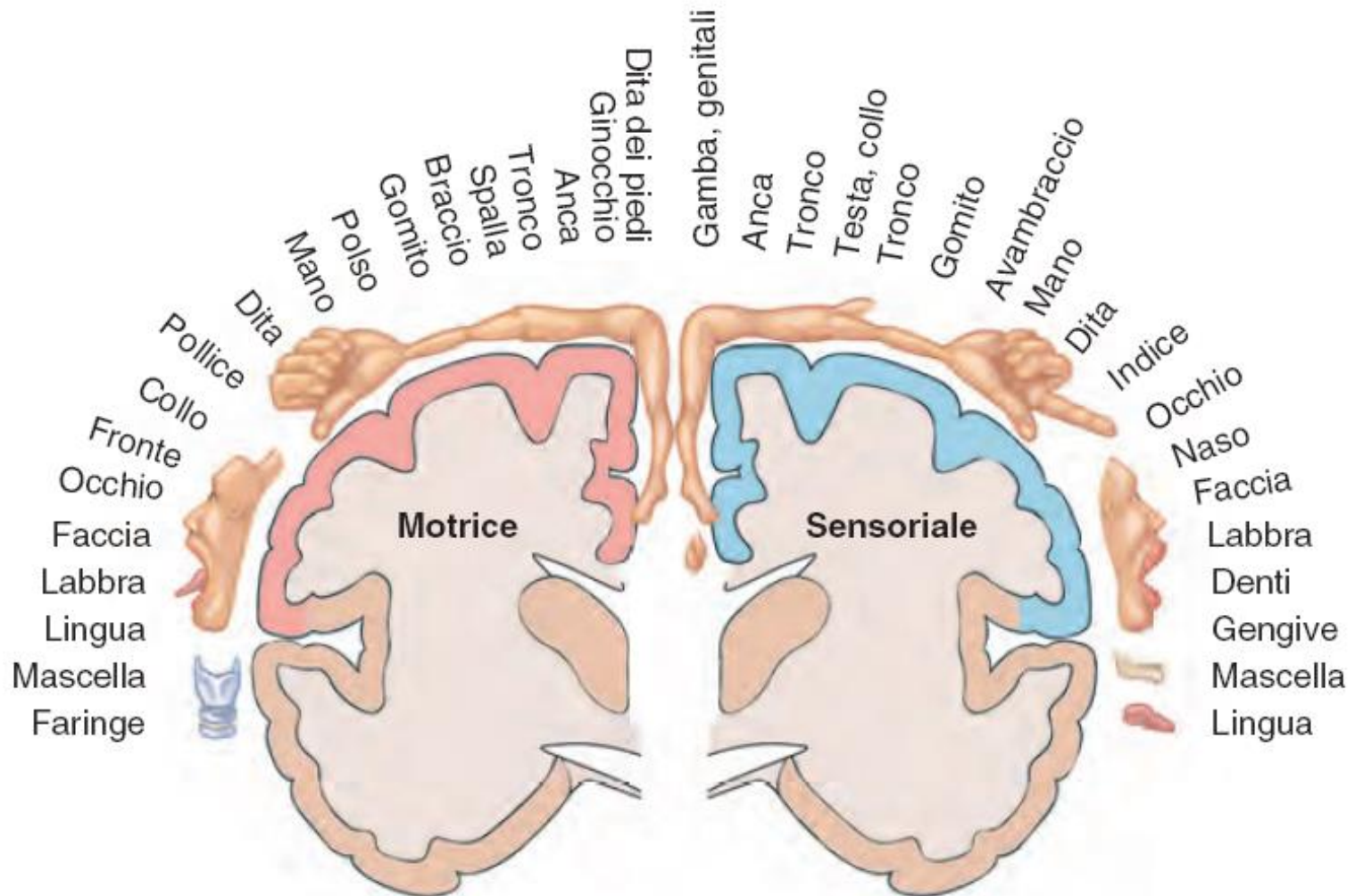
Vescicola embrionale			
Stadi embrionali iniziali	Stadi embrionali finali	Principali componenti negli adulti	Funzione
Cervello anteriore (Prosencefalo)	Telencefalo	Cerebro	L'area motrice controlla i movimenti dei muscoli volontari; la corteccia sensoriale è il centro della percezione cosciente di tatto, pressione, vibrazione, dolore, temperatura e gusto; le aree di associazione integrano ed elaborano i dati sensoriali
	Diencefalo	Talamo Ipotalamo	Parte del sistema limbico; integra l'informazione sensoriale che arriva al talamo e la proietta verso i lobi cerebrali frontali Controlla le funzioni autonome; regola gli stimoli appetitivi (sete, fame, desiderio sessuale) e il comportamento; regola gli stati emozionali; secerne ADH, ossitocina; secerne i fattori di rilascio per il lobo anteriore della ghiandola pituitaria (o ipofisi)
Cervello medio (Mesencefalo)	Mesencefalo	Lobi ottici (tetto)	Integra l'informazione visiva con altri impulsi sensoriali; ripete l'informazione uditiva
		Nuclei del cervello medio	Controllo involontario del tono muscolare; elaborazione delle sensazioni in arrivo ed emissione di comandi motori
Cervello posteriore (Rombencefalo)	Mielsefalo	Cervelletto	Coordinazione involontaria e controllo dei movimenti verso l'esterno per l'equilibrio, del tono muscolare e della postura
		Ponte	Collega il cervelletto con gli altri centri del cervello e con il midollo allungato e il midollo spinale; modifica gli output dei centri respiratori nel midollo allungato
	Metencefalo	Midollo allungato	Regola la frequenza cardiaca e la forza di contrazione; esercita il controllo vasomotore; regola la frequenza respiratoria; trasmette informazioni verso il cervelletto



Funzioni telencefalo e cervelletto nel cervello umano



I percorsi motori ascendenti e discendenti



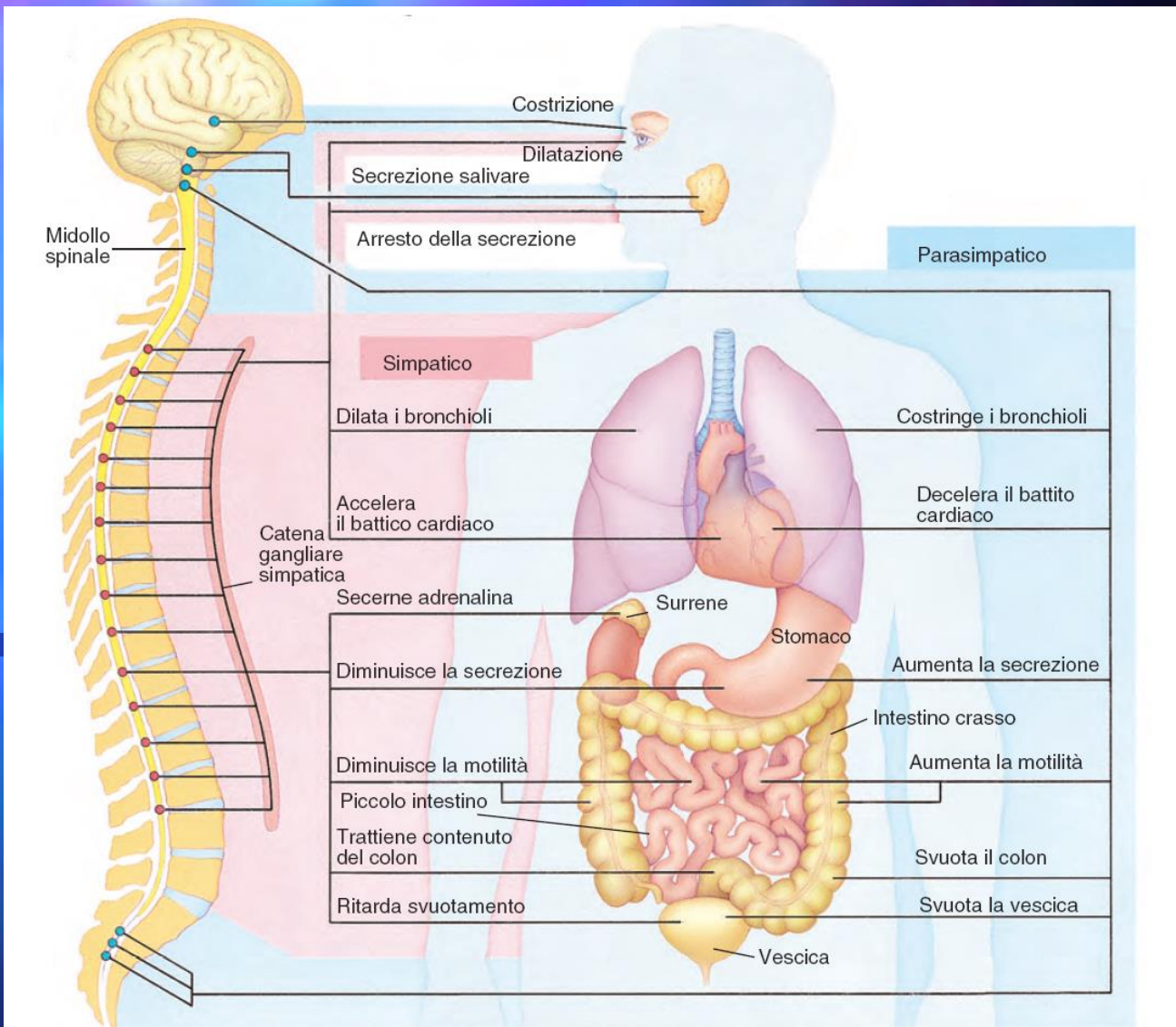
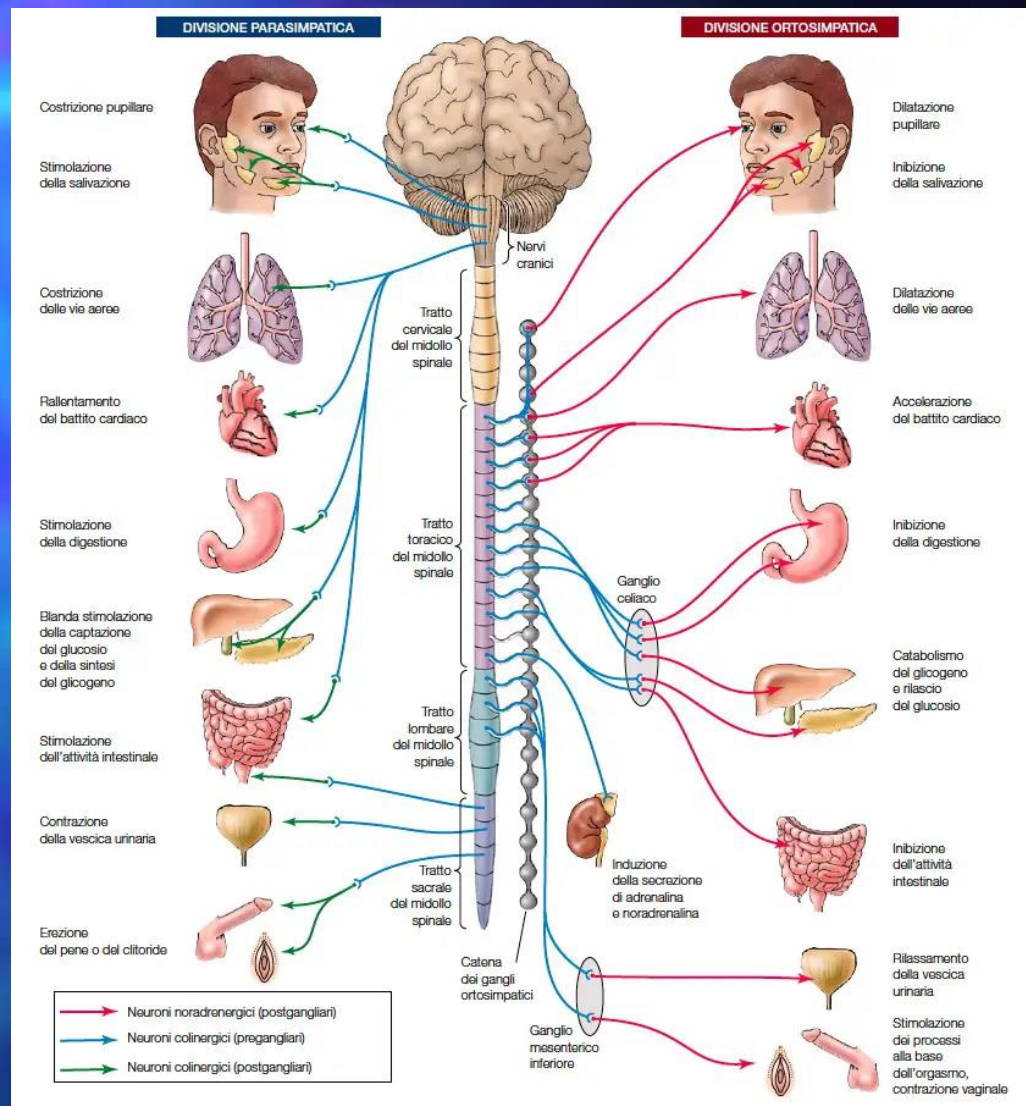


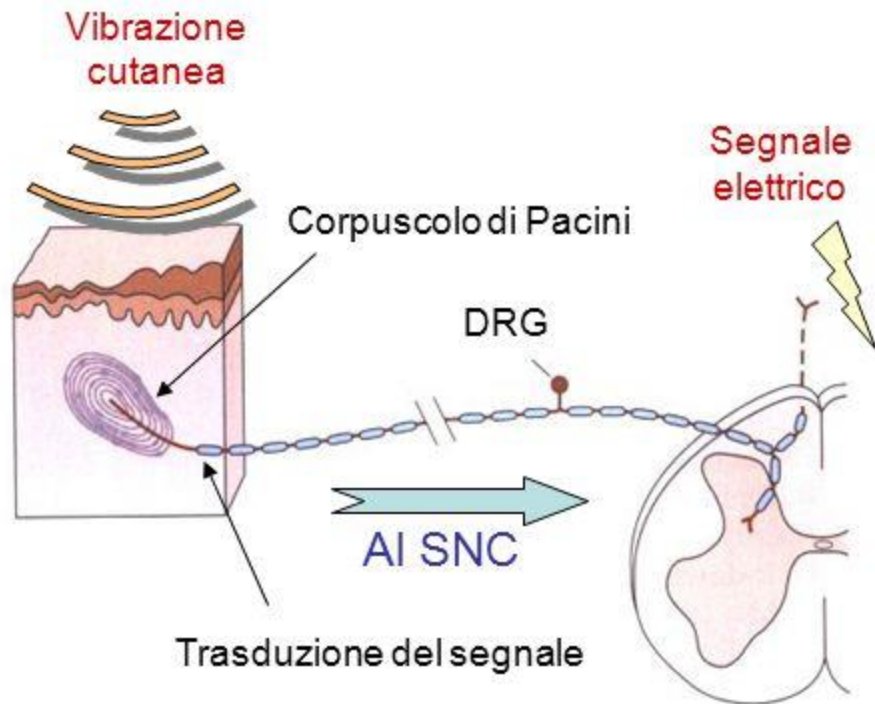
Figura 8.17 Sistema nervoso autonomo nell'uomo. L'uscita dei nervi del sistema autonomo dal sistema nervoso centrale è mostrata a sinistra. La divisione simpatica (rosso) esce dalle aree toracica e lombare del midollo spinale sotto forma di catena di gangli simpatici. La divisione parasimpatica (blu) esce dalle aree craniale e sacrale del sistema nervoso centrale: i gangli parasimpatici (non mostrati in figura) sono localizzati all'interno, o in prossimità degli organi innervati. Gran parte degli organi sono innervati da fibre di entrambe le divisioni, simpatica e parasimpatica.

La divisione ortosimpatica e quella parasimpatica sono due rami del sistema nervoso autonomo che hanno funzioni opposte e complementari: il simpatico prepara il corpo alla reazione "lotta o fuggi" in situazioni di stress, mentre il parasimpatico gestisce il riposo e il recupero, promuovendo la digestione e l'equilibrio. L'azione del simpatico aumenta la frequenza cardiaca e la pressione sanguigna, mentre il parasimpatico le diminuisce per riportare il corpo a uno stato di calma



- **Definizione** = processo che ci consente di acquisire l'informazione sul mondo esterno.
- La **percezione** è un processo psichico complesso che prende avvio dalle sensazioni ricevute dai recettori sensoriali ed elabora e interpreta i dati provenienti dal mondo esterno
- La percezione è la capacità di sintetizzare le varie informazioni che i diversi sensi ci comunicano e di organizzarle in modo da poter interpretare gli stimoli che provengono dall'esterno

Recettori sensoriali



- Rilevano una determinata forma di *energia*
- Trasducono un segnale *stimolo* in un segnale elettrico
- Misurano stimoli importanti per la sopravvivenza

Recettori sensoriali-modelli base

- **Fotorecettori**
 - Rispondono alla luce
- **Meccanorecettori**
 - Rispondono a deformazioni meccaniche
- **Termocettori**
 - Rispondono a variazioni di temperatura
- **Chemorecettori**
 - Rispondono alla presenza di determinate molecole

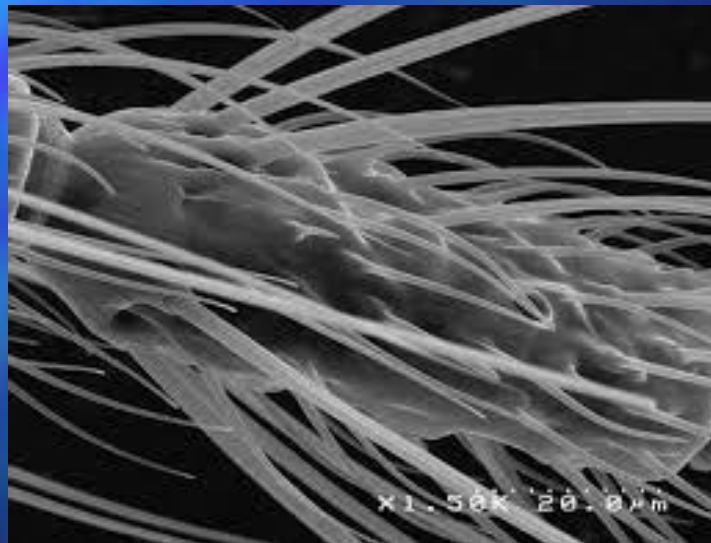
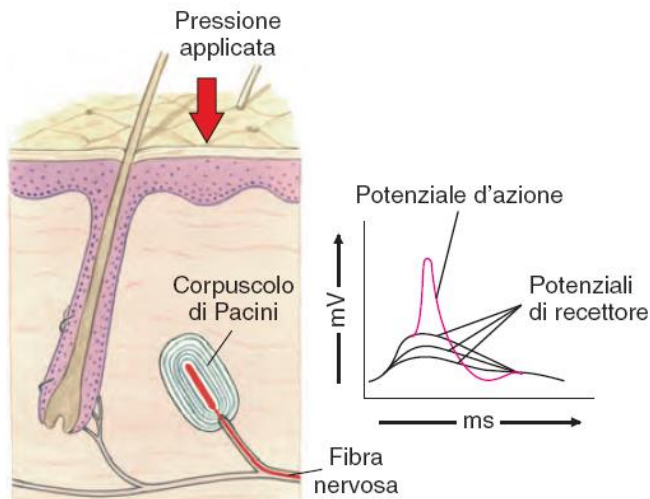
Recettori sensoriali-elenco

- **Fotorecettori**
 - Coni (visione fotopica)
 - Bastoncelli (visione scotopica)
 - Neuroni gangliari melanopsina+
- **Meccanorecettori**
 - Recettori cutanei
 - Pacini (vibrazione, derma)
 - Ruffini (pressione, derma)
 - Meissner (vibrazione, superficie)
 - Merkel (pressione, superficie)
 - Cellule ciliate
 - Acustiche (udito)
 - Vestibolari (equilibrio)
 - Propriocettori
 - Fusi neuromuscolari (stiramento muscolare)
 - Organi tendinei del Golgi (stiramento delle articolazioni)
 - Recettori di stiramento nei visceri
 - Nocicettori
- **Termocettori**
 - Recettori del caldo
 - Recettori del caldo intenso
 - Recettori del freddo
 - Recettori del freddo intenso
- **Chemorecettori**
 - Neuroni olfattivi
 - Olfattivi primari
 - Vomeronasali
 - Cellule gustative
 - Nocicettori
 - Recettori del prurito
 - Altri (recettori dei glomi carotidei, etc)

Meccanorecettori

Sono recettori sensoriali che vengono stimolati dall'alterazione della loro forma. Danno informazioni riguardanti la forma, la consistenza e le relazioni degli oggetti circostanti, trasducendo l'energia meccanica in impulso elettrico.

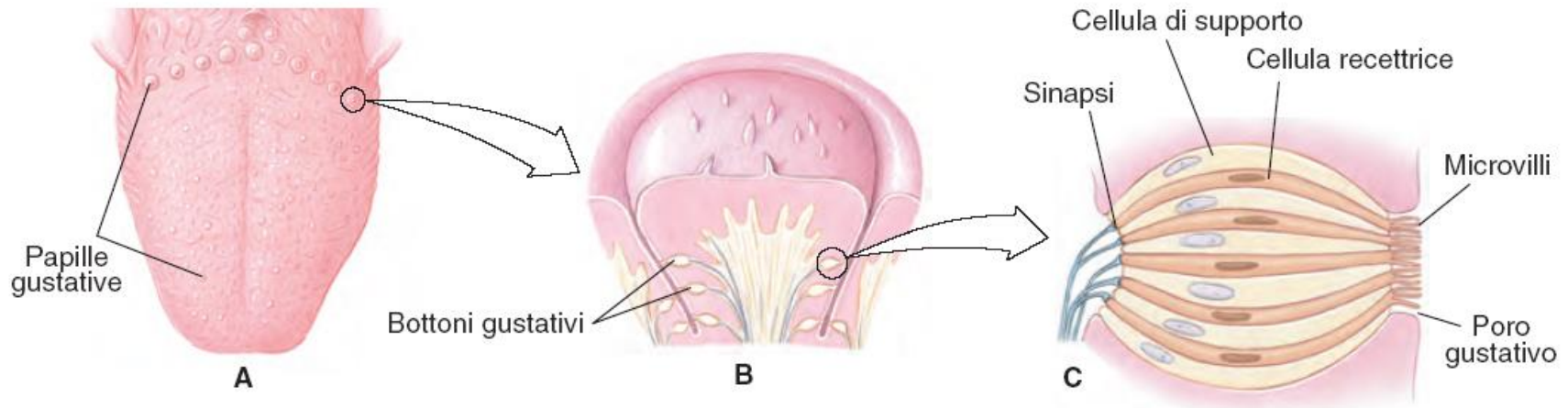
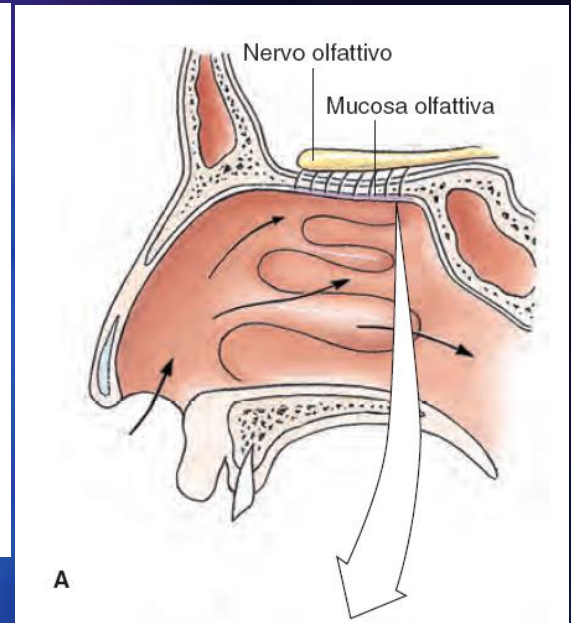
- **Tangorecettori:** sono i recettori sensoriali adibiti alla percezione della posizione spaziale del corpo e si trovano nella cute e nel derma. I primi percepiscono la vibrazione cinetica provocata dal movimento degli oggetti circostanti, i secondi permettono di sentire il contatto tra gli oggetti e la pelle.
- **Nocicettori:** si dividono in meccanici e termici e sono i responsabili della percezione del dolore della sua trasduzione al cervello, in quanto costituiti da terminazioni nervose libere.
- **Propriocettori:** sono i recettori deputati alla percezione e al riconoscimento della posizione del proprio corpo nello spazio e lo stato di contrazione dei muscoli nel meccanismo di controllo del movimento. Sono sensibili alle variazioni delle posture del corpo e dei segmenti corporei, che inviano i propri segnali ad alcune particolari aree encefaliche. Sono collocati nei muscoli, nei tendini e nei legamenti.



Chemiocettori

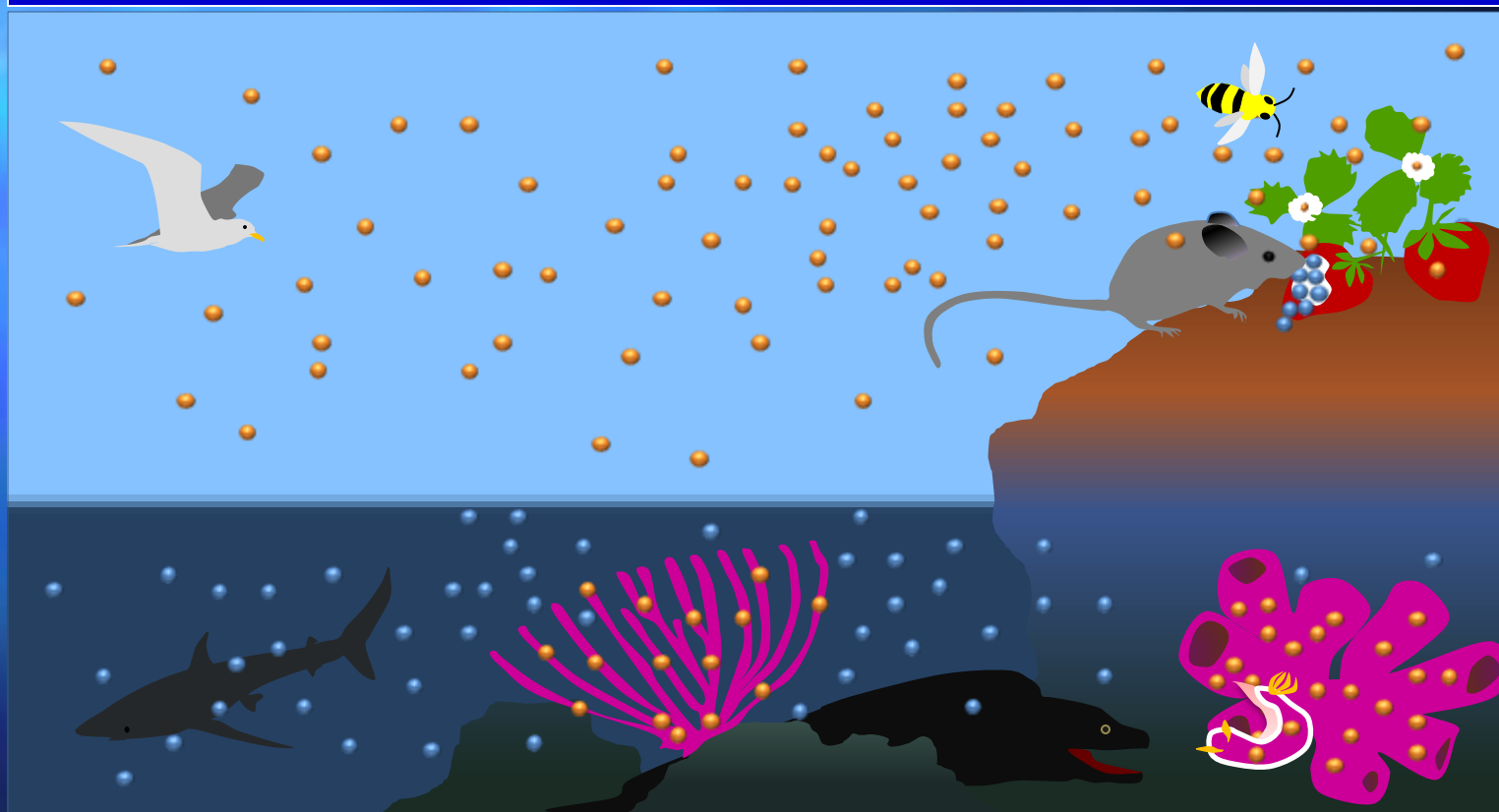
I recettori sensoriali sono organelli costituiti da terminazioni nervose che rispondono a stimoli chimici alla base di alcuni sensi quali il gusto e l'olfatto.

- **Gusto:** percepisce i materiali disciolti nell'acqua o nella saliva, attivando varie proteine che fanno in modo di riconoscere **cinque** sapori fondamentali: dolce, amaro, salato, aspro e umami.
- **Olfatto:** percepisce sostanze gassose che raggiungono i recettori olfattivi attraverso l'aria. L'olfatto è una componente del sapore. Un chemiocettore fondamentale è l'**epitelio olfattivo**, che si trova nelle cavità nasali





Sensing marine biomolecules: smell, taste, and the evolutionary transition from aquatic to terrestrial life

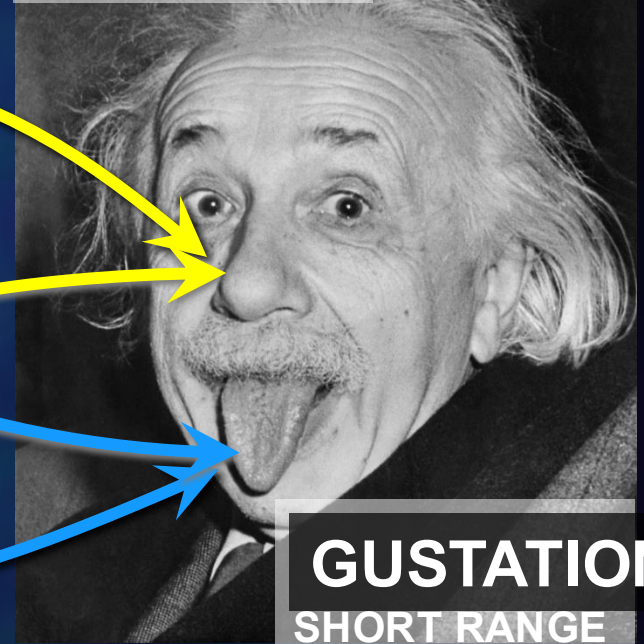




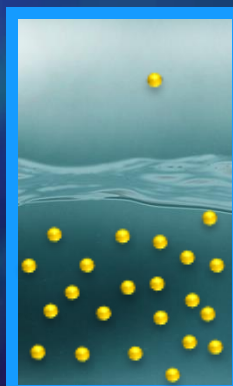
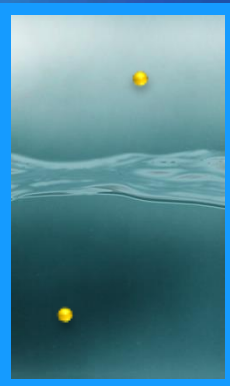
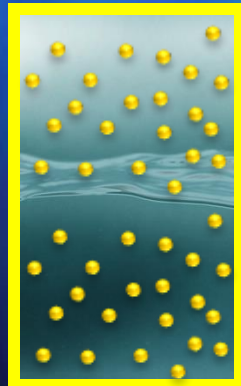
SEA

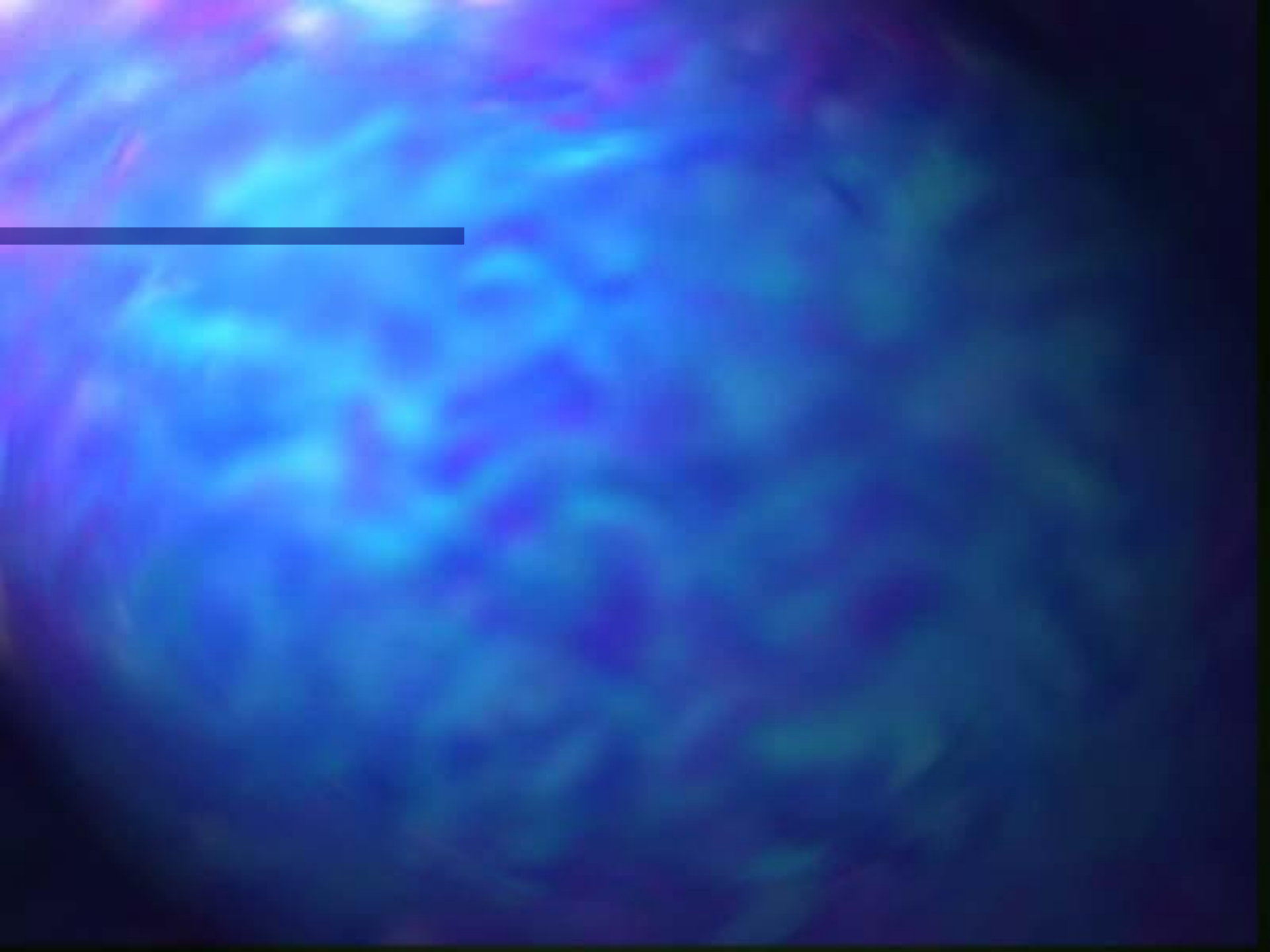
LAND

OLFACTION
LONG RANGE



Albert Einstein sticking out his tongue at photographers . Arthur Sasse/AFP.





Osmocettori e Barocettori

- **Barocettore:** recettori neurosensoriali, posti nei vasi sanguigni e nel cuore che rispondono alle variazioni di pressione. Si dividono in:
 1. **recettori di alta pressione** (o *barocettori arteriosi seno-aortici*) localizzati nell'arco aortico e nei seni carotidei.
 2. **Recettori di bassa pressione** localizzati nelle vene, nei vasi polmonari e nelle pareti del cuore.
- **Osmocettori:** recettore sensoriale situato nell'ipotalamo. Sono neuroni deputati alla rilevazione della pressione osmotica del sangue e regolano la diuresi contribuendo al bilancio idrico del corpo. Si attivano quando l'osmolarità dei liquidi extracellulari aumenta e l'acqua tende quindi a fuoriuscire dai recettori stessi.

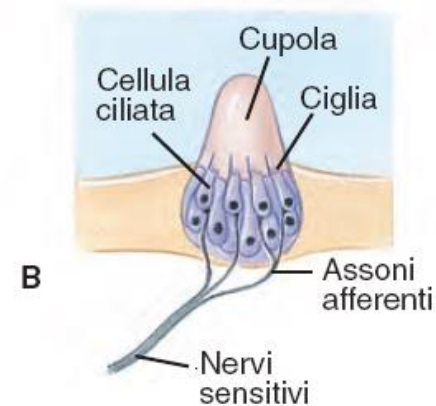
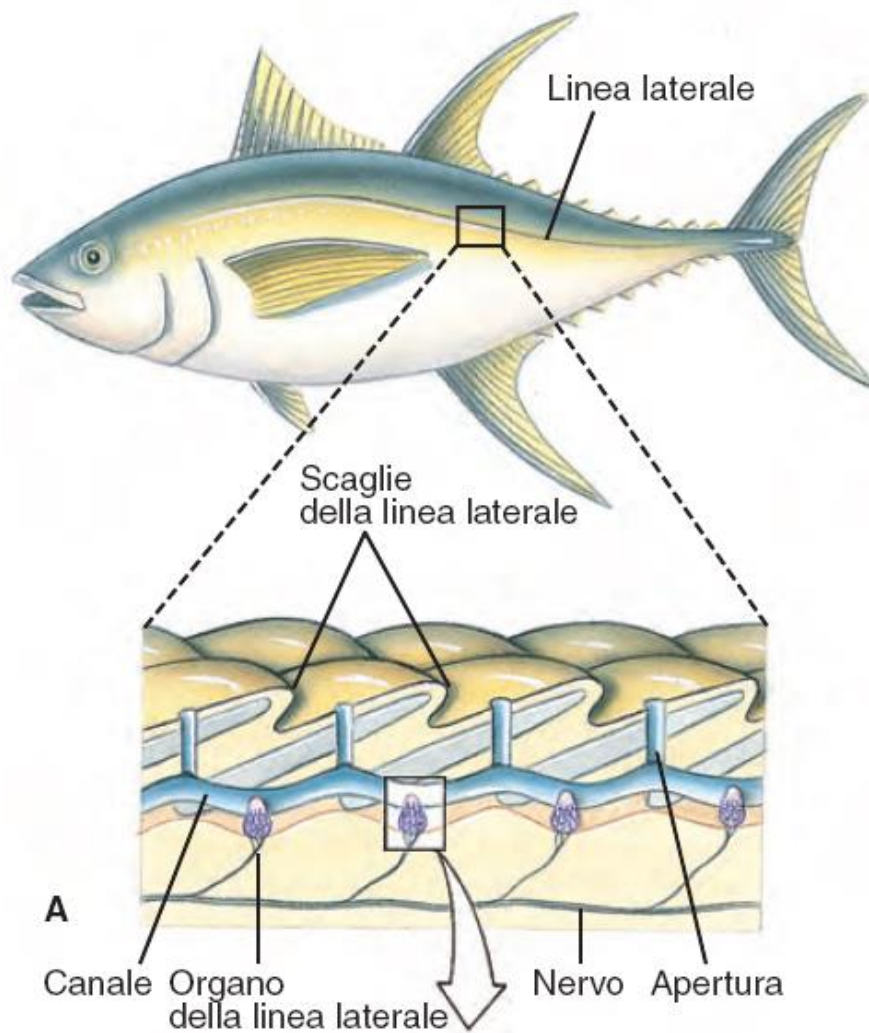


Figura 8.22 Sistema della linea laterale. **A**, linea laterale di un pesce osseo con neuromasti esposti e nascosti. **B**, struttura di un neuromasto (organo della linea laterale).

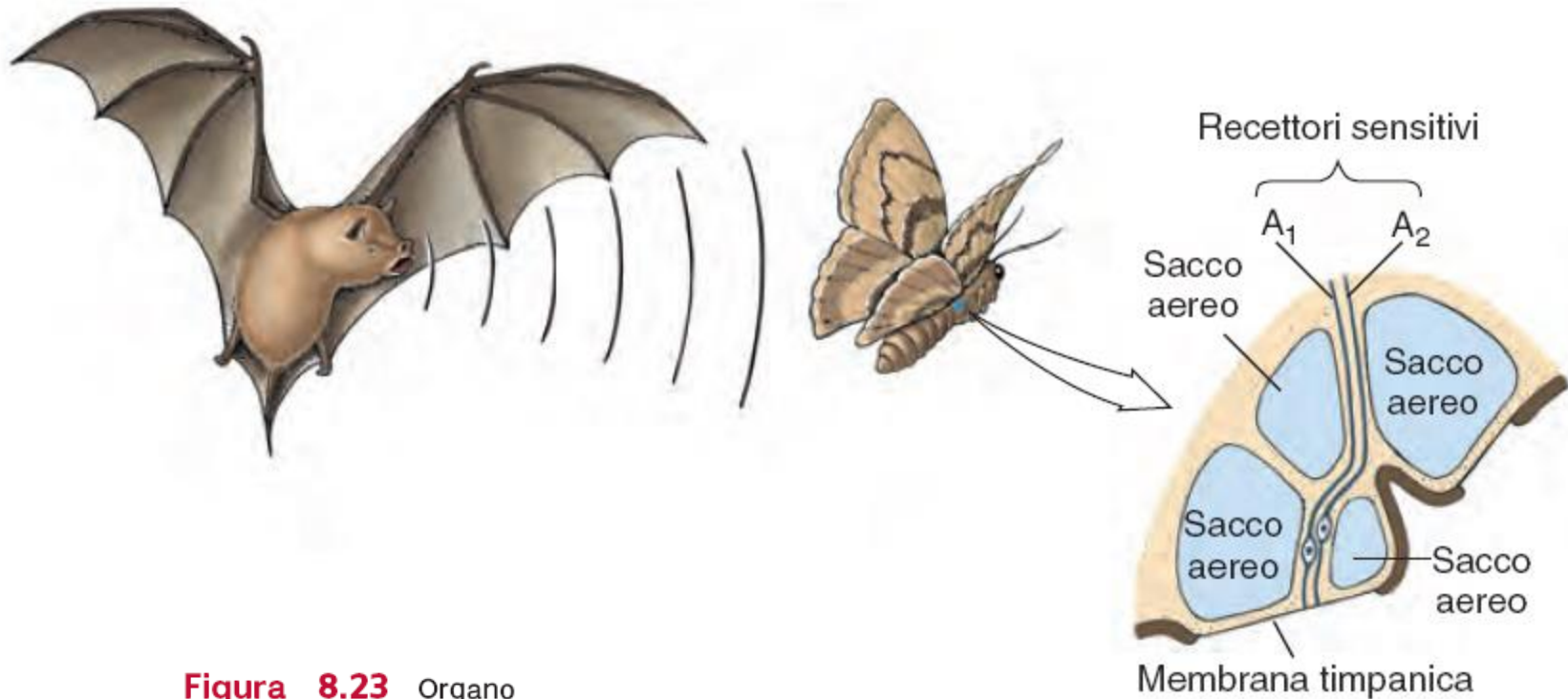


Figura 8.23 Organo uditivo di una farfalla notturna, utilizzato per percepire i pipistrelli in avvicinamento. Vedi il testo per le spiegazioni.

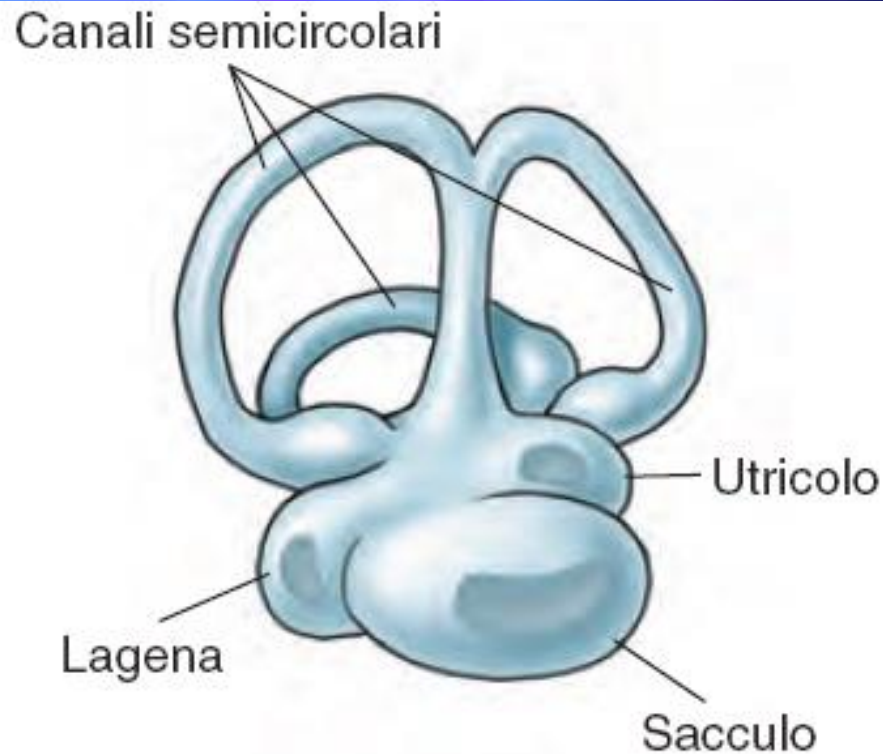


Figura 8.24 Apparato vestibolare di un pesce teleosteo, contenente tre canali semicircolari, che rispondono all'accelerazione angolare; due organi dell'equilibrio (utricolo e sacculo), che sono recettori statici che segnalano la posizione del pesce rispetto alla gravità, e una piccola camera, la lagena, che è specializzata nella percezione dei suoni.

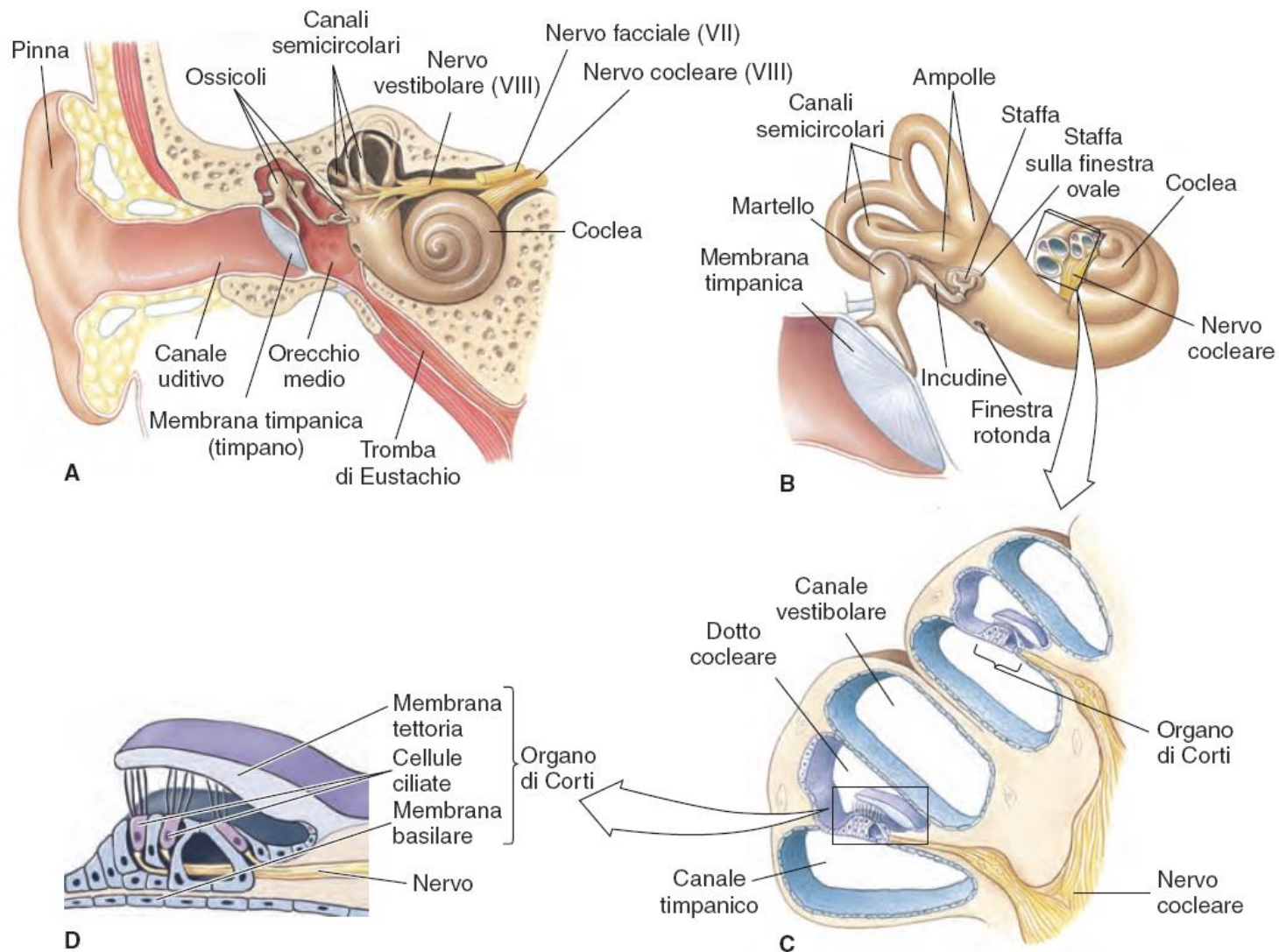
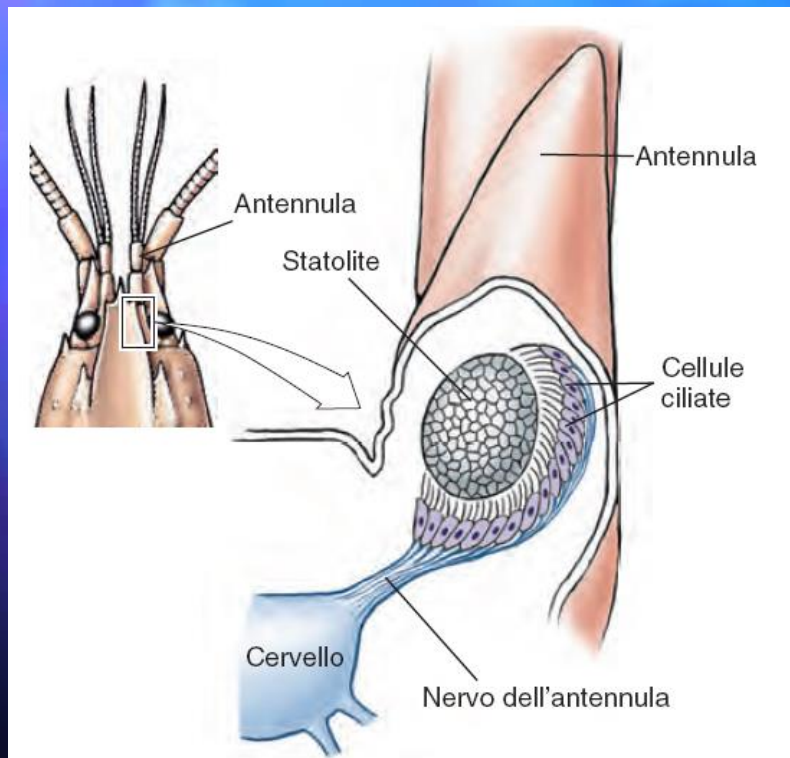


Figura 8.25 Orecchio umano. **A**, sezione longitudinale che mostra orecchio esterno, medio e interno. **B**, ingrandimento dell'orecchio medio e di quello interno. La coclea dell'orecchio interno è stata aperta per mostrare la disposizione dei canali all'interno. **C**, sezione trasversale ingrandita della coclea che mostra l'organo di Corti. **D**, dettaglio dell'ultrastruttura dell'organo di Corti.



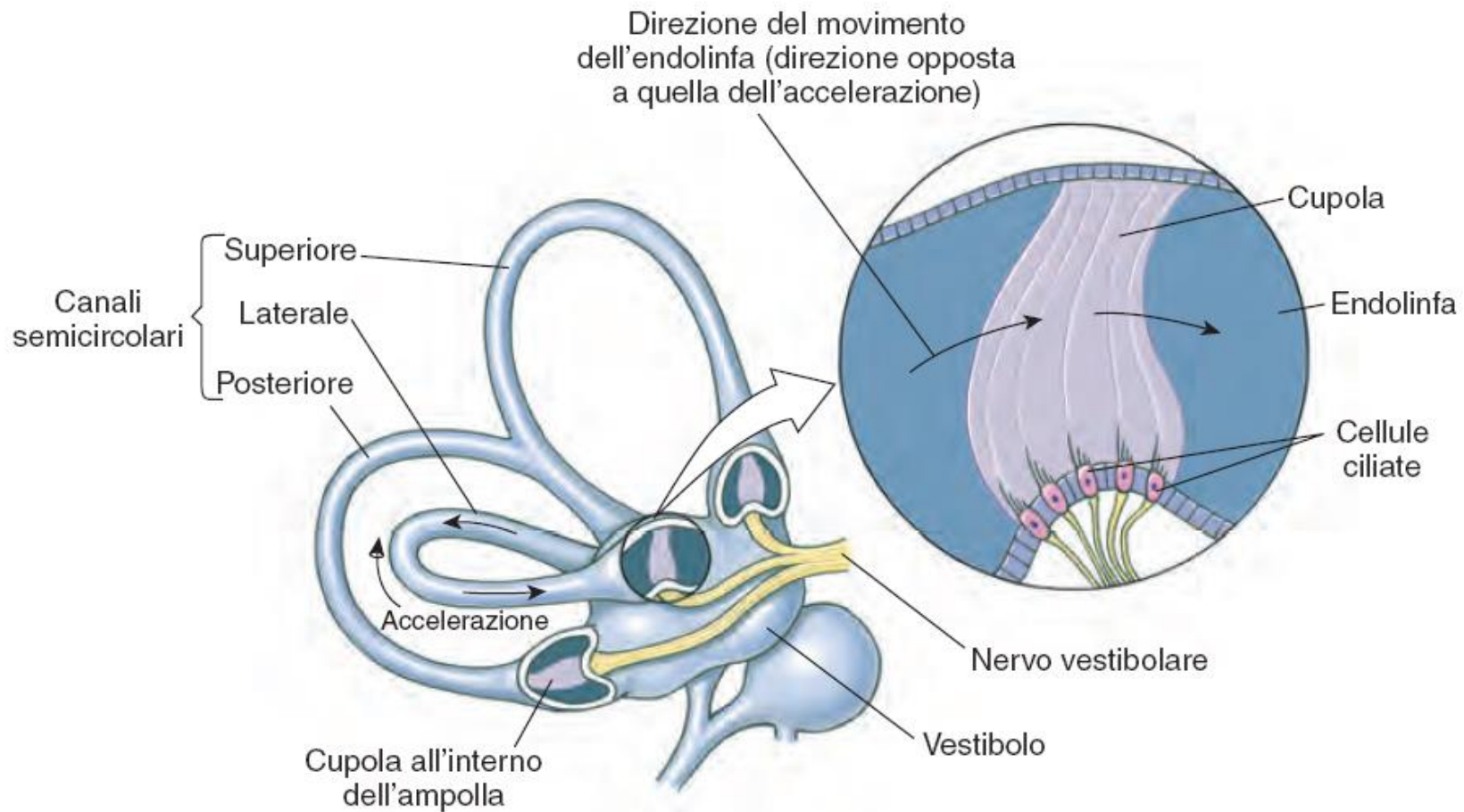


Figura 8.29 Come i canali semicircolari rispondono all'accelerazione angolare. A causa dell'inerzia, l'endolinfa all'interno del canale semicircolare che corrisponde al piano del moto muove la cupola in direzione opposta a quella dell'accelerazione angolare. Il movimento della cupola stimola le cellule ciliate.

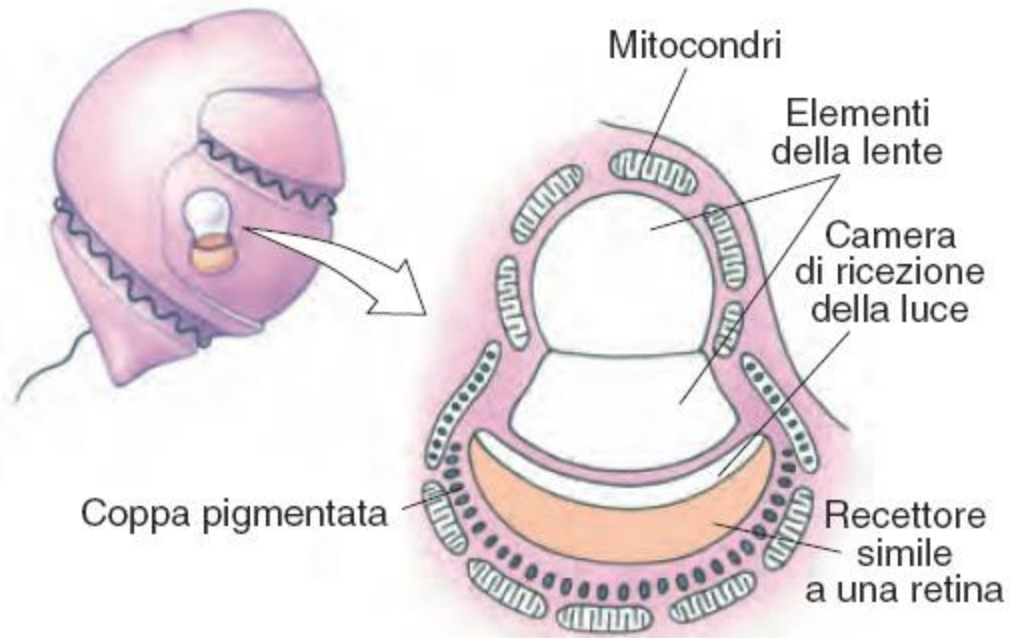
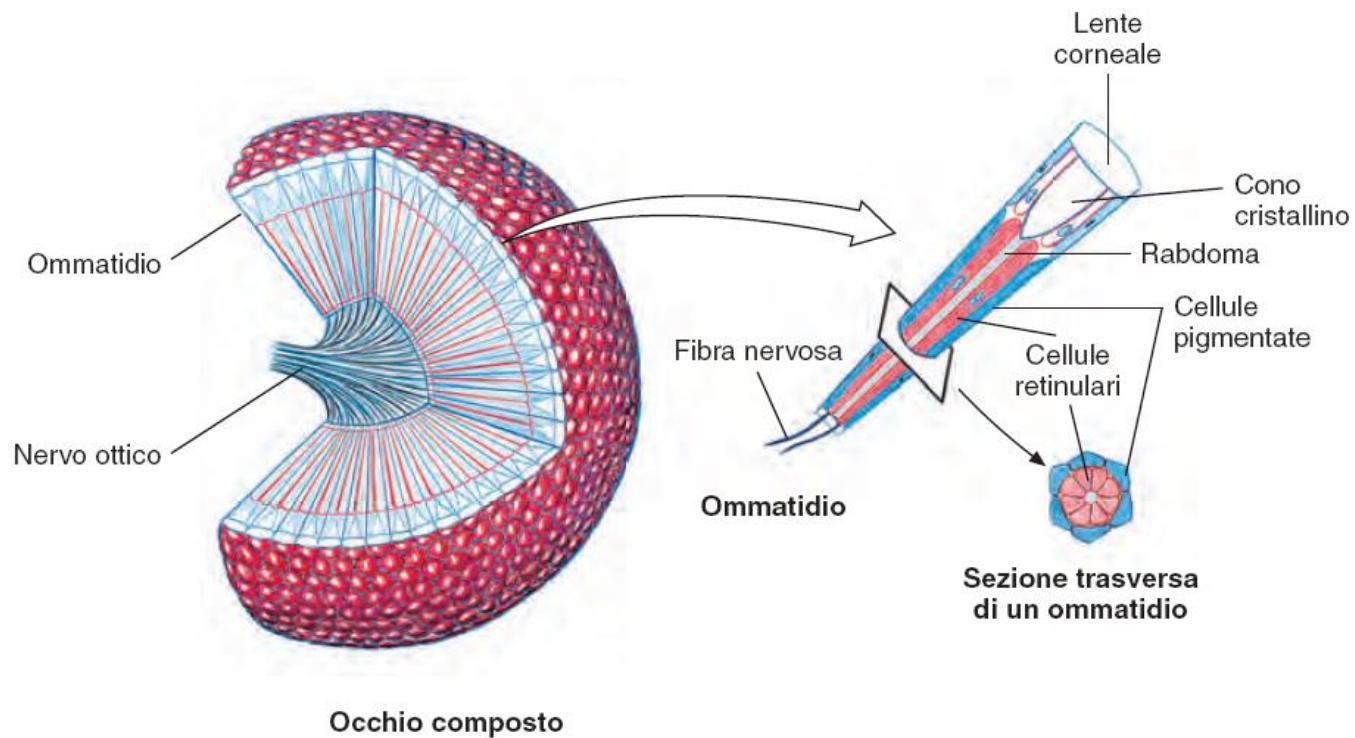


Figura 8.30 Macchia oculare del dinoflagellato *Nematodinium*.



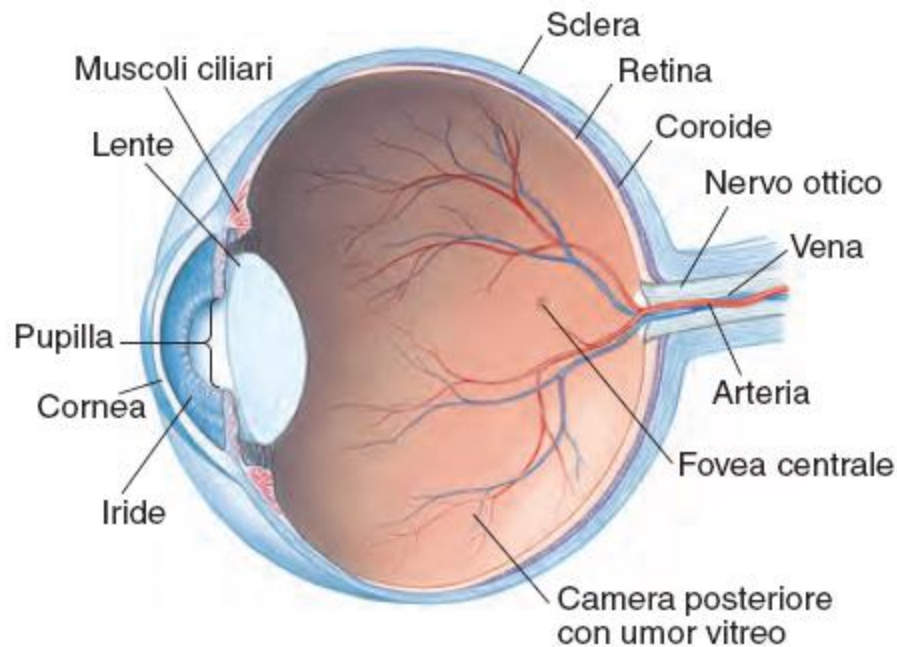


Figura 8.32 Struttura dell'occhio umano.

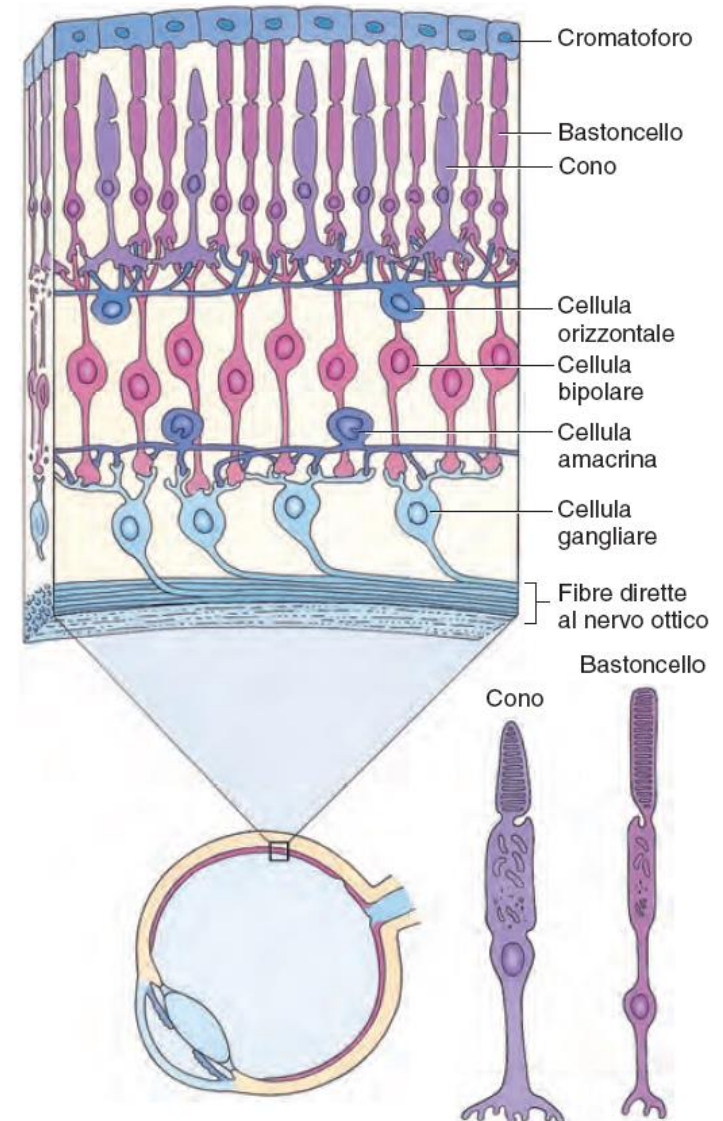
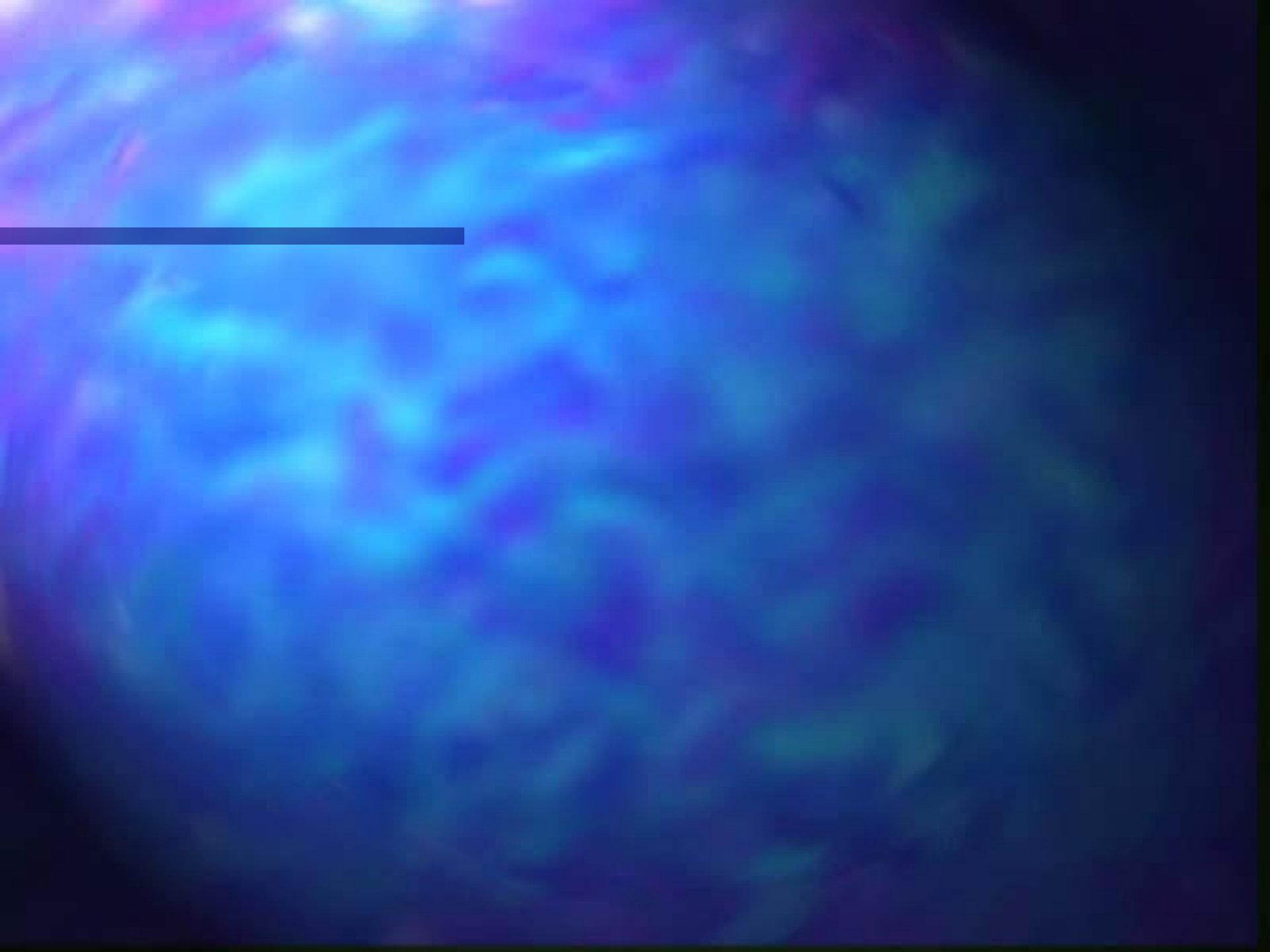
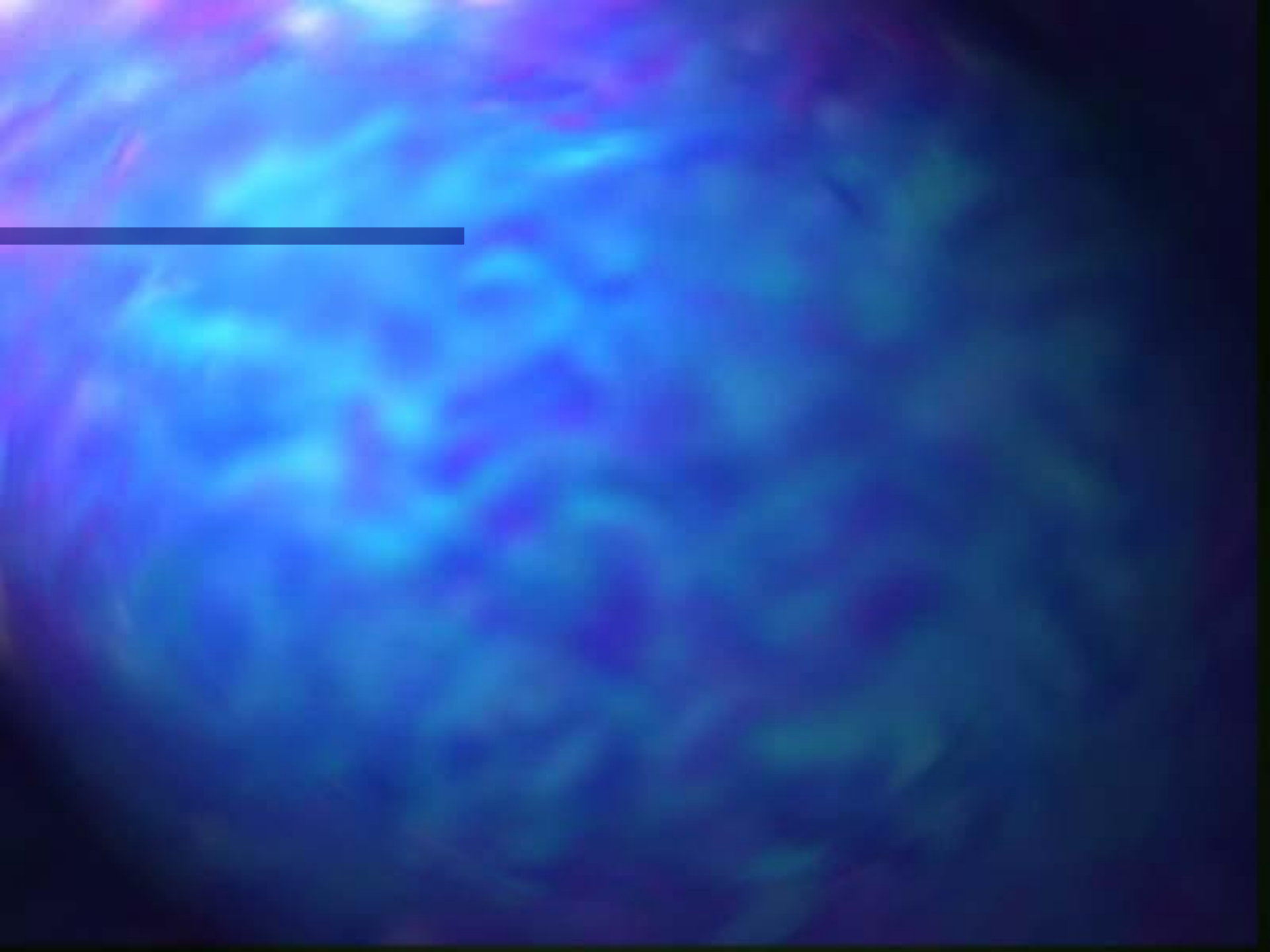
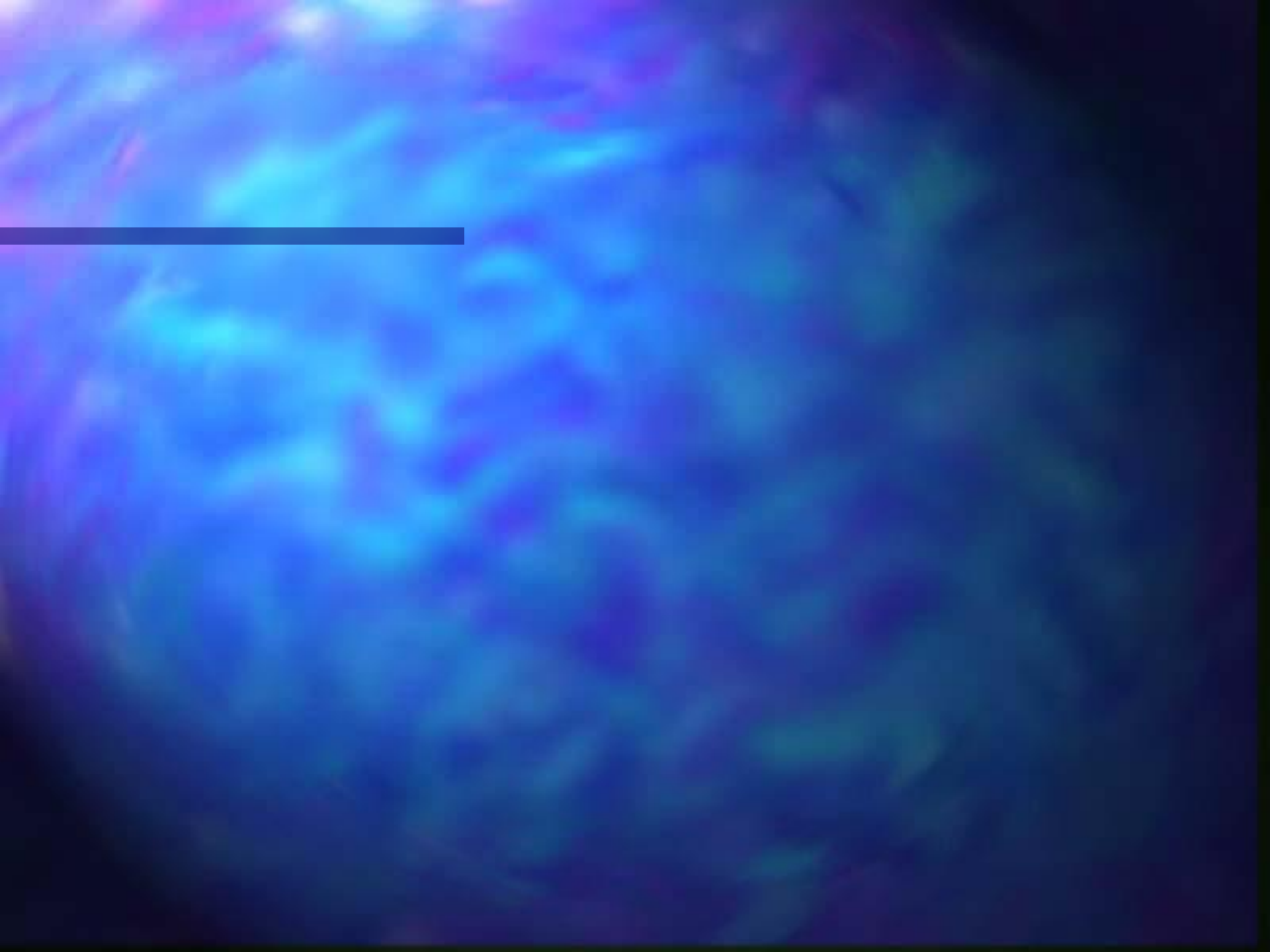
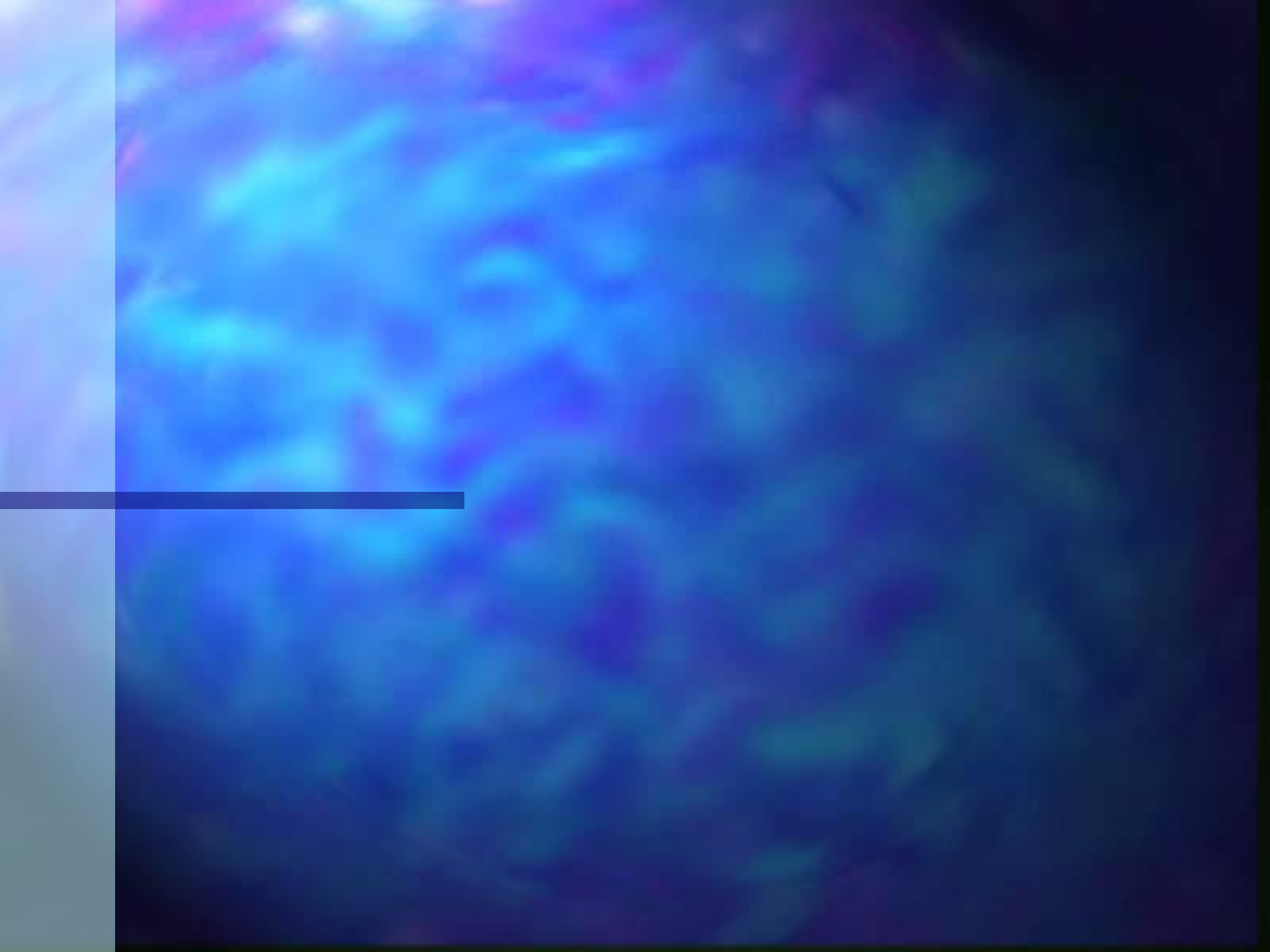


Figura 8.33 Struttura della retina di un primate, che mostra l'organizzazione dei neuroni intermedi che connettono le cellule fotorecetttrici alle cellule gangliari del nervo ottico.





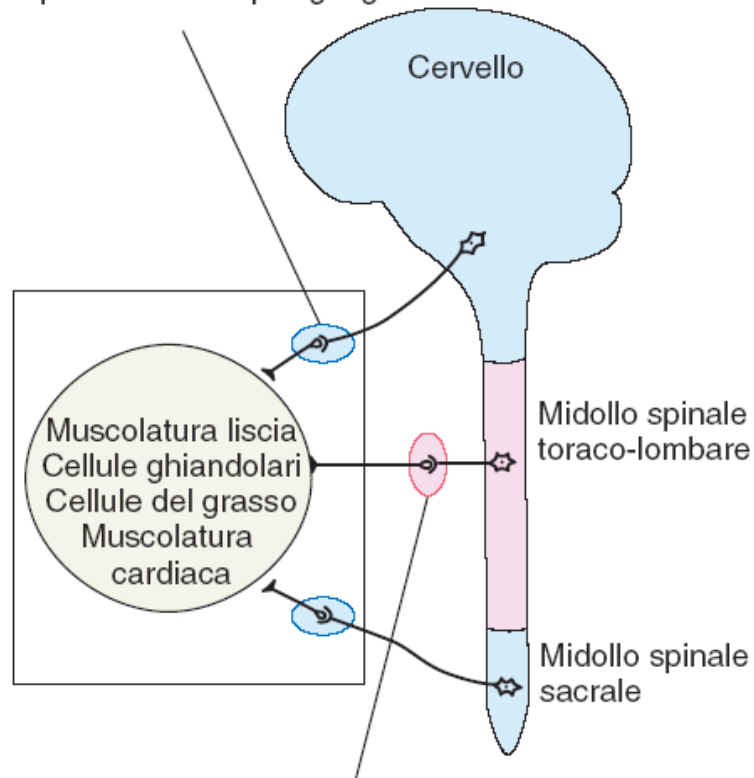




GANGLIO PARASIMPATICO

(vicino agli organi effettori)

L'acetilcolina è il neurotrasmettitore rilasciato sia dai terminali delle fibre preganglionari sia da quelli delle fibre postganglionari

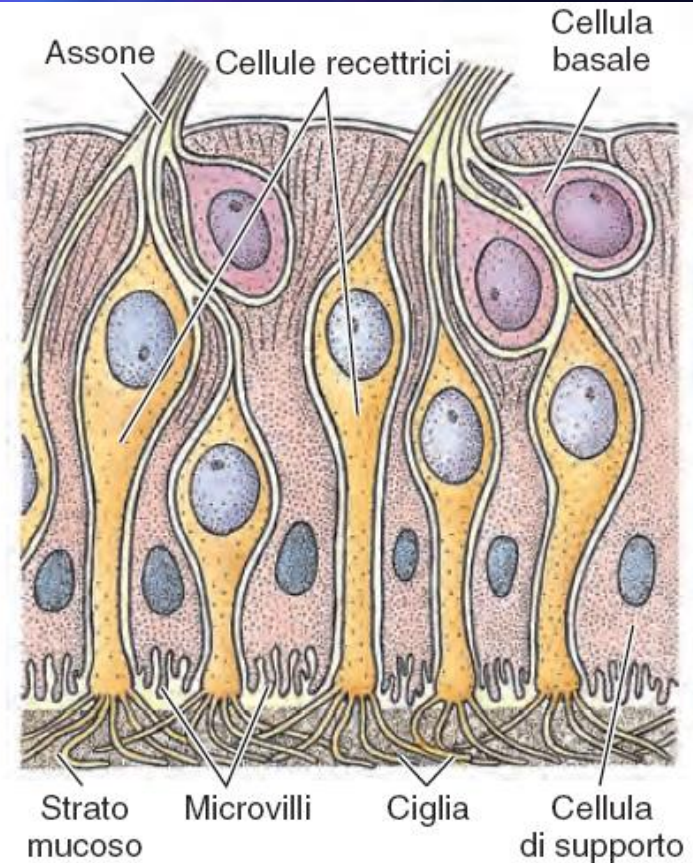


GANGLIO SIMPATICO

(vicino al midollo spinale)

L'acetilcolina è rilasciata dal terminale della fibra pregangliare; la norepinefrina è rilasciata dal terminale della fibra postgangliare

Figura 8.16 Organizzazione del sistema nervoso autonomo.



B

Figura 8.20 Epitelio olfattivo dell'uomo. **A**, l'epitelio è costituito da un tassello di tessuto posizionato sulla volta della cavità nasale. **B**, esso è composto da cellule di supporto, cellule basali e cellule olfattive recettrici, con ciglia che sporgono dalle loro estremità libere.