



# Organi di senso

Vista, udito ed equilibrio, gusto, olfatto, recettori sensitivi ...

# Indice

---

Introduzione

Recettori sensitivi

Organi di senso specifici:

il gusto, l'olfatto, la vista, l'udito e l'equilibrio

Photo credits

# Introduzione

## Motor areas:

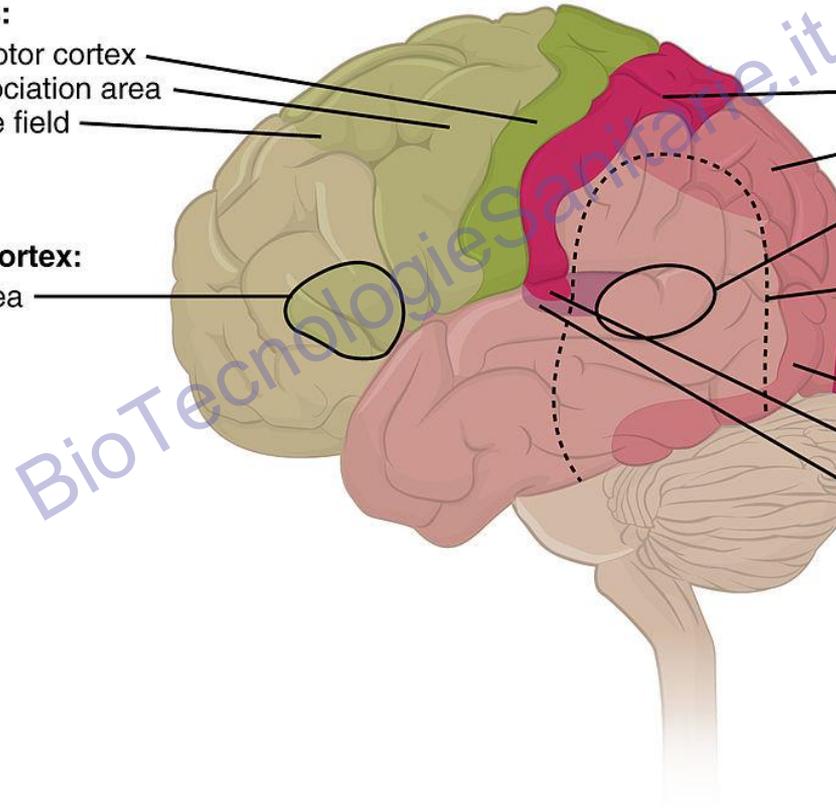
- Primary motor cortex
- Motor association area
- Frontal eye field

## Prefrontal cortex:

- Broca's area

## Sensory areas and related association areas:

- Primary somatosensory cortex
- Sensory association area
- Wernicke's area
- General interpretation area
- Primary visual cortex
- Visual association area
- Primary auditory cortex
- Auditory association area



# Introduzione

Al nostro Sistema Nervoso Centrale arrivano numerosissime sensazioni legate alle variazioni dell'ambiente interno ed esterno.

Oltre a quelle associate ai **cinque sensi specifici** (gusto, olfatto, vista, udito e equilibrio) ci sono da aggiungere quelle della sensibilità generale da suddividere tra **sensi somatici** e **viscerali**

# Recettori sensitivi

## Motor areas:

- Primary motor cortex
- Motor association area
- Frontal eye field

## Prefrontal cortex:

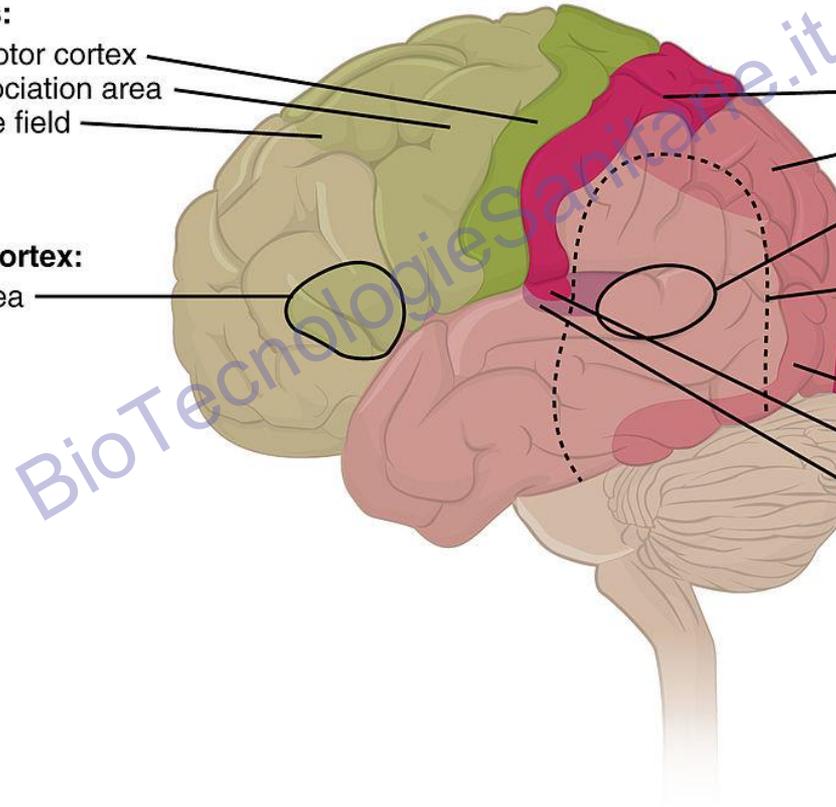
- Broca's area

## Sensory areas and related association areas:

- Primary somatosensory cortex
- Sensory association area
- Wernicke's area

## General interpretation area

- Primary visual cortex
- Visual association area
- Primary auditory cortex
- Auditory association area



# Recettori sensitivi

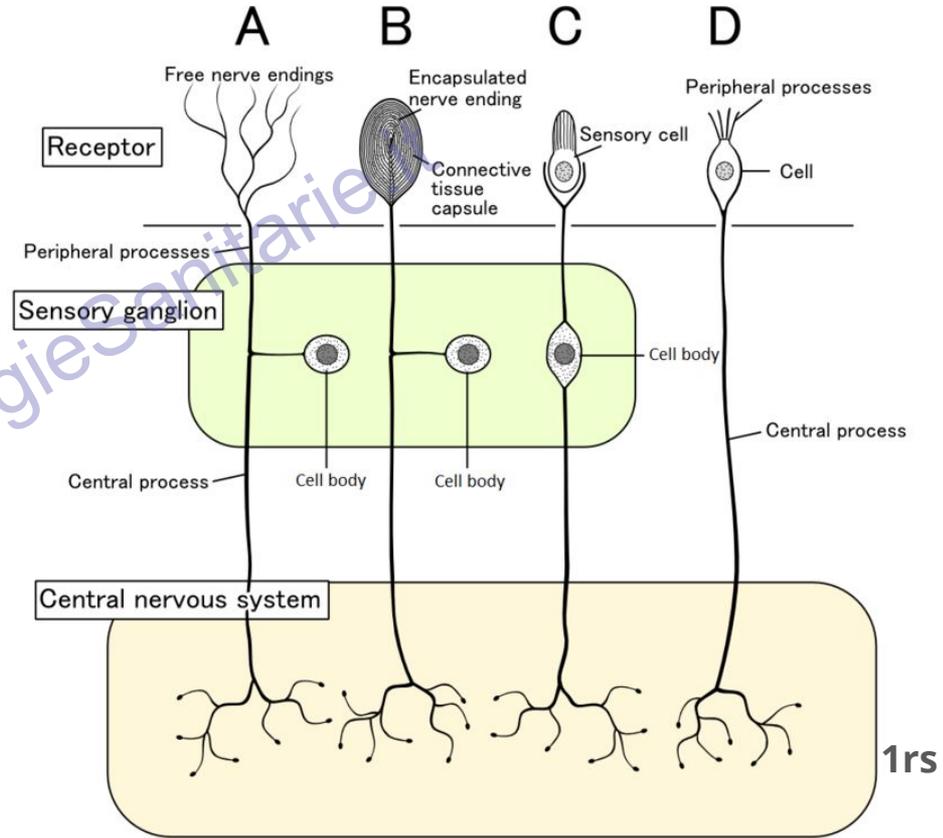
I **recettori sensitivi** possono essere raggruppati a seconda della struttura o della funzione.

**Strutturalmente** possono essere:

- ❖ semplici terminazioni nervose libere, cioè dendriti privi di qualsiasi specializzazione alle estremità
- ❖ terminazioni nervose incapsulate, i dendriti sono incapsulati in una struttura di tessuto connettivo
- ❖ cellule separate specializzate (neuroni come quelli associati all'organo del Corti)

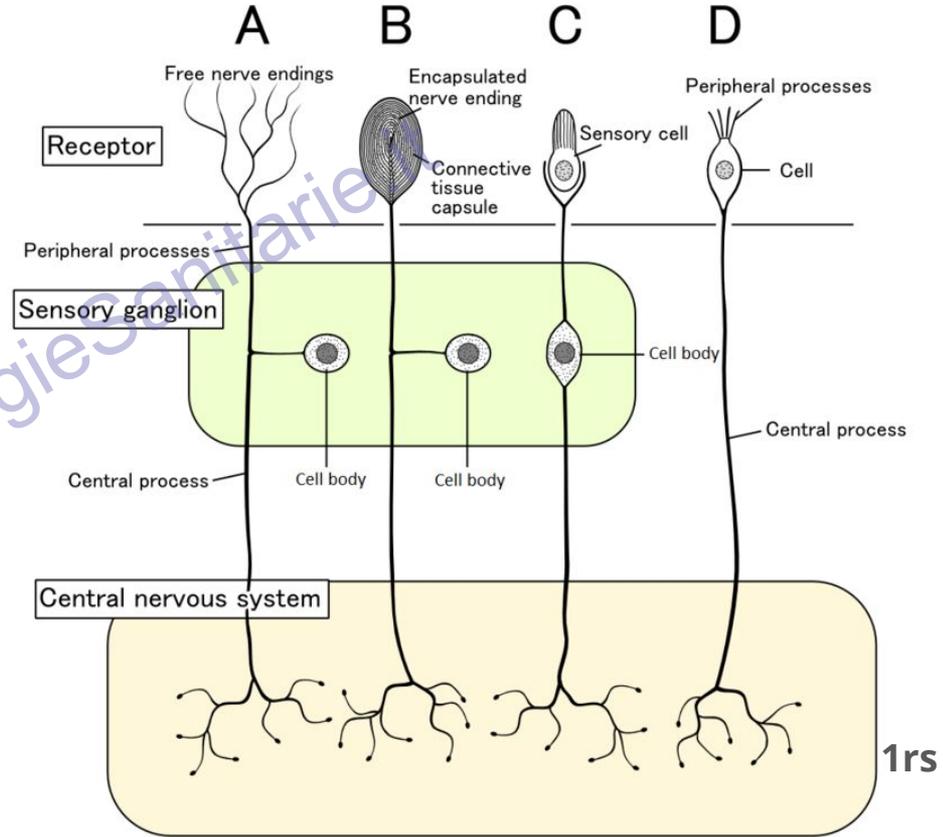
# Recettori sensitivi

Nell'immagine sono facilmente distinguibili le terminazioni nervose libere e quelle incapsulate. Inoltre sono rappresentate anche le cellule sensoriali, collegate a neuroni che trasferiscono lo stimolo. In tutti e tre i casi il corpo cellulare di questi neuroni è alloggiato nei gangli dorsali che affiancano lateralmente il midollo spinale.



# Recettori sensitivi

I neuroni sensoriali sono diversi perché rispondono a stimoli diversi che, come abbiamo già visto, possono arrivare dall'esterno o dall'interno del nostro corpo. Trasportano poi lo stimolo, dopo opportuna trasduzione, attraverso nervi sensoriali afferenti al sistema nervoso centrale (midollo ed encefalo)



# Recettori sensitivi

**Funzionalmente** invece abbiamo questi tipi di recettori sensitivi:

- ❖ termocettori, sensibili, alle variazioni di temperatura
- ❖ meccanocettori, sensibili alla deformazione e all'allungamento delle cellule (tatto, pressione, vibrazione, propiocezione, udito, equilibrio, dilatazione dei capillari sanguigni ...)
- ❖ nocicettori, associati a danni fisici e chimici ai tessuti che trasmettono segnali di dolore
- ❖ fotocettori, sensibili alla luce
- ❖ chemocettori, sensibili alle sostanze chimiche presenti nella bocca, nel naso e nei liquidi corporei
- ❖ osmocettori, sensibili alle variazioni di pressione osmotica nei nostri liquidi corporei

# Recettori sensitivi

Alcuni di questi recettori li osserveremo nei dettagli quando ci occuperemo di specifici organi di senso.

Per il momento analizziamo quelli presenti nella cute e che rilevano differenze di temperatura, sia il caldo che il freddo.

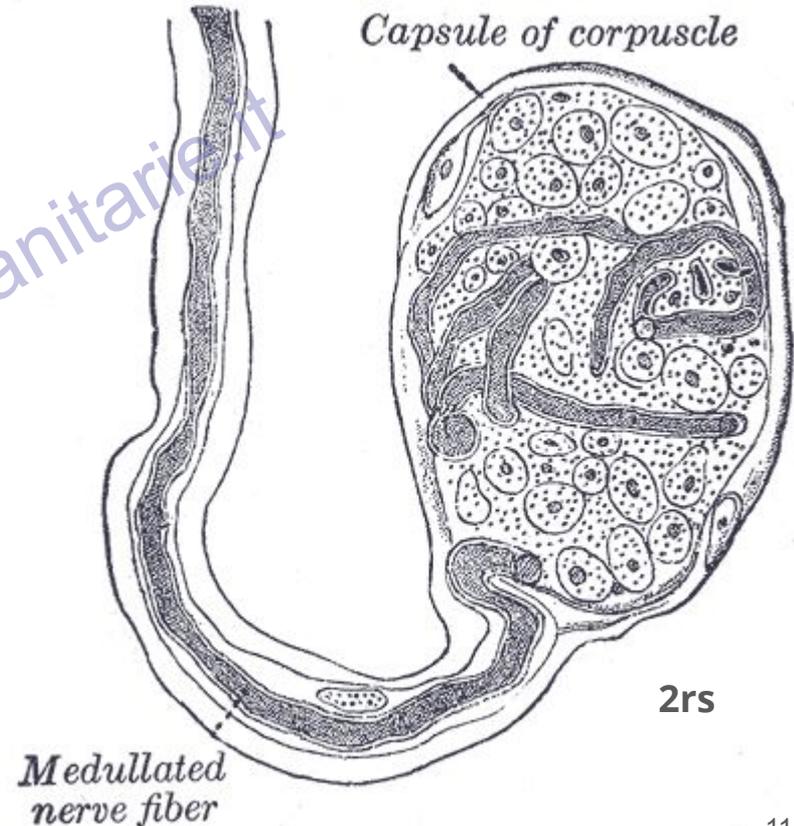
Poi i meccanorecettori che rispondono a forze di natura meccanica come pressione e distorsione e che sono inseriti anche nell'organo dell'udito.

Infine i nocicettori, distribuiti dalla cute all'interno dell'organismo, e gli osmocettori.

Da segnalare che è indifferente usare i termini meccanocettori o meccanorecettori e questo vale per tutti i recettori in elenco.

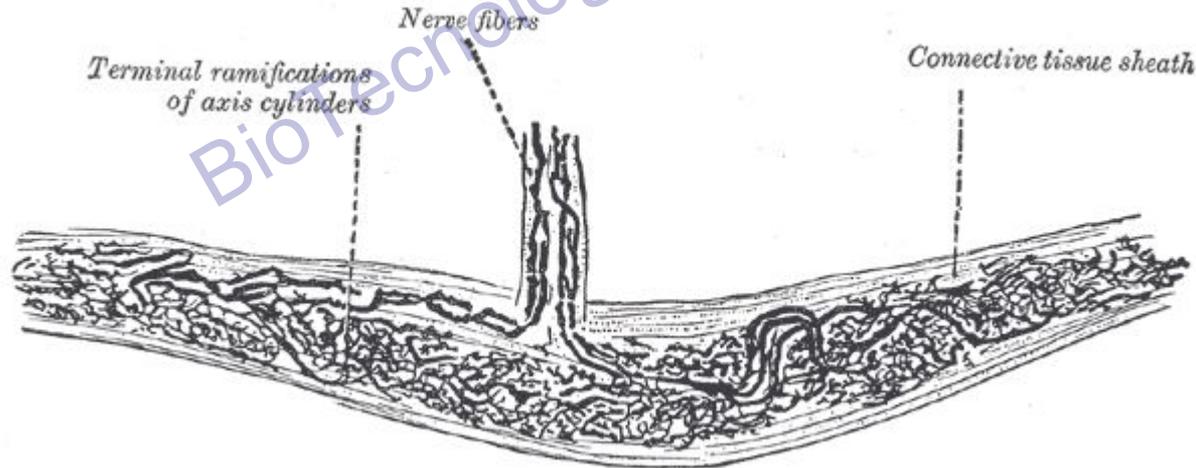
# Recettori sensitivi: termocettori

I **termorecettori** sono recettori cutanei, sensibili alle variazioni di temperatura e quindi sono inseriti nel processo di termoregolazione. Studi recenti hanno dimostrato che ce ne sono di due tipi: uno per il freddo e uno per il caldo. L'immagine mostra un **corpuscolo di Krause**, sensibile alle basse temperature. È stato trovato nella congiuntiva dell'occhio, nella mucosa delle labbra e della lingua, nel pene e nel clitoride.



## Recettori sensitivi: termocettori

In questo disegno è invece rappresentato il *corpuscolo di Ruffini* specializzato nella sensibilità termica al caldo. È stato scoperto dal medico italiano, docente di istologia, Angelo Ruffini (1864 - 1929). Localizzato nello strato più profondo del tessuto sottocutaneo, lo vedremo impegnato anche in molte altre attività sensoriali. È formato da terminazioni dendritiche altamente specializzate.



3rs

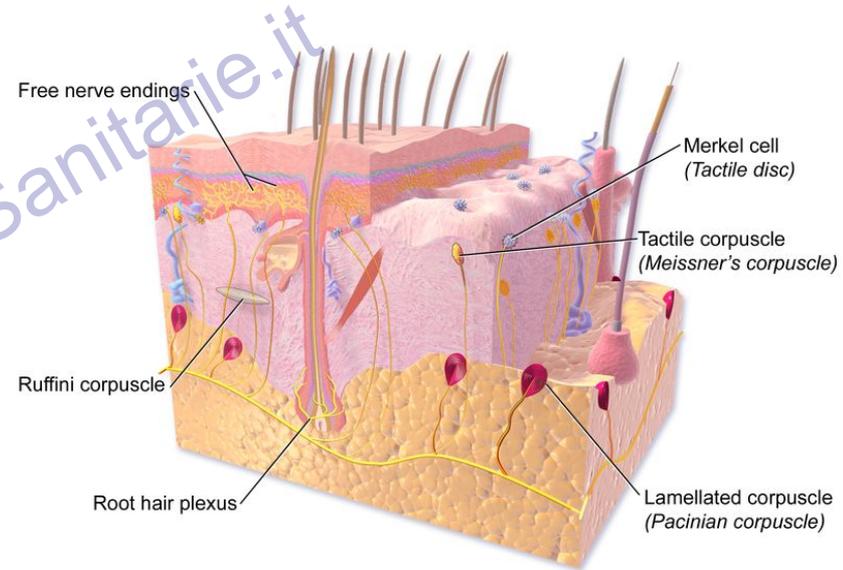
# Recettori sensitivi: meccanorecettori

**Meccanocettori.** Sono sensibili agli stimoli della pressione e della distorsione.

Nella cute ce ne sono di quattro tipi:

- ❑ corpuscoli tattili noti anche come corpuscoli di Meissner
- ❑ corpuscoli di Ruffini, molto diffusi
- ❑ corpuscoli lamellari o di Pacini
- ❑ dischi di Merkel
- ❑ fibre nervose libere

A questi si devono aggiungere anche dei recettori sensibili persino alla posizione del pelo nei follicoli piliferi

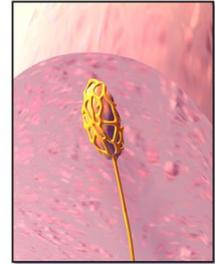
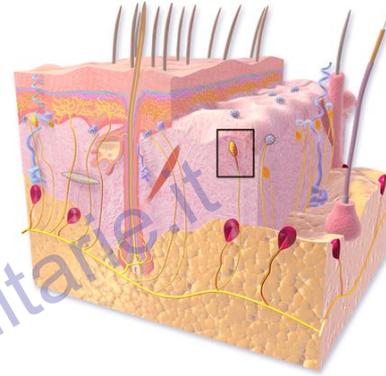


4rs

## Tactile Receptors in the Skin

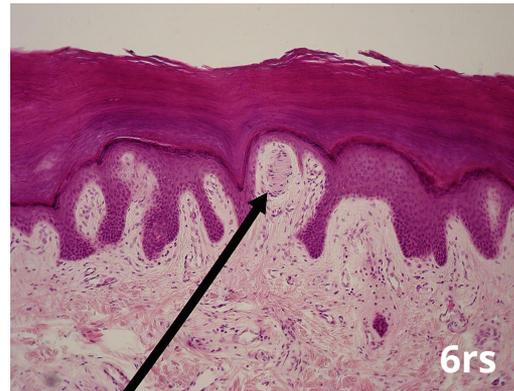
# Recettori sensitivi: meccanorecettori

I corpuscoli tattili noti anche come *corpuscoli di Meissner* si trovano soprattutto nelle piante dei piedi, nei polpastrelli, nei capezzoli e sulle labbra. Sono molto sensibili al tatto. Sono terminazioni nervose incapsulate prive di mielina, di forma ovale avvolte da cellule epiteliali. Sono talmente sensibili da percepire anche le minime irregolarità sulla superficie degli oggetti.



**Tactile Corpuscle**  
(Meissner's Corpuscle)

5rs



6rs

**Sopra:** disegno che illustra forma e posizione dei corpuscoli tattili.

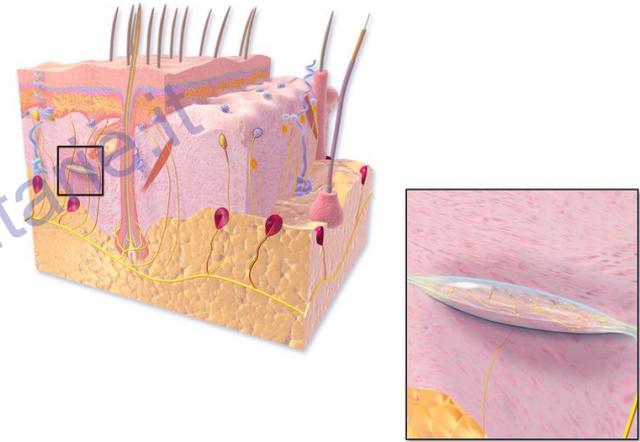
**A sinistra:** preparato istologico che evidenzia un corpuscolo di Meissner

# Recettori sensitivi: meccanorecettori

*Corpuscoli di Ruffini.* Stiramento della cute e piegamento delle unghie sono alcuni degli stimoli registrati da questi corpuscoli.

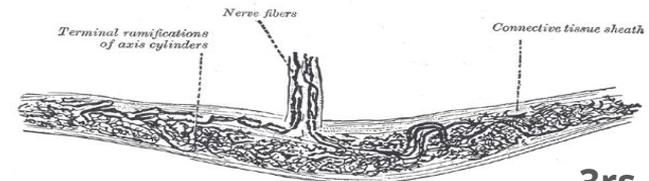
Registrano anche la posizione e il movimento delle dita. Sono particolarmente concentrati a livello delle articolazioni e in prossimità delle unghie.

A quanto pare riescono a percepire lo scivolamento degli oggetti sulla pelle e quindi riescono a far modulare la presa.



**Ruffini Corpuscle**

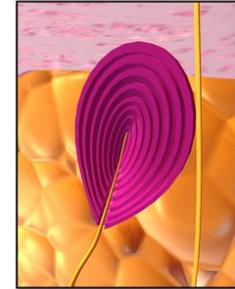
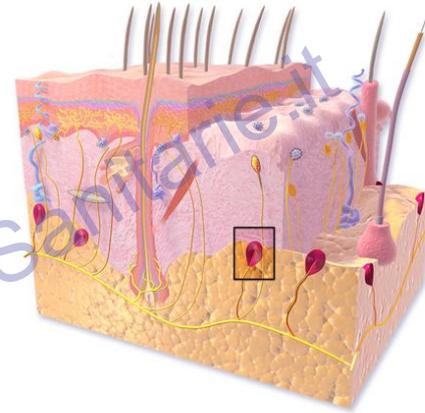
**7rs**



**3rs**

# Recettori sensitivi: meccanorecettori

*Corpuscoli di Pacini*. Devono il loro nome ad un anatomista italiano, Filippo Pacini (1812 - 1883). Sono localizzati nel derma e sono molto sensibili allo stimolo pressorio. Possono rilevare fino a pressioni di un micron. Sono tra i recettori più grandi e hanno una forma ovale. Sono terminazioni nervose ricoperte da strati connettivali concentrici.

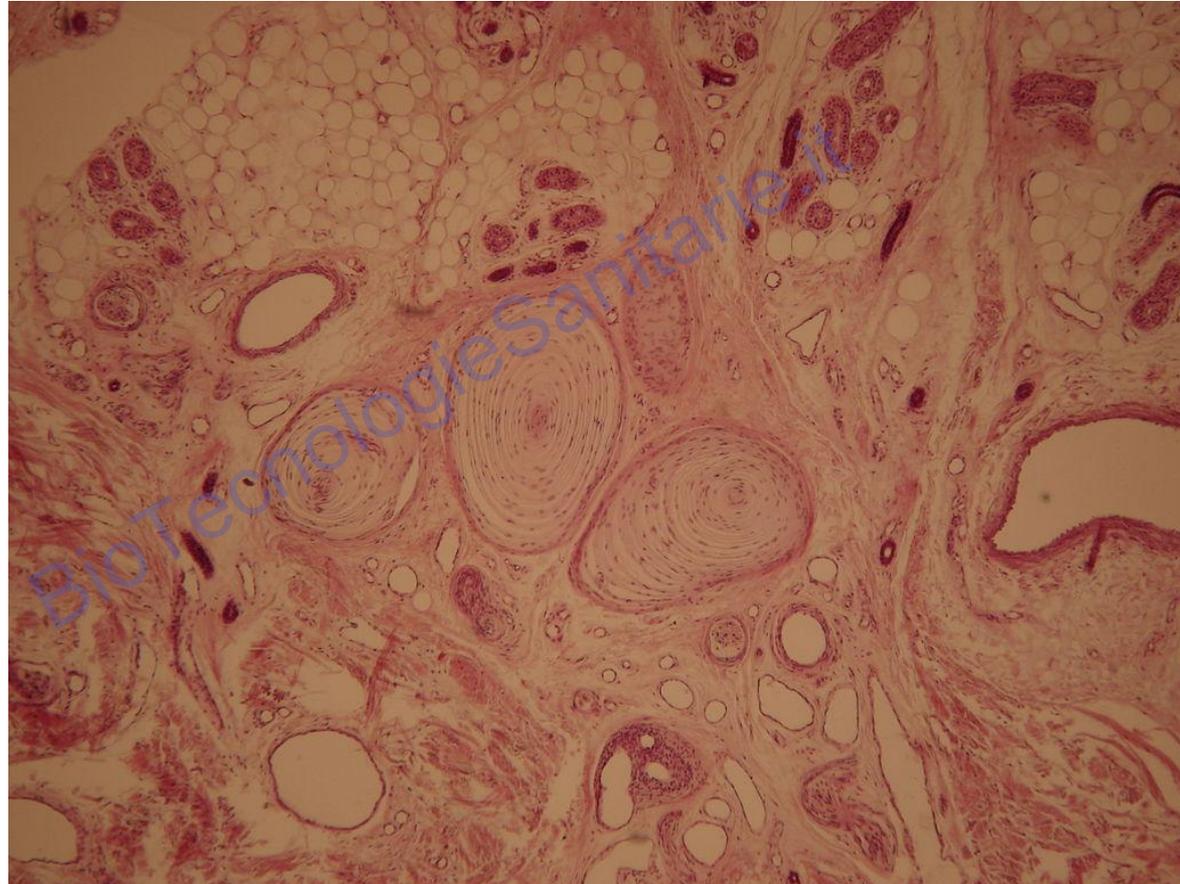


**Lamellated Corpuscle**  
(Pacini Corpuscle)

8rs

# Recettori sensitivi: meccanorecettori

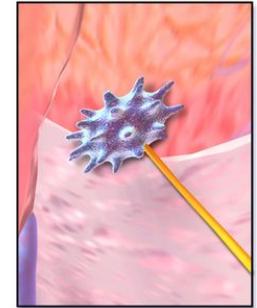
Preparato istologico di cute con al centro 3 corpuscoli di Pacini.



9rs

## Recettori sensitivi: meccanorecettori

I *dischi di Merkel* si trovano nella sottomucosa della bocca e della lingua e anche nei follicoli piliferi. Sono formati dalle estremità di fibre nervose afferenti mielinizzate circondate da cellule globose epiteliali. Sono responsabili della sensibilità tattile statica fornendo informazioni per esempio su forma e contorni di ciò che si tocca.



**Merkel Cell**  
(Tactile Disc)

10rs

## Recettori sensitivi: propriocettori

I **propriocettori** sono un particolare tipo di meccanoceettori. Percepiscono e riconoscono la posizione del proprio corpo nello spazio e lo stato di contrazione dei muscoli anche senza far uso della vista. Anche a occhi chiusi sappiamo in quale posizione siamo. Si tratta di terminazioni nervose che inviano i propri impulsi attraverso il midollo spinale alle aree cerebrali deputate all'elaborazione di tali segnali. Questa capacità prende il nome di propriocezione o cinestesia ed è particolarmente importante anche nel controllo del movimento come è facilmente intuibile.

# Recettori sensitivi: propriocettori

Alcuni di questi propriocettori già li conosciamo come i corpuscoli di Pacini e di Ruffini.

Altri li vedremo nell'orecchio, nella parte del labirinto.

Qui ci occupiamo del:

- [fuso neuromuscolare](#)
- [sensore della capsula articolare](#)
- [organo tendineo del Golgi](#)

## Recettori sensitivi: propriocettori

Il *fuso neuromuscolare* si trova nei muscoli striati ed è strettamente connesso con le fibre muscolari del muscolo stesso.

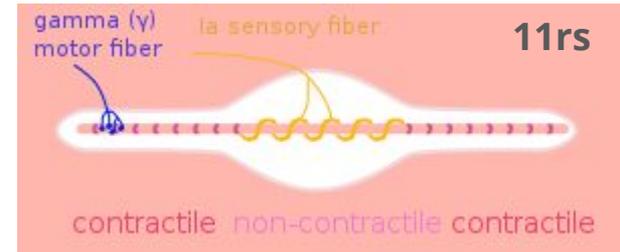
Ha il compito prioritario di determinare le variazioni in lunghezza (contrazioni e allungamento) del muscolo e di trasmetterle al Sistema Nervoso Centrale. L'informazione viene elaborata dal cervello che in questo modo ha l'aggiornamento costante della posizione delle varie parti del corpo. Anche ad occhi chiusi sappiamo esattamente in che posizione siamo.

Ma le risposte del fuso neuromuscolare alle variazioni di lunghezza giocano un ruolo importante nel regolare la contrazione dei muscoli. Infatti attivano i motoneuroni attraverso il riflesso miotatico per resistere all'allungamento muscolare. Per capire meglio il tutto è bene vedere la struttura del fuso nei particolari.

## Recettori sensitivi: propriocettori

Ogni fuso ha una parte centrale non contrattile intorno a cui si avvolgono le fibre nervose sensoriali afferenti (fibre 1A) e le estremità, contrattili, che sono innervate dalle fibre nervose motorie efferenti (fibre gamma).

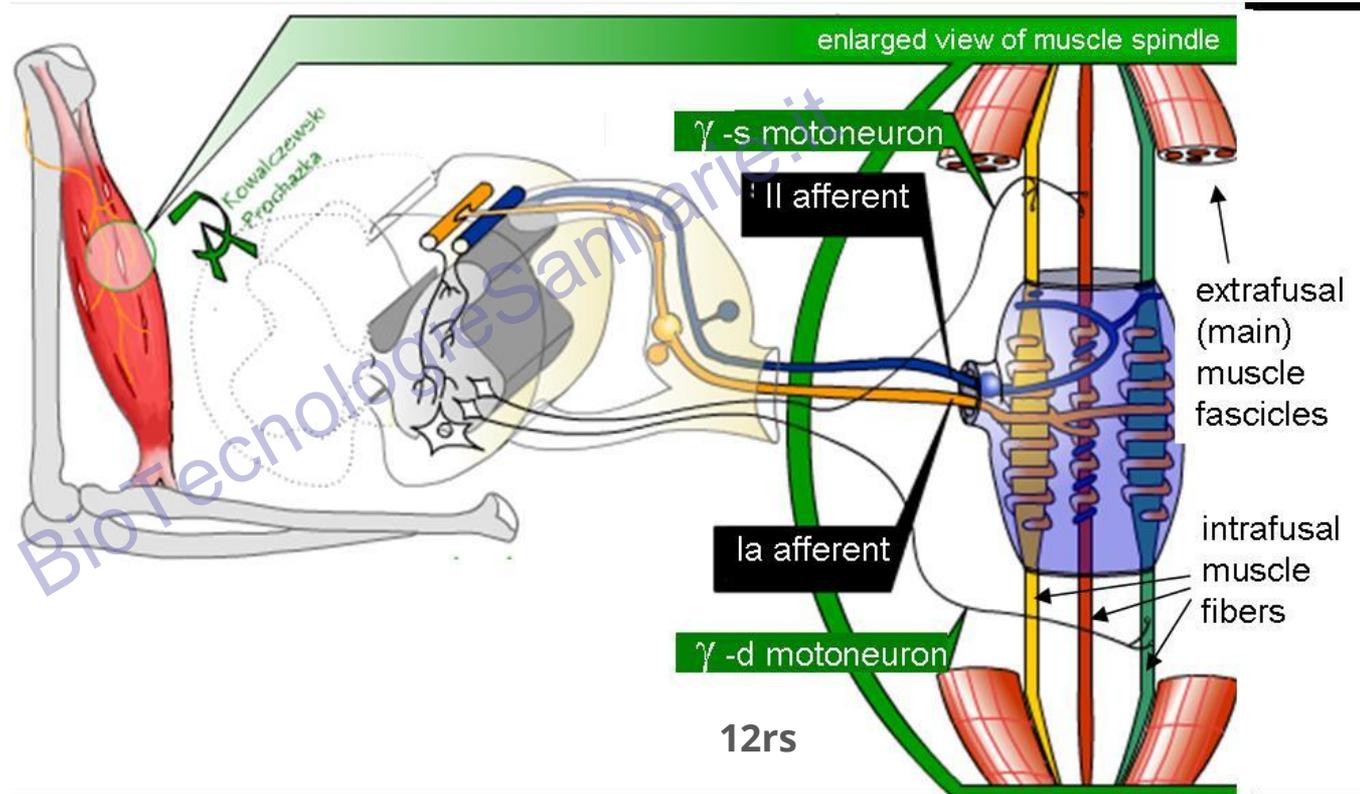
Accanto vedete uno schema semplice.



Invece, il disegno nella diapositiva successiva mostra la posizione del fuso nel muscolo scheletrico, la struttura nei dettagli e il collegamento con il midollo spinale.

# Recettori sensitivi: propriocettori

In realtà le fibre afferenti nel disegno sono più dettagliate rispetto alla spiegazione. Ce ne sono di due tipi (primaria 1A) e secondaria (II)



## Recettori sensitivi: propriocettori

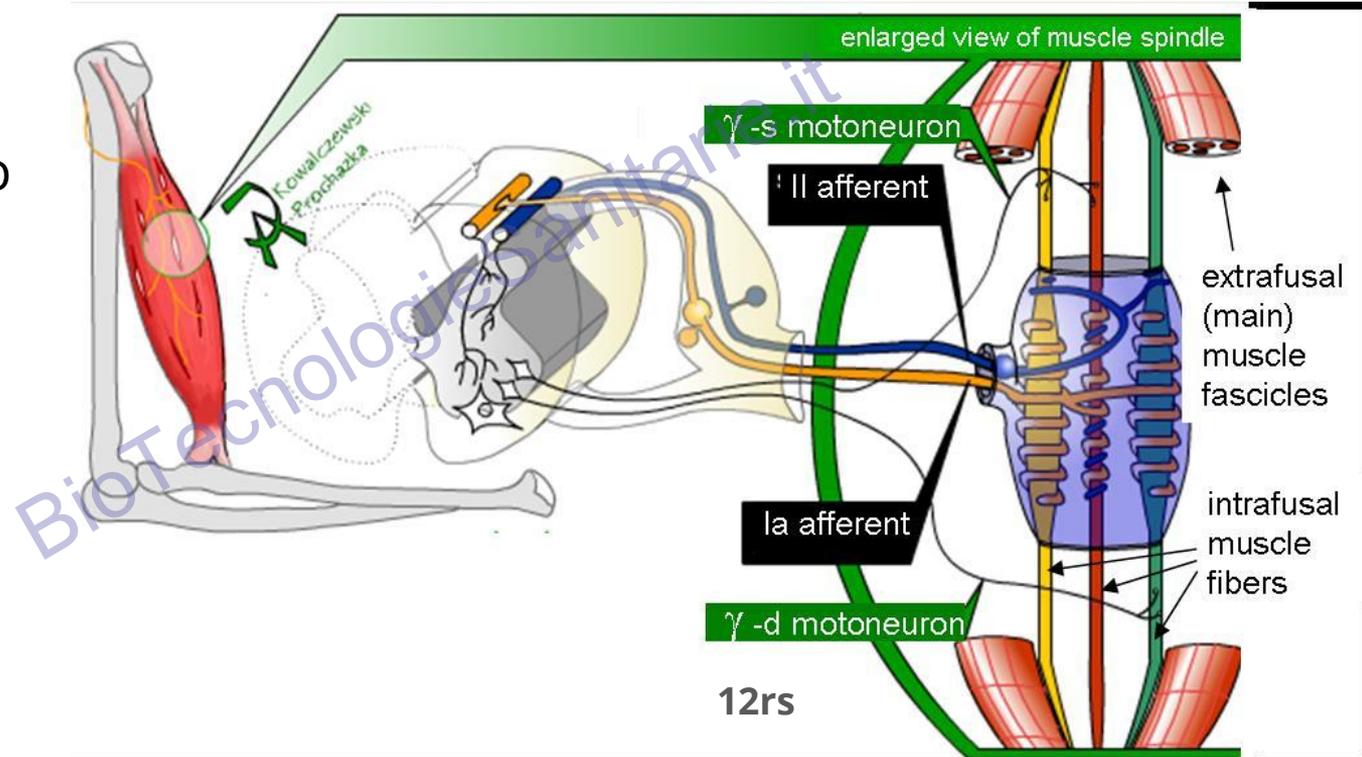
Quindi dall'esame del disegno si ricava che il fuso neuromuscolare consiste in fascicoli di fibre muscolari specializzate, rivestite da una capsula connettivale. Il tutto ha una struttura fusiforme (dai 3 ai 10 mm di lunghezza) e racchiude al suo interno una sostanza gelatinosa che nel caso del disegno è di colore azzurro. Questo liquido è molto simile all'umor vitreo dell'occhio.

Le fibre che li compongono sono diverse da quelle che normalmente costituiscono il muscolo scheletrico, dette **fibre extrafusali**. Infatti sono più sottili e sono chiamate **fibre intrafusali**.

Il fuso è riccamente innervato e ha continui contatti sia con il midollo spinale che con l'encefalo.

# Recettori sensitivi: propriocettori

Analizzando meglio l'immagine si può vedere che le fibre intrafusali sono di due tipi perché alcune appaiono rigonfie nella porzione mediana.



## Recettori sensitivi: propriocettori

In effetti si può parlare di:

- **fibre a catena di nuclei**, sono 8 - 10 per ogni fuso e i nuclei sono disposti uno dietro l'altro in fila indiana nella porzione mediana;
- **fibre a sacco di nuclei**, sono 3 - 5 per ogni fuso e il rigonfiamento mediano è dovuto alla contemporanea presenza di un centinaio di nuclei. Queste ultime possono essere statiche o dinamiche.

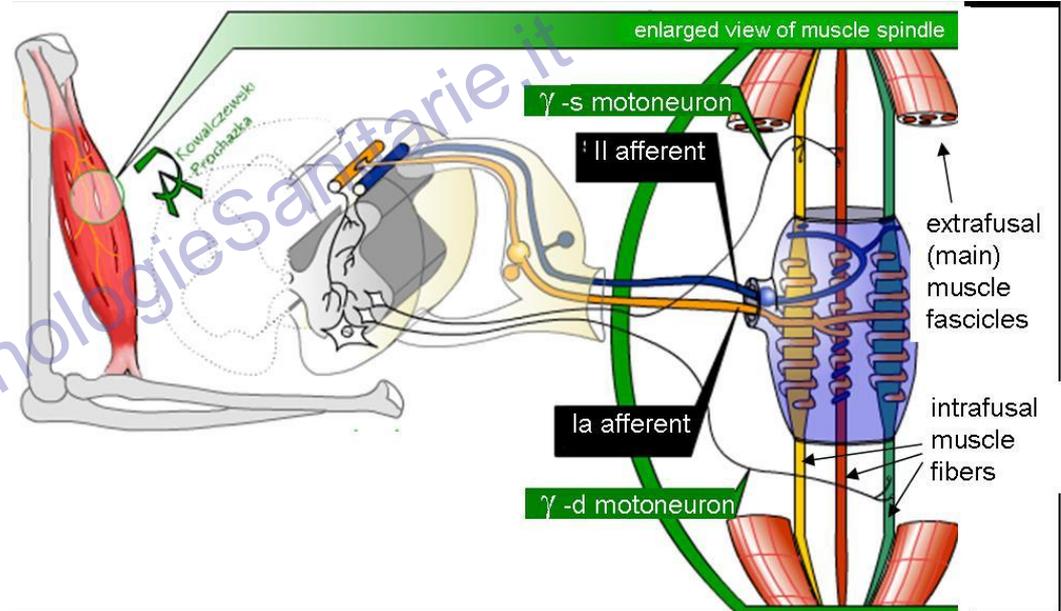
Le fibre a catena di nuclei e le fibre a sacco di nuclei statiche sono innervate da fibre dei motoneuroni gamma di tipo II dalle corna anteriori del midollo spinale nella loro parte distale (processi lenti).

Mentre le fibre a sacco di nuclei dinamiche sono innervate da motoneuroni gamma di tipo I (processi rapidi).

## Recettori sensitivi: propriocettori

Altro elemento rilevante e a questo punto da analizzare meglio sono le terminazioni sensoriali afferenti.

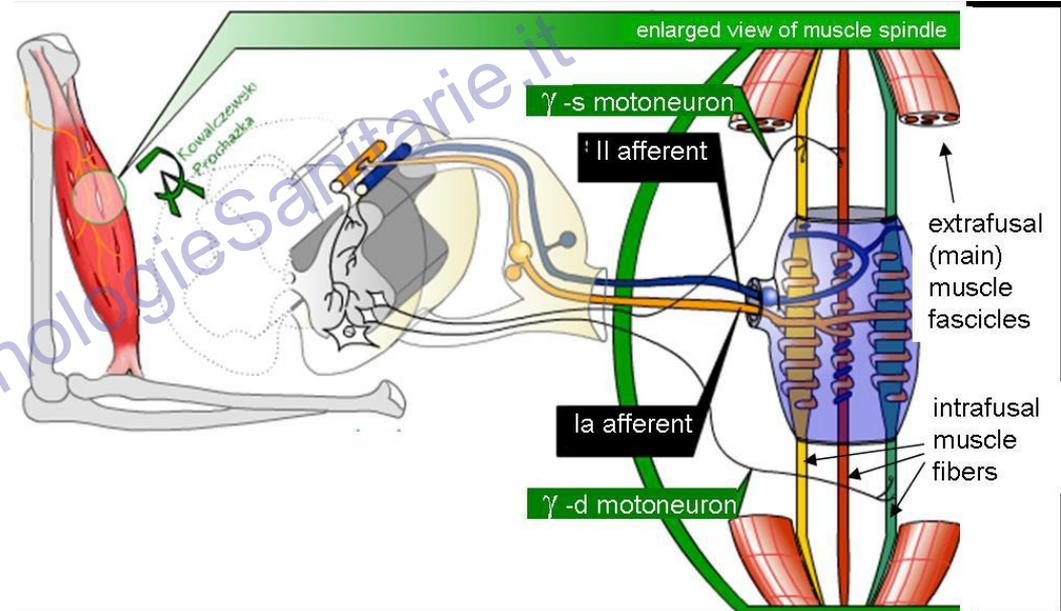
Le anulo-spirali, ben evidenziabili nel disegno per colore (giallo) e forma sono della classe 1A. Hanno alta velocità di conduzione e sono primarie.



12rs

## Recettori sensitivi: propriocettori

Mentre le fibre afferenti a spirale che avvolgono le fibre a catena di nuclei in posizione paracentrale sono a conduzione più lenta e sono secondarie. Infine ai poli la capsula fusale è in continuità con l'endomisio e si trova in parallelo con le fibre extrafusali.

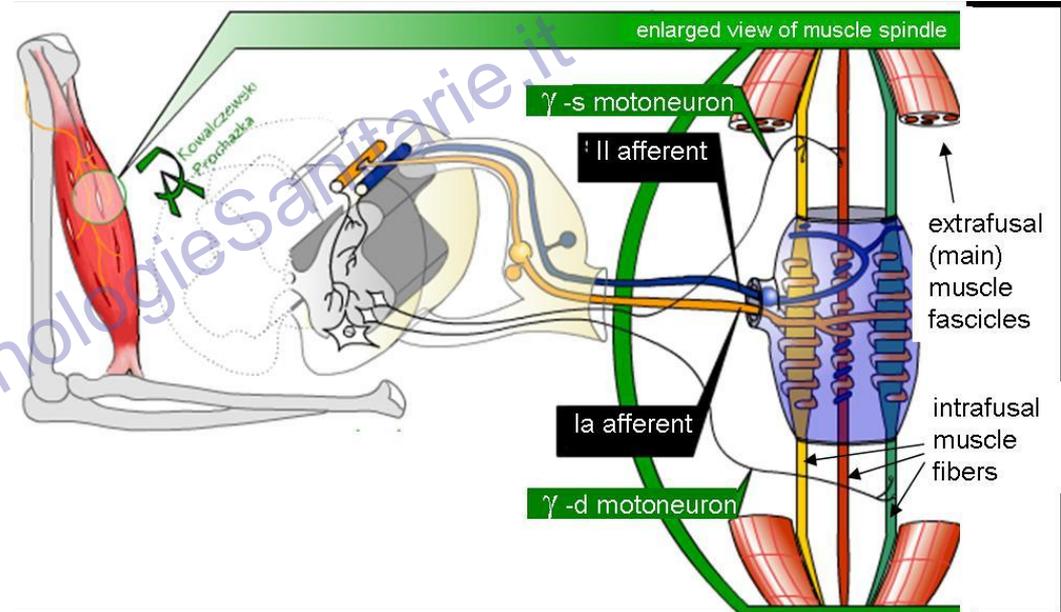


12rs

## Recettori sensitivi: propriocettori

Questo vuol dire che durante i movimenti il fuso segue l'allungamento e l'accorciamento del muscolo.

Vediamo ora di capire meglio il funzionamento del fuso neuromuscolare.



12rs

## Recettori sensitivi: propriocettori

Le terminazioni nervose sensoriali del fuso neuromuscolare sono sensibili allo stiramento. Qualsiasi variazione viene trasmessa al midollo spinale dove i neuroni sinaptano direttamente con i motoneuroni alfa che innervano (placca motrice) lo stesso muscolo di partenza.

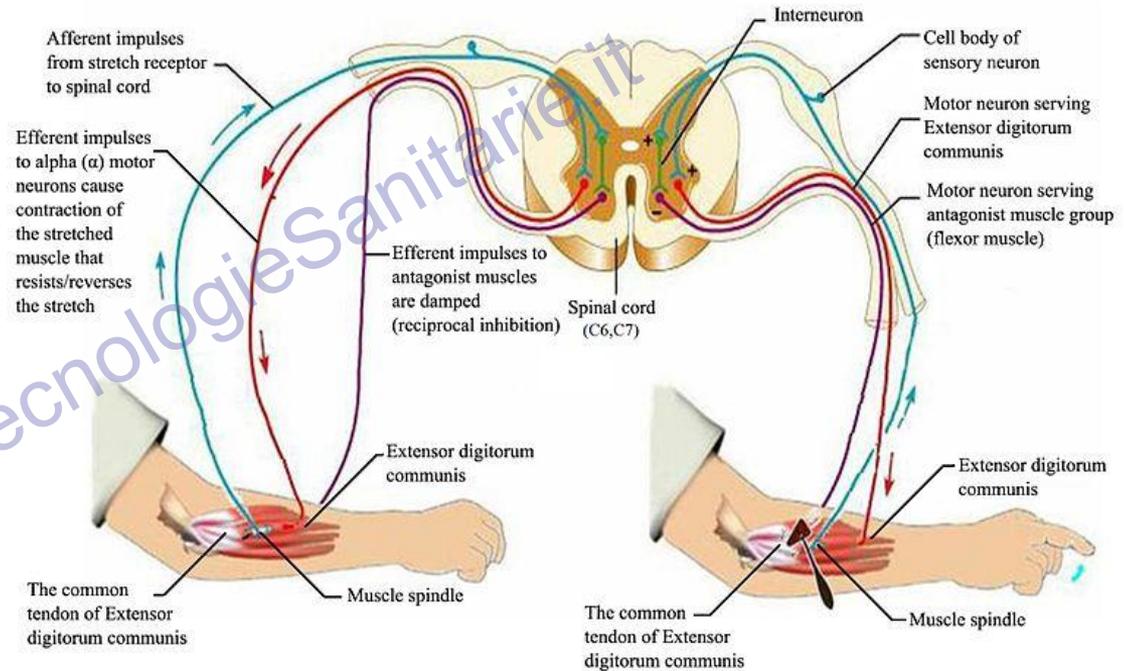
Anche in condizioni di riposo si registra un *tono muscolare*, cioè un certo grado di tensione.

Se si verifica un allungamento viene aumentata la frequenza degli impulsi da parte delle fibre sensoriali. La trasmissione viene rielaborata ancora una volta a livello di midollo spinale e si verificherà una contrazione riflessa del muscolo, sempre ad opera dei motoneuroni alfa. *Contrazione che preserva il muscolo da un eccessivo stiramento.*

Maggiori dettagli nella slide successiva.

## Recettori sensitivi: propriocettori

Il disegno mostra chiaramente quanto spiegato nella slide precedente. Nello stesso tempo deve essere impedita la contrazione dei muscoli antagonisti. Quindi devono essere silenziati i motoneuroni alfa che li innervano (riflesso miotatico).



13rs

## Recettori sensitivi: propriocettori

L'utilità del riflesso miotatico può essere evidenziata durante la **distorsione della caviglia**. In questo caso i muscoli peroneali che circondano l'articolazione subiscono un brusco stiramento. Di riflesso si verifica un'energica contrazione che porta a limitare i danni (stiramento e rottura di legamenti, della capsula, delle cartilagini)



## Recettori sensitivi: propriocettori

Mancano all'appello i motoneuroni gamma. Che ruolo hanno?

Il loro compito è essenziale perché devono far rimanere attivo il fuso neuromuscolare anche quando il muscolo è accorciato.

In altre parole mentre i motoneuroni alfa trasmettono al muscolo l'impulso ad accorciarsi e la tensione della capsula fusale si allenta, i motoneuroni gamma che innervano le fibre intrafusali alle estremità portano ad un allungamento della regione centrale che mantiene stirate le estremità sensoriali.

Si tratta di una vera co-attivazione tra i motoneuroni gamma ed alfa.

## Recettori sensitivi: propriocettori

Bisogna completare il quadro chiarendo il ruolo giocato dalle fibre a sacchetto dinamiche e statiche.

Le prime, ricordo, sono anche innervate da fibre motorie veloci perché mielinizzate. Quindi leggono rapidamente le variazioni in lunghezza del muscolo.

Le *seconde*, invece, con un tipo di innervazione motoria diversa danno informazioni diverse: *entità e durata della variazione di tensione*.

Non sempre sono efficaci i fusi neuromuscolari perché sono sensibili alla temperatura e al grado di affaticamento.

## Recettori sensitivi: propriocettori

Cliccando sul link

[https://sites.ualberta.ca/~aprochaz/research/interactive\\_receptor\\_model.html](https://sites.ualberta.ca/~aprochaz/research/interactive_receptor_model.html)

potete vedere un'animazione prodotta dalla Università di Alberta che spiega molto bene il funzionamento del fuso neuromuscolare.

Di lato invece vedete una fotografia al microscopio della sezione di un fuso.



15rs

## Recettori sensitivi: propriocettori

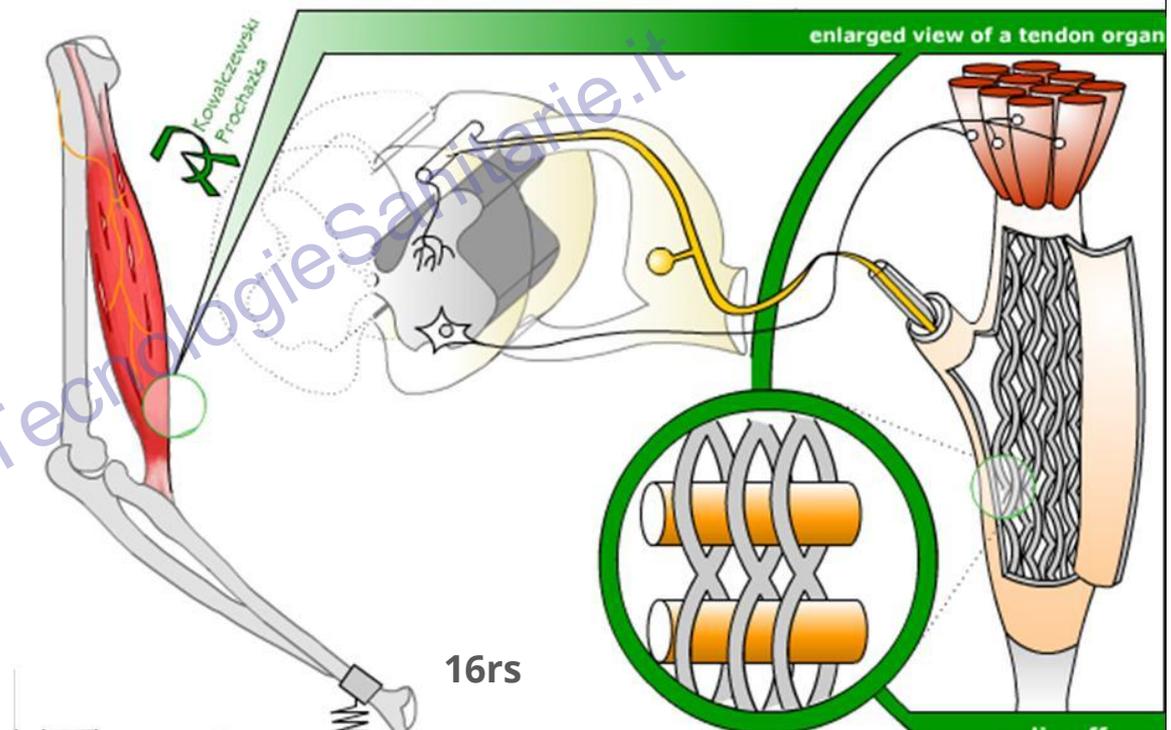
Il *seniore della capsula articolare* consente di percepire la posizione di uno o più segmenti ossei rispetto ad un altro.

Per esempio il sensore della capsula articolare nell'articolazione del gomito fa percepire le posizioni delle ossa dell'avambraccio rispetto all'omero.

L'*organo tendineo del Golgi* è un recettore posto nella giunzione muscolo tendinea. Risulta sensibile alle variazioni di tensione. Sono costituiti da terminazioni nervose libere, intrecciate a fibre di collagene. Il tutto all'interno di una capsula di tessuto connettivo. Quando il muscolo si contrae, il tendine si stira e le fibre di collagene subiscono una trazione che si ripercuote sulle terminazioni nervose che vengono così attivate.

## Recettori sensitivi: propriocettori

L'attivazione dell'organo tendineo del Golgi eccita gli interneuroni inibitori del midollo spinale che inibiscono i motoneuroni alfa che innervano il muscolo. Quindi la contrazione del muscolo cessa.



## Recettori sensitivi: propriocettori

Tradotto in termini pratici ...

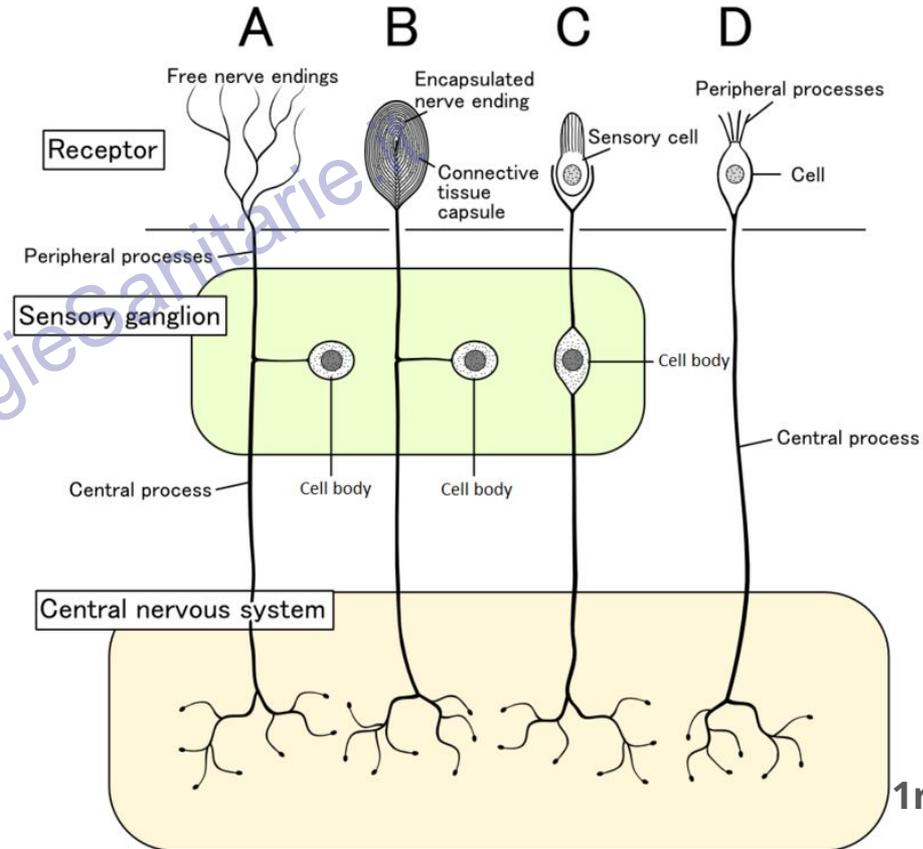
... quando si intende sollevare un peso, i muscoli iniziano a contrarsi ancora prima di effettuare il lavoro vero. È come se si aspettassero una determinata quantità di lavoro.

Se però il lavoro è superiore a quanto ci si aspettava e i tendini potrebbero essere lesionati, ecco che scatta il riflesso e i tendini si rilassano “mollando” il carico.

Ottimo sistema per preservare la loro integrità.

# Recettori sensitivi: nocicettori

I **nocicettori** sono formati da terminazioni nervose libere (tipologia A della figura) e rispondono a stimoli di danni tissutali, veri o potenziali, inviando segnali di dolore al Sistema Nervoso Centrale. Il segnale può essere di natura chimica. Per esempio polvere di peperoncino o acidi negli occhi.



## Recettori sensitivi: nocicettori

Ma ci sono anche segnali di natura meccanica come ferite o schiacciamenti o altri tipi di traumi.

E non dimentichiamo quelli termici: caldo eccessivo (ustioni) o freddo intenso (probabilità di congelamento)

I nocicettori si trovano in abbondanza nella cute e poi in superfici quali il periostio, le articolazioni, gli organi interni ... insomma dappertutto.

I corpi cellulari dei neuroni sensoriali si trovano nei gangli delle radici dorsali, quindi al di fuori del midollo spinale.

Prima di trasmettere il segnale di dolore lo stimolo deve superare una soglia limite.

## Recettori sensitivi: nocicettori

I neuroni sensoriali trasmettono il segnale del dolore a tutte le componenti del sistema nervoso centrale: midollo spinale, tronco dell'encefalo, telencefalo e diencefalo. Queste aree sono in grado di coinvolgere altre componenti come quella motivazionale-affettiva.

La *nocicezione* è il sistema sensoriale legato a tutte queste dinamiche e a queste componenti. È molto importante dal punto di vista biologico perché non si limita alla semplice percezione del dolore ma avvia tutta una serie di reazioni che hanno il compito di ridurre il danno che lo causa.

# Gusto

## Motor areas:

- Primary motor cortex
- Motor association area
- Frontal eye field

## Prefrontal cortex:

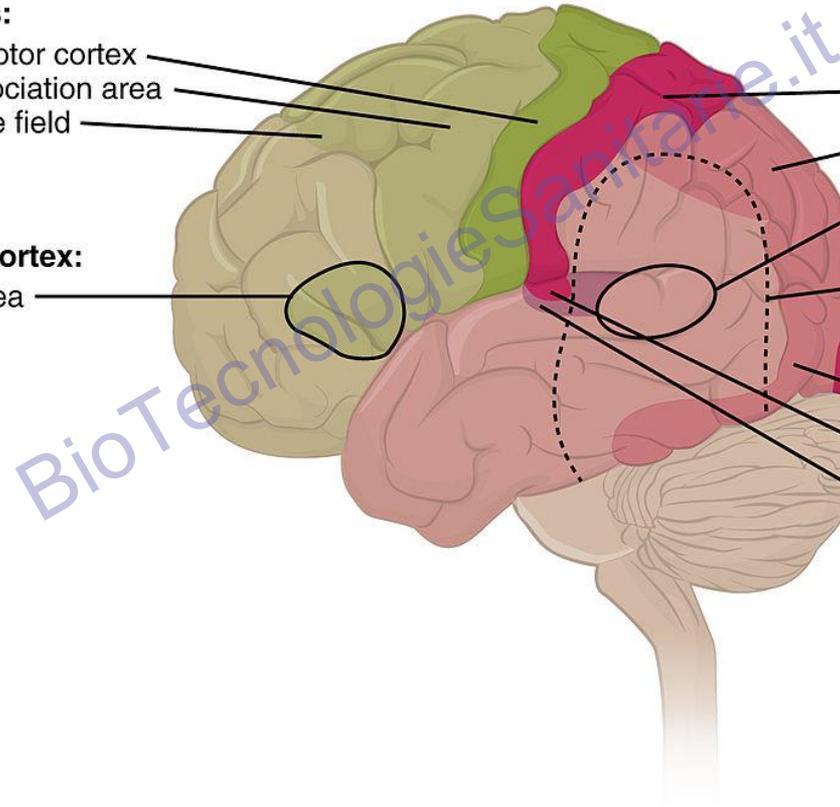
- Broca's area

## Sensory areas and related association areas:

- Primary somatosensory cortex
- Sensory association area
- Wernicke's area

## General interpretation area

- Primary visual cortex
- Visual association area
- Primary auditory cortex
- Auditory association area

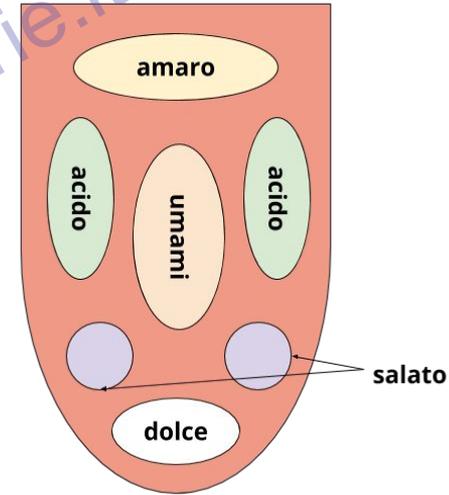


# Gusto

Il **gusto** è uno dei sensi specifici. È associato alla percezione dei sapori. Esistono **5 sapori primari**: dolce, amaro, salato, acido e umami.

Il disegno di lato mostra le aree della lingua in cui sono percepiti. Tutti gli altri sapori sono una combinazione di questi. In altre parole i recettori lavorano in sinergia.

Le aree della lingua in cui vengono percepiti i 5 sapori primari



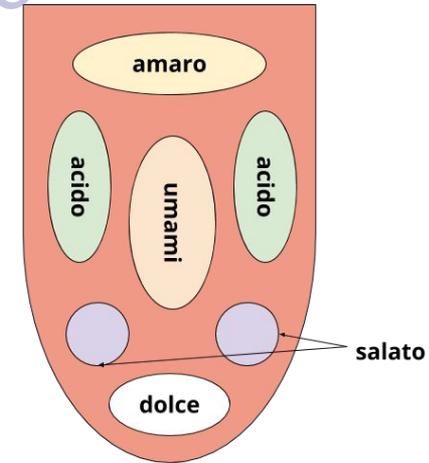
6

# Gusto

Il termine umami deriva dal giapponese e viene associato spesso al sapore di dado.

La sua percezione è legata ai recettori per il glutammato che è largamente presente in molti cibi. Per esempio sotto forma di glutammato monosodico. E, contrariamente a quanto si pensa, il glutammato è ben conosciuto fin dall'antichità in molti cibi fermentati come il garum romano.

Le aree della lingua in cui vengono percepiti i 5 sapori primari



6

# Gusto

I recettori per il gusto però non sono presenti solo sulla lingua. Sono diffusi anche sul palato, sulla faringe e sulla epiglottide.

A questo bisogna aggiungere che gli odori del cibo passano dalla bocca al naso e quindi anche i recettori olfattivi entrano in gioco.

Addirittura sono più sensibili rispetto a quelli del gusto.

Così quando siamo raffreddati non sentiamo il sapore di ciò che mangiamo.

Poi c'è da tenere conto che del cibo percepiamo anche la temperatura, la consistenza ...

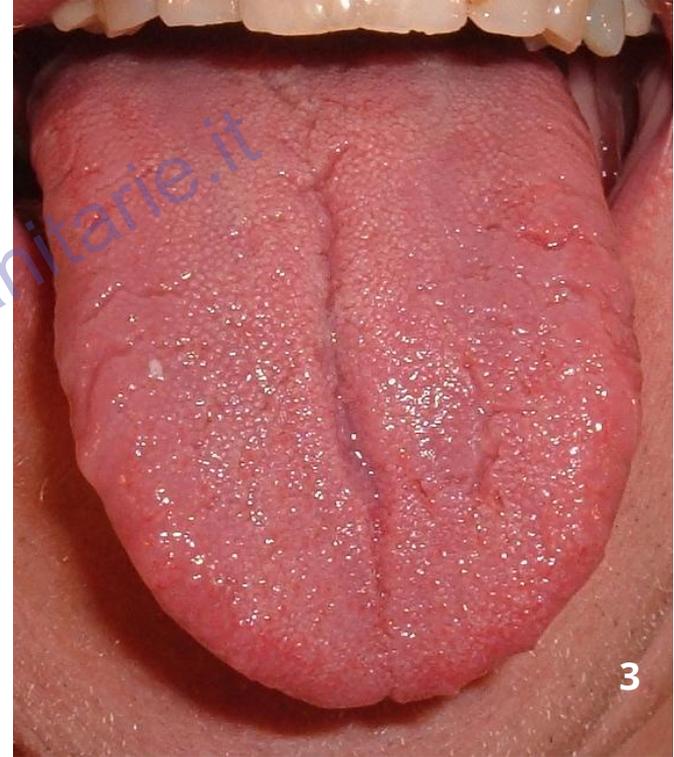
## Gusto: lingua

Vediamo ora di capire meglio quale è la struttura dei recettori per il gusto.

Partiamo dalla **lingua**.

Essa forma la parete anteriore dell'orofaringe ed è un organo muscolare.

La sua superficie dorsale è ricoperta dalla mucosa, l'area coinvolta nel gusto.



## Gusto: lingua

Sulla superficie della lingua sono visibili delle estroflessioni epiteliali dette **papille**.

Se ne riconoscono di diversi tipi.

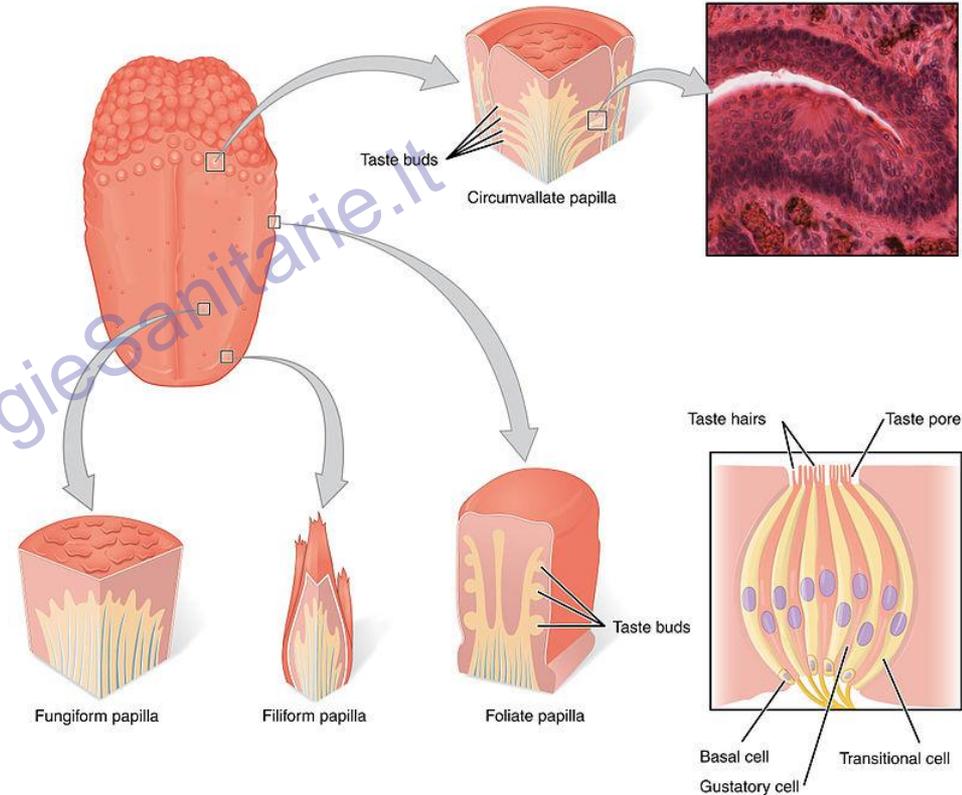
Papille filiformi, foliate, fungiformi e circumvallate.



# Gusto: papille

Le papille circumvallate (12 - 14) sono voluminose, cilindriche ed appiattite. Si trovano tutte nell'area posteriore della lingua dove formano una V rovesciata.

Contengono numerosi recettori.

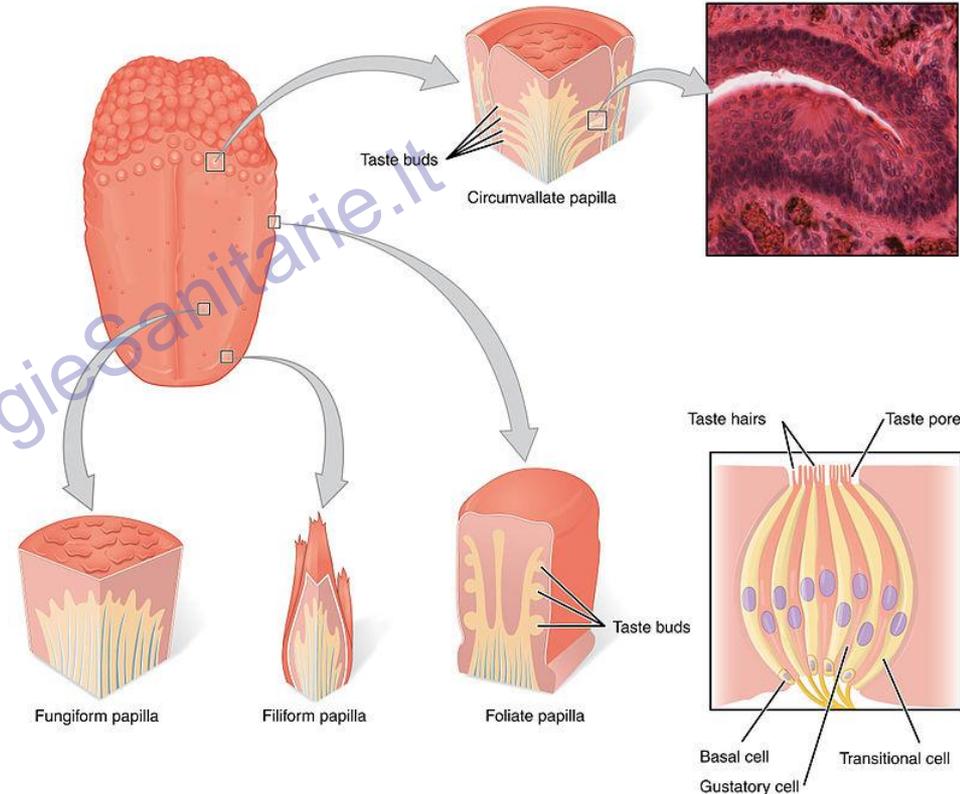


# Gusto: papille

Le papille fungiformi, a forma di fungo, sono distribuite su tutta la superficie della lingua. Sono visibili ad occhio nudo come piccoli punti rossi.

Le papille foliate sono presenti sui lati della lingua.

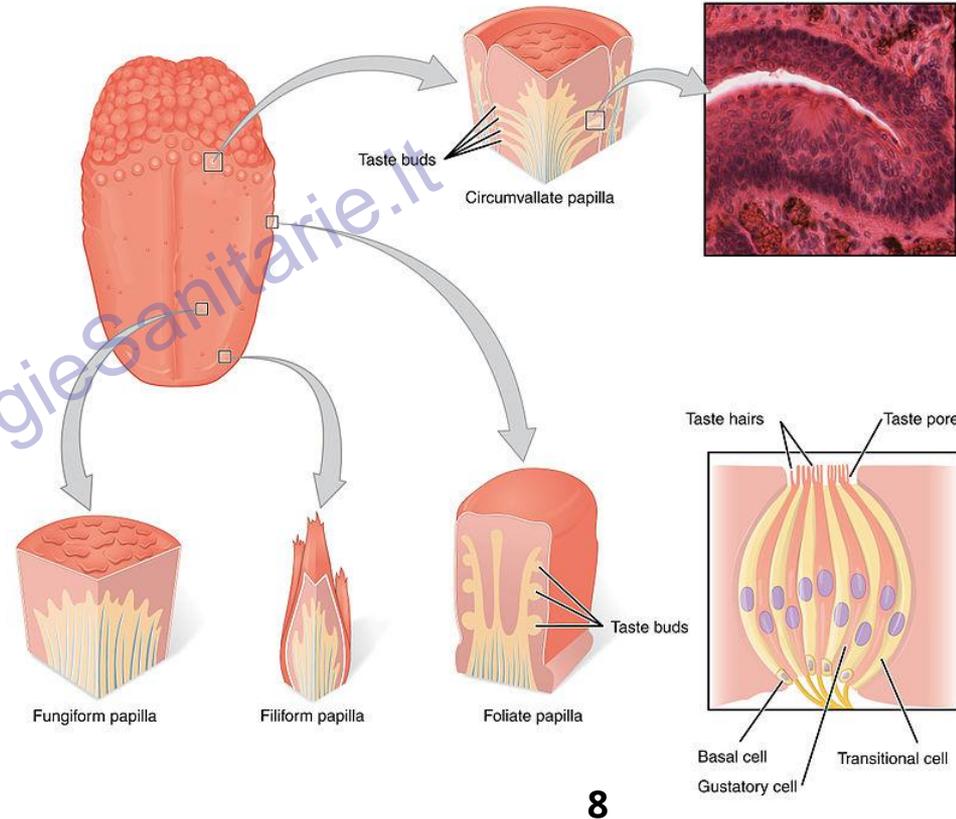
Le papille filiformi sono le più piccole e numerose. Contengono solo recettori tattili.



# Gusto: bottoni gustativi

All'interno delle papille troviamo i **calici** o **bottoni gustativi**, inseriti nello spessore dell'epitelio pluristratificato della lingua.

Ciascun calice è un corpo di forma ovale formato prevalentemente da tre tipi di cellule.



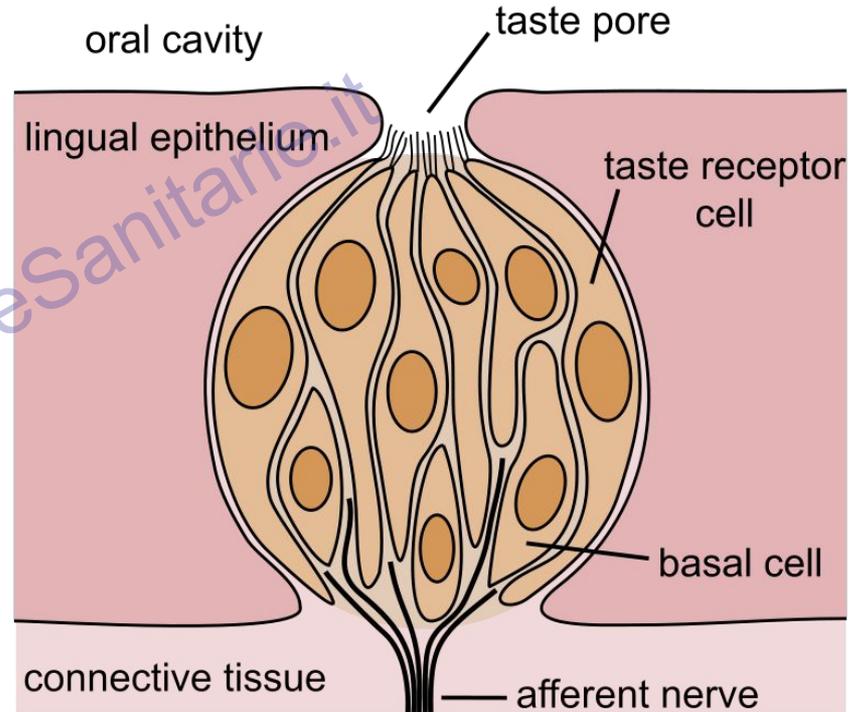
# Gusto: bottoni gustativi

I tre tipi di cellule sono:

i recettori gustativi, cellule nervose prive di assone

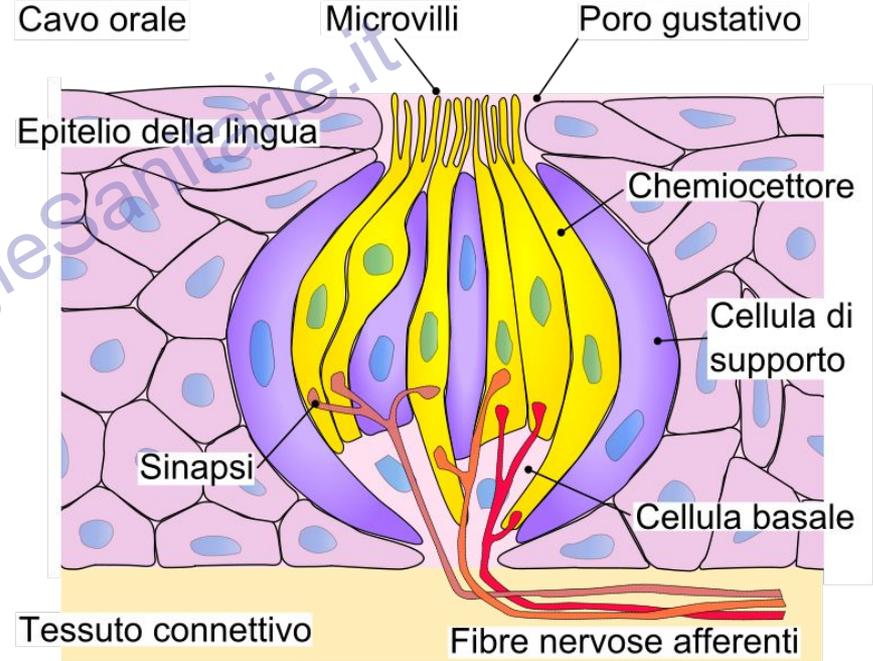
le cellule di sostegno o di supporto

le cellule basali, staminali che si differenziano nelle cellule di sostegno destinate a diventare i recettori gustativi (tempo medio di 10 giorni)



## Gusto: bottoni gustativi

Il disegno accanto evidenzia ulteriori particolari. Ad esempio i *microvilli* con cui terminano i recettori gustativi destinati ad intrappolare le molecole del sapore e che circondano un poro gustativo. E poi le fibre nervose afferenti, in realtà dendriti dei neuroni sensoriali di primo ordine della via gustativa che sinaptano con i recettori gustativi.



# Gusto: la trasduzione del segnale

Ma come avviene la stimolazione dei recettori gustativi?

Le molecole responsabili del sapore si sciolgono nella saliva e in questo modo raggiungono i microvilli ed entrano in contatto con la membrana cellulare dei recettori.

Amaro, dolce e umami stimolano recettori legati alle proteine G mentre acido e salato i canali ionici.

Ne deriva un potenziale d'azione che stimola l'ingresso di ioni calcio nella cellula e libera i neurotrasmettitori nella sinapsi con i dendriti dei neuroni di primo grado nella via gustativa.

## Gusto: la via gustativa

La via gustativa vede coinvolti tre paia di nervi cranici: il *facciale* (VII), il *glossofaringeo* (IX) e il *vago* (X).

I segnali vengono trasmessi fino al midollo allungato.

Da qui alcuni neuroni si spingono fino all'ipotalamo e al talamo.

I segnali che partono dal talamo e arrivano fino alla corteccia cerebrale (*area gustativa primaria* nel lobo parietale) sono responsabili della percezione cosciente del gusto.

# Olfatto

## Motor areas:

- Primary motor cortex
- Motor association area
- Frontal eye field

## Prefrontal cortex:

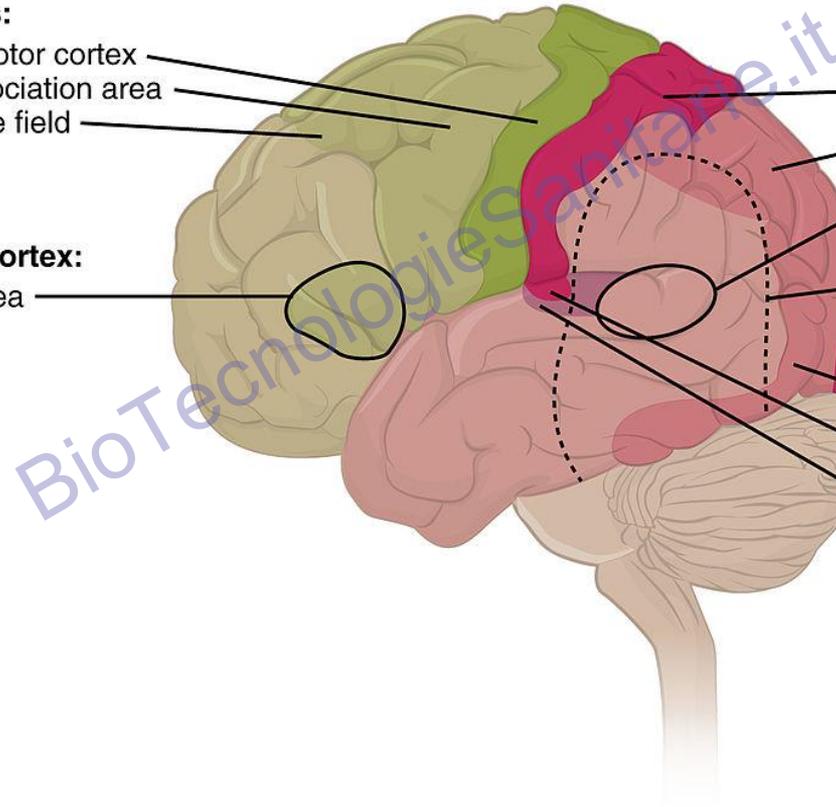
- Broca's area

## Sensory areas and related association areas:

- Primary somatosensory cortex
- Sensory association area
- Wernicke's area

## General interpretation area

- Primary visual cortex
- Visual association area
- Primary auditory cortex
- Auditory association area



# Olfatto

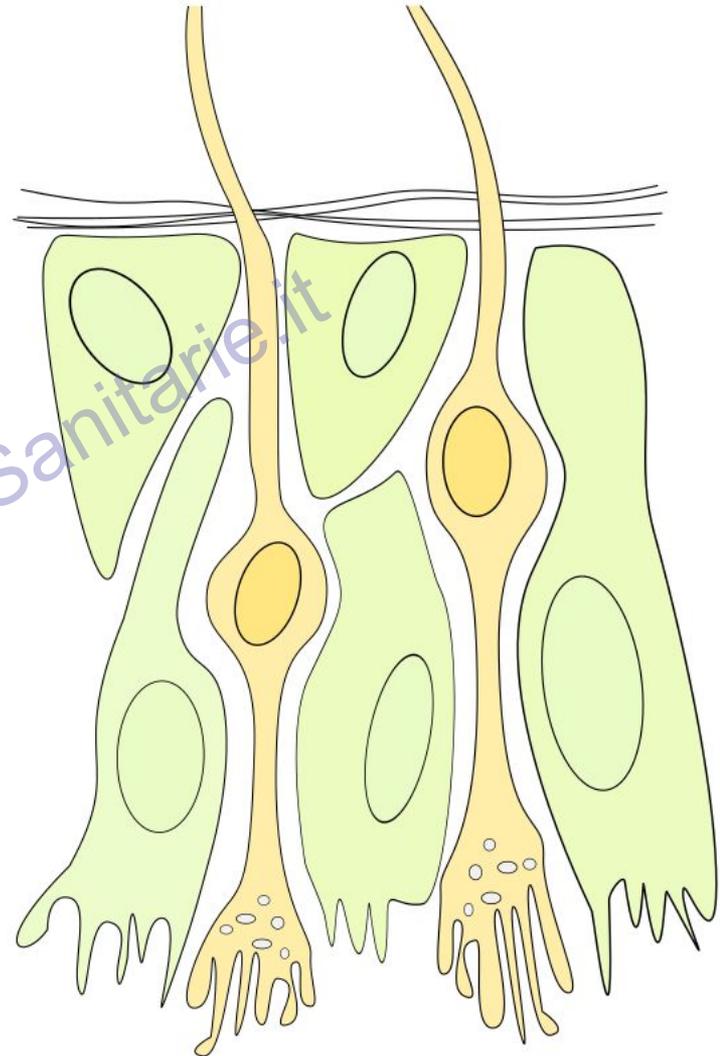
L'**olfatto** o odorato è uno dei sensi specifici e rende possibile, tramite i **chemocettori** o **chemiorecettori**, la percezione della concentrazione, della qualità e dell'identità di molecole volatili e di gas presenti nell'aria. La percezione degli odori avviene all'interno delle fosse nasali.



## Olfatto: i recettori

I recettori preposti alla percezione degli odori sono collocati nella mucosa nasale, precisamente nel tetto della cavità nasale, vicino al setto.

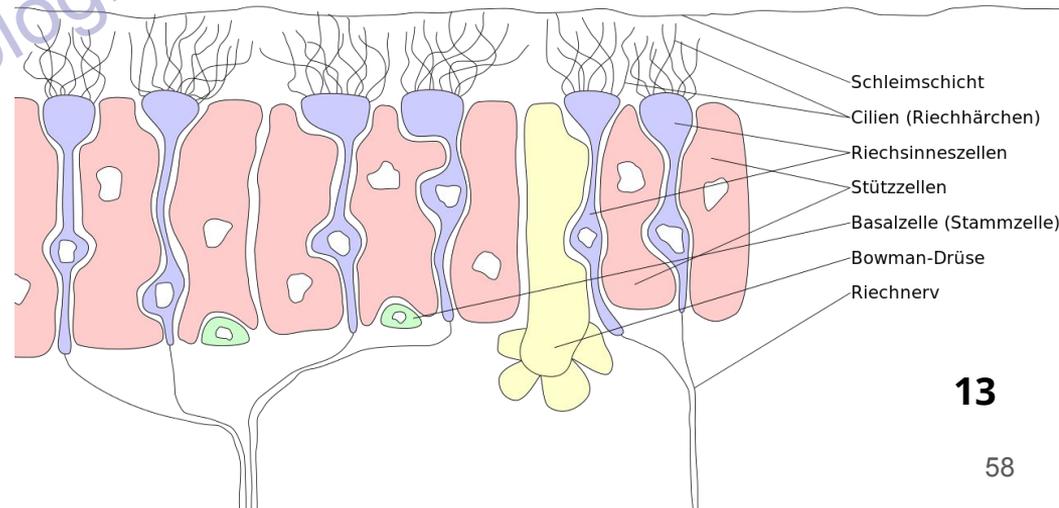
Una **cellula olfattiva** è un neurone bipolare con un corpo cellulare ovale.



## Olfatto: epitelio olfattivo

In questa immagine le cellule olfattive sono orientate in modo opposto. La superficie dell'epitelio olfattivo è coperta da muco che cattura e diffonde gli odoranti. L'estremità dei dendriti che sporge verso la superficie si risolve in una serie di ciglia che sono rivestite da recettori metabotropi collegati alle proteine G.

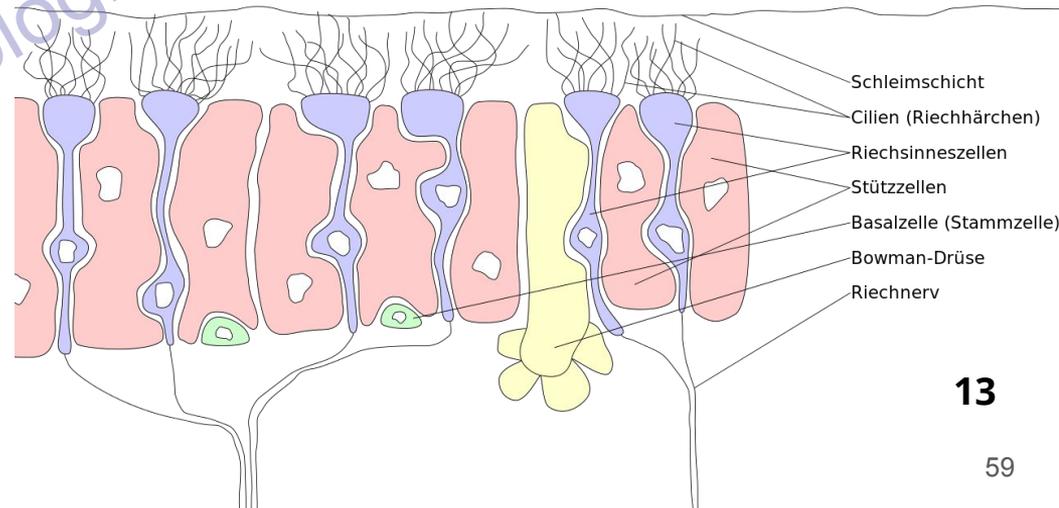
Dalla parte opposta gli assoni convergono nei glomeruli all'interno del bulbo olfattivo. Ciascun neurone è separato da quello vicino da **cellule di supporto**.



## Olfatto: epitelio olfattivo

Alla base delle cellule di supporto si vedono nel disegno delle cellule colorate in verde, di piccole dimensioni. Sono delle **cellule staminali** che si dividono asimmetricamente, sviluppando un'altra cellula staminale e una cellula destinata a trasformarsi in neurone olfattivo.

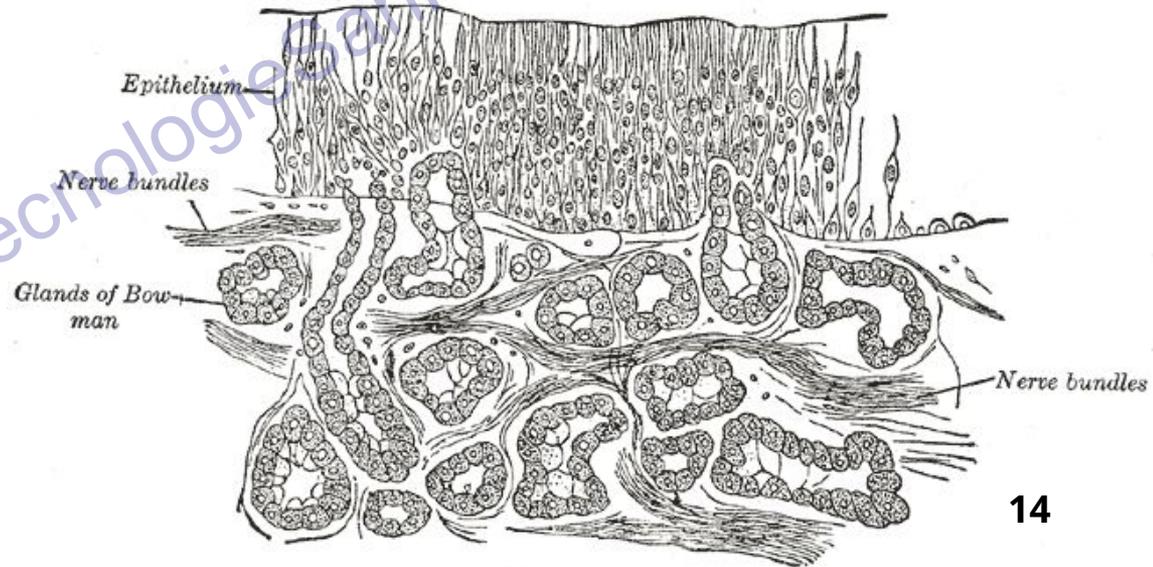
Questa divisione si verifica quando i neuroni vengono danneggiati per esposizione a sostanze irritanti e/o tossiche. In giallo sono evidenziati, invece, i dotti delle ghiandole di Bowman.



# Olfatto: epitelio olfattivo

Il muco è prodotto dalle **ghiandole di Bowman** i cui adenomeri si trovano nel tessuto connettivo e i cui dotti attraversano il connettivo e l'epitelio sboccando nelle fosse nasali. Nel disegno sono evidenziate le sezioni degli adenomeri.

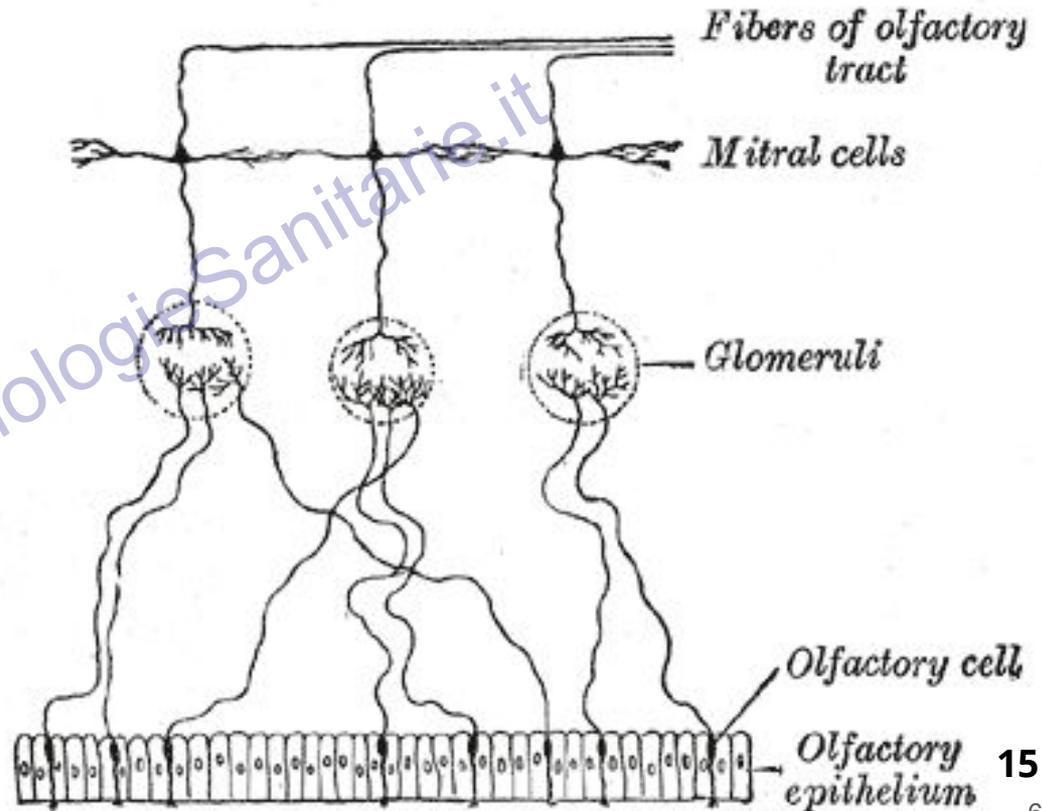
Il muco non deve essere né troppo abbondante né troppo scarso. In caso contrario si potrebbero avere dei deficit olfattivi. Il muco contiene lisozima, i citocromi P450 e immunoglobuline.



# Olfatto: il bulbo olfattivo

Nello schema accanto si vede molto bene l'organizzazione dei neuroni olfattivi, di come i loro assoni confluiscono nei glomeruli. Nei glomeruli sinaptano con i dendriti delle cellule mitrali.

Siamo già all'interno del bulbo olfattivo.



# Olfatto

In questa immagine vediamo di nuovo l'insieme delle cellule coinvolte.

1 Bulbo olfattivo, struttura nervosa al di sopra della lamina cribrosa dell'etmoide

2 Cellule mitrali

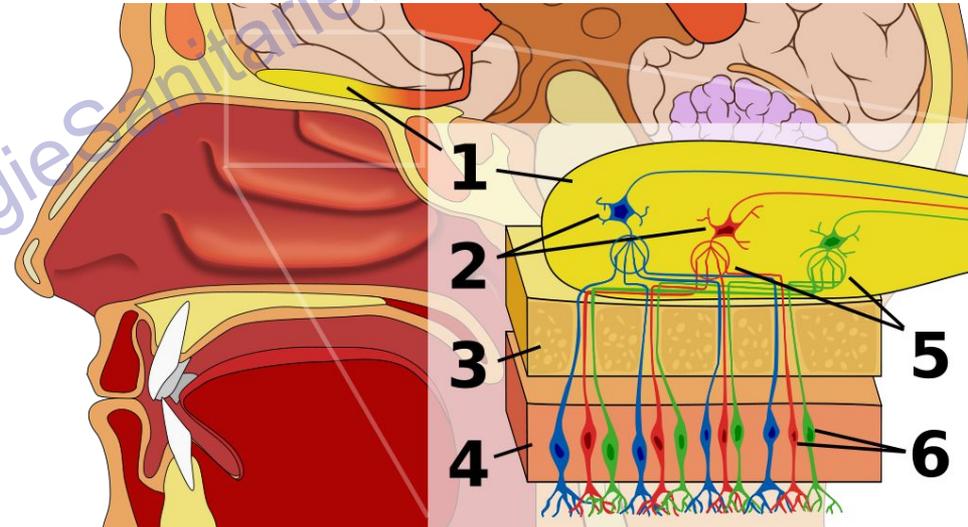
3 Osso

4 Epitelio nasale

5 Glomeruli

6 Recettore olfattivo

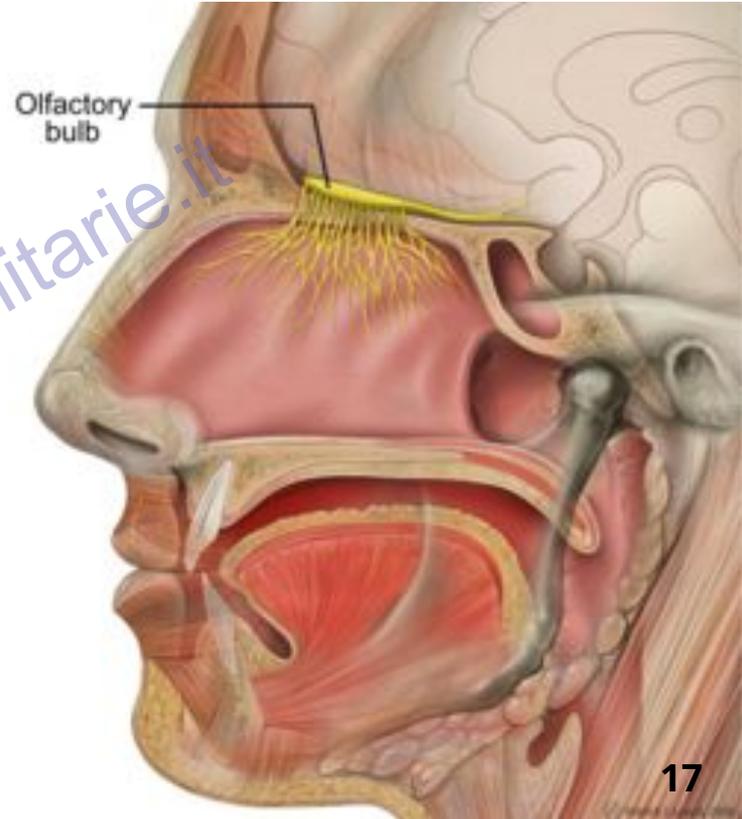
BioTechnologiesSanitarie.it



## Olfatto: trasduzione olfattiva

I recettori olfattivi vengono stimolati quando gli odoranti si sciolgono nel muco.

Da questo momento avviene la **trasduzione olfattiva**, cioè la trasformazione di un segnale chimico in uno elettrico. Perché avvenga è necessaria la depolarizzazione che si attua quando si aprono i canali ionici regolati da proteine G. Il flusso di ioni modifica la differenza di potenziale e innesca la trasmissione del segnale nervoso.

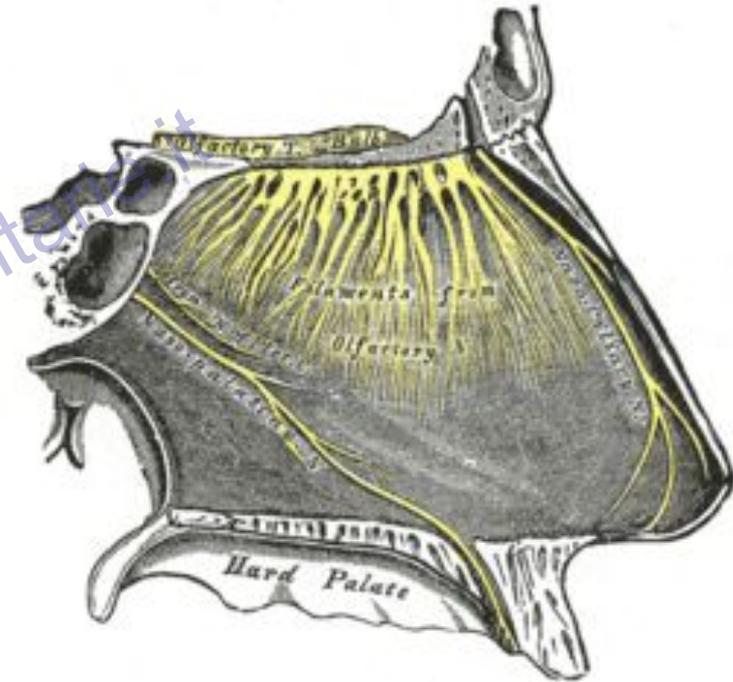


## Olfatto: la via olfattiva

Il potenziale d'azione sembra essere collegato come intensità alla concentrazione dell'odorante.

Gli stimoli raggiungono l'ippocampo e l'ipotalamo attraverso il primo paio di nervi cranici: l'olfattivo.

Il fatto che dopo un po' che si sente un certo odore lo si percepisca meno è legato all'adattamento e quindi ad un sempre minore numero di potenziali d'azione.

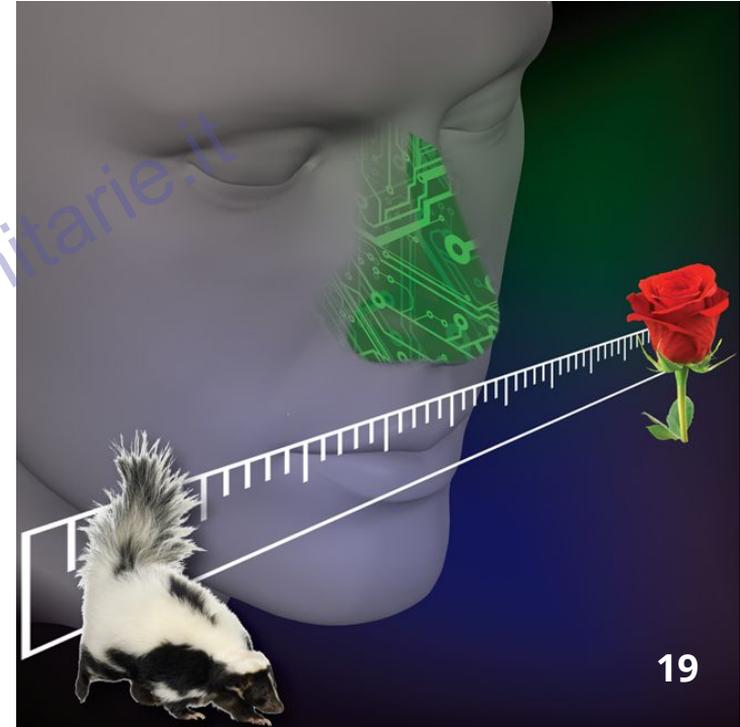


## Olfatto: principali patologie

I principali disturbi legati all'olfatto sono le **disosmie** e l'**anosmia**, rispettivamente la sua riduzione e la perdita totale.

I fumatori sono i soggetti che più lamentano disosmie, seguiti da chi soffre di polipi nasali, chi assume certi farmaci come il cortisone e da chi ha una cattiva igiene.

Alcuni tumori al cervello e malattie degenerative cerebrali possono provocare invece anosmia.



Scala di piacevolezza degli odori secondo l'uomo

# Vista

## Motor areas:

- Primary motor cortex
- Motor association area
- Frontal eye field

## Prefrontal cortex:

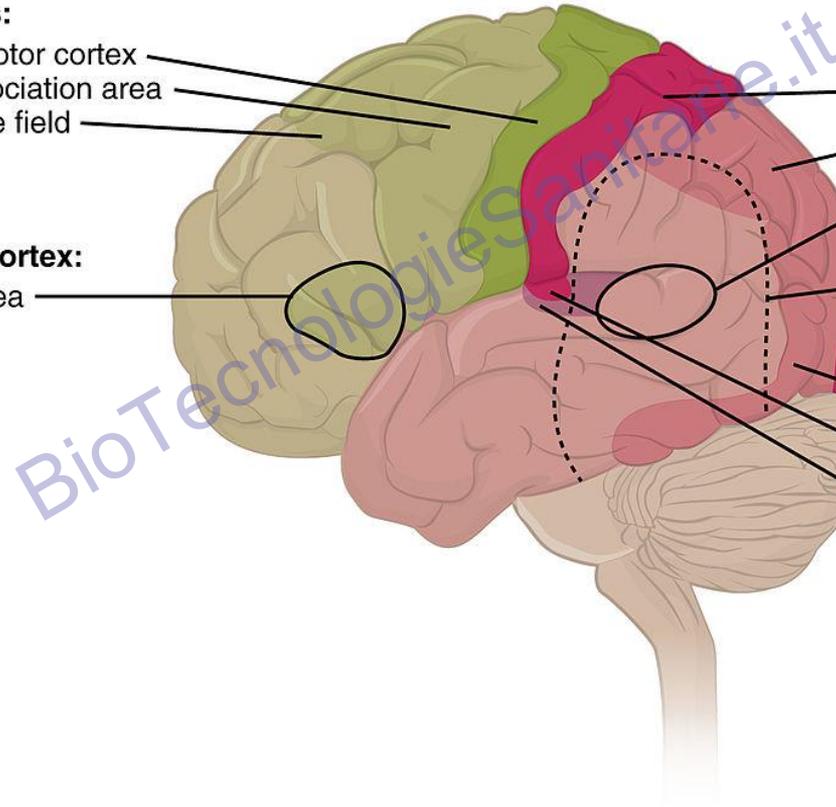
- Broca's area

## Sensory areas and related association areas:

- Primary somatosensory cortex
- Sensory association area
- Wernicke's area

## General interpretation area

- Primary visual cortex
- Visual association area
- Primary auditory cortex
- Auditory association area



# Vista

L'organo principale della vista è l'occhio che ha il compito di raccogliere le informazioni dell'ambiente esterno attraverso la luce.

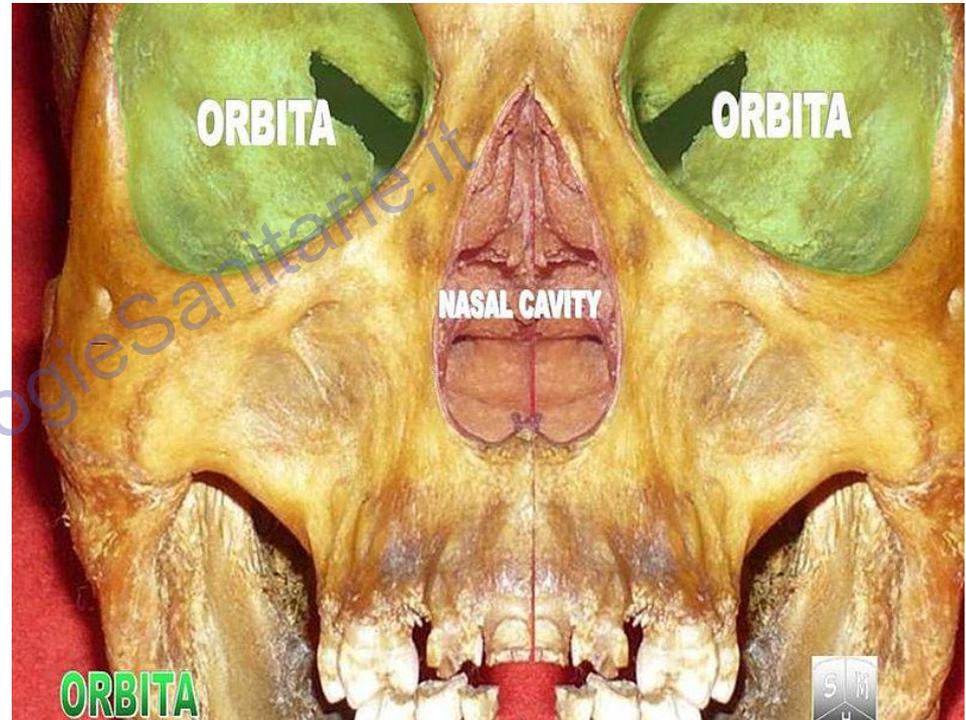
Praticamente *raccoglie la luce*, ne *regola l'intensità* attraverso l'iride con la sua pupilla che funziona da diaframma, la *concentra* grazie ad un insieme di lenti per formare un'immagine sulla retina e *trasforma* queste immagini in segnali elettrici che trasferisce al cervello



Occhio umano

## Vista: globi oculari

Gli *occhi* o *globi oculari* sono due organi posizionati all'interno delle cavità orbitarie nel cranio.



Orbite

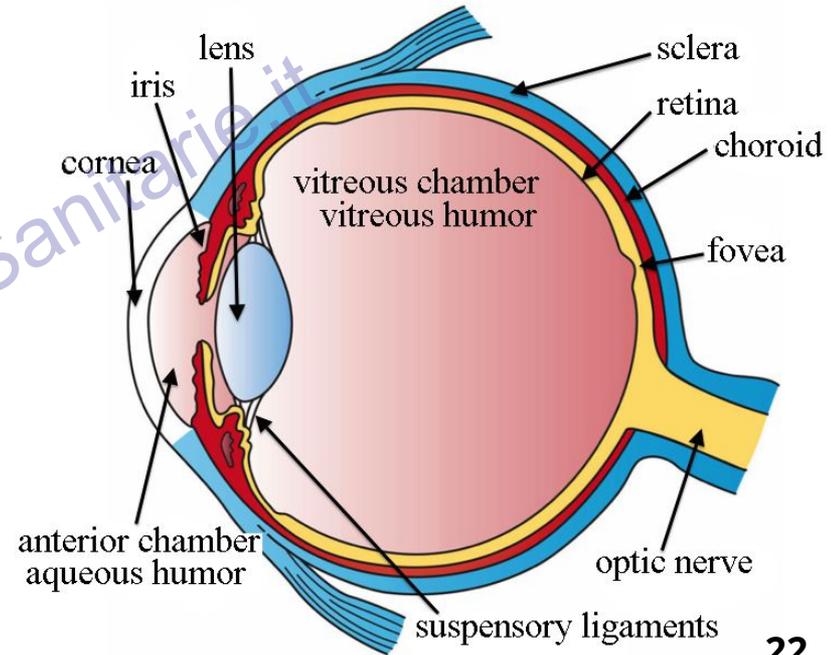
## Vista: il globo oculare

Diamo un'occhiata ora alla struttura dell'occhio. Nell'immagine di lato sono visibili le parti fondamentali.

Innanzitutto si notano tre strati che circondano il globo oculare o occhio.

Dall'esterno verso l'interno sono:

- ❖ la sclera
- ❖ la coroide
- ❖ la retina



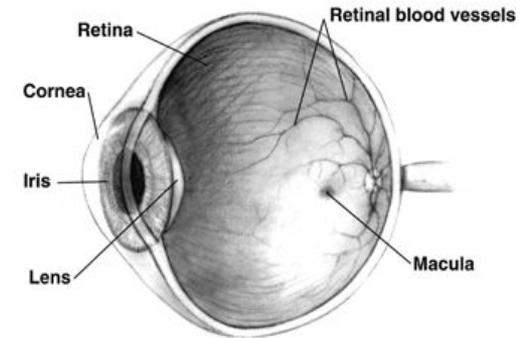
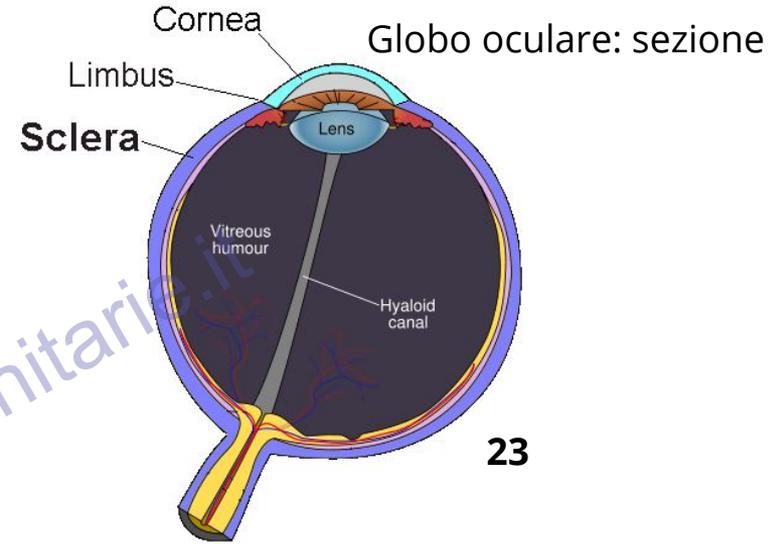
Globo oculare: sezione

## Vista: la sclera

La *sclera* o *bianco dell'occhio* anteriormente si interrompe e dà origine alla cornea, un rivestimento trasparente che copre l'iride.

Sclera e cornea costituiscono la *tonaca fibrosa* che come dice il nome è un tessuto connettivo fibroso ricco di fibre collagene ed elastiche.

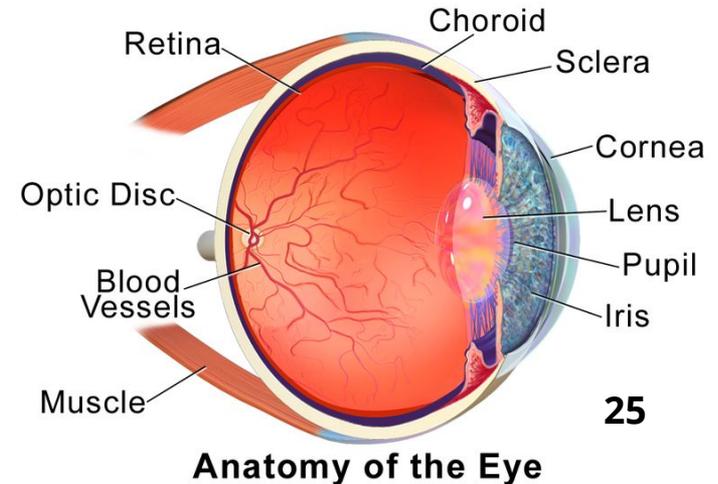
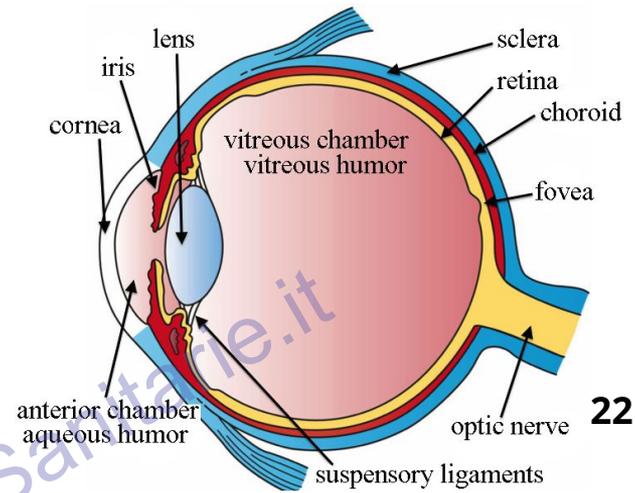
Grazie alla curvatura della cornea si riescono a mettere a fuoco i raggi luminosi sulla retina.



## Vista: la coroide

Lo strato sottostante la sclera è la *coroide*, pigmentato (per la presenza di melanociti) e vascolarizzato.

La melanina prodotta dai melanociti ha il compito di evitare che la luce diffonda all'interno del globo oculare e permette quindi che si formino immagini nette sulla retina.

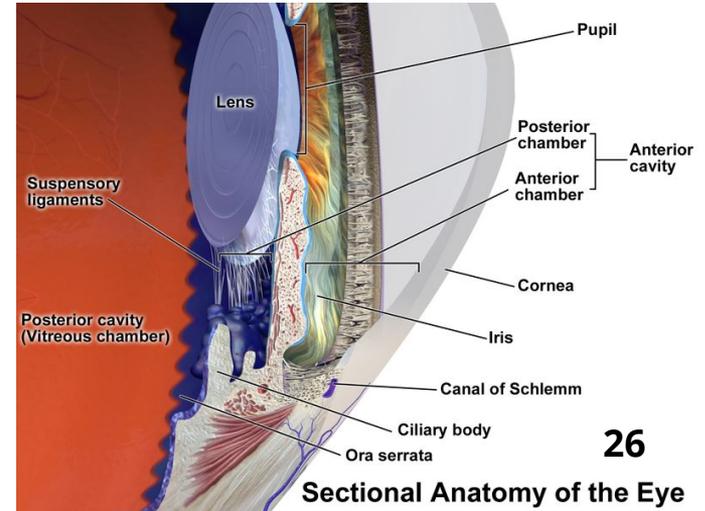
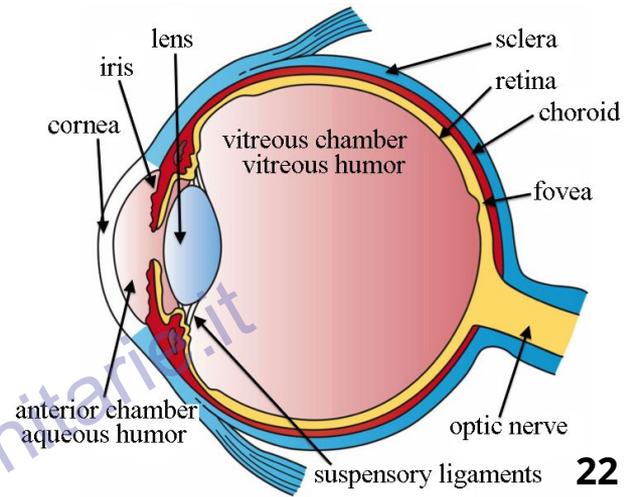


## Vista: la coroide

Anteriormente la coroide origina il corpo ciliare e l'iride.

I capillari del corpo ciliare producono l'umore acqueo. Il *corpo ciliare* è formato anche dal *muscolo ciliare* che cambia la forma del cristallino.

L'*iride* è un disco membranoso posto davanti al cristallino, con un foro centrale, la pupilla. L'iride conferisce all'occhio il suo colore.

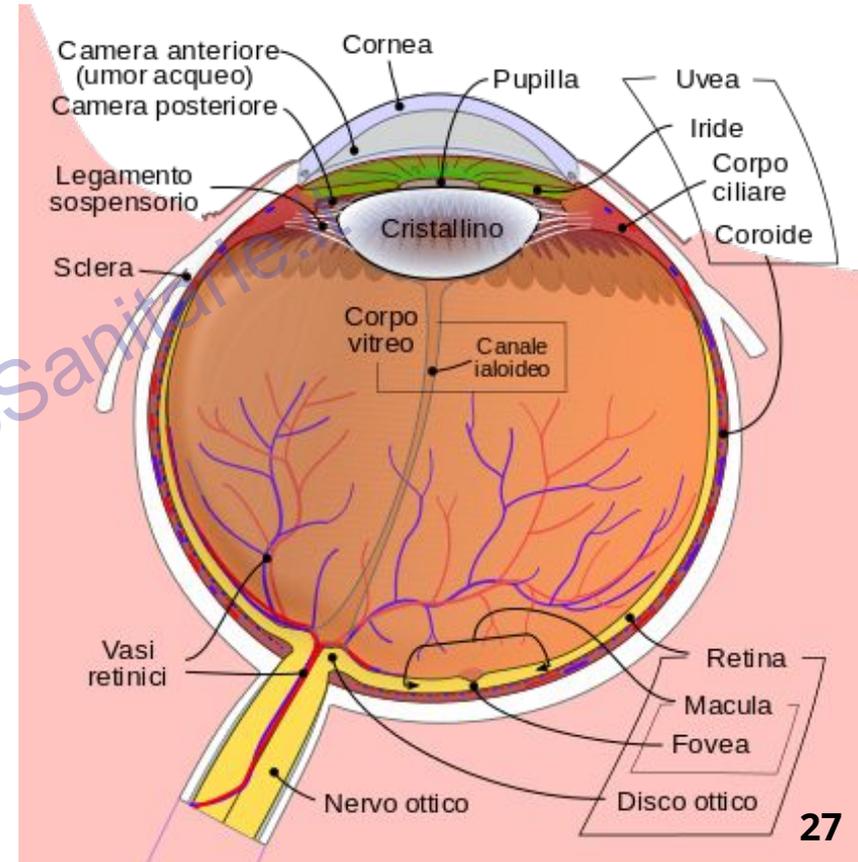


## Vista: uvea

Coroide, corpo ciliare e iride formano la *tonaca vascolare* o *uvea*.

Sono tutte e tre pigmentate.

Il cristallino, posto dietro all'iride, è invece una struttura trasparente che consente di mettere a fuoco i raggi luminosi sulla retina. È formato da *proteine trasparenti*.

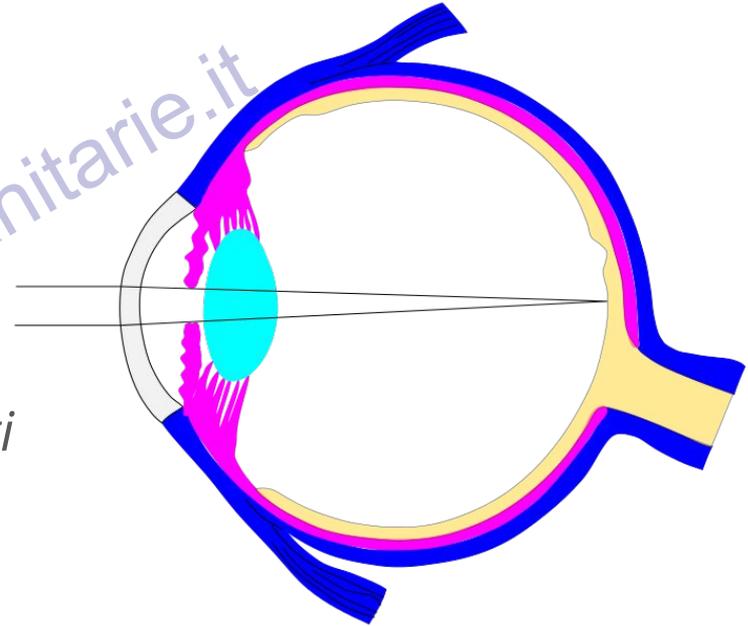


## Vista: il cristallino

Il cristallino praticamente è la lente naturale dell'occhio.

Una *lente biconvessa* con il compito di variare la distanza focale del sistema ottico. In altre parole *cambiando la sua curvatura*, grazie ai muscoli ai quali è collegato, *riesce a far mettere a fuoco oggetti a distanze diverse (accomodazione)*

Con l'avanzare dell'età questa capacità di accomodazione si perde.

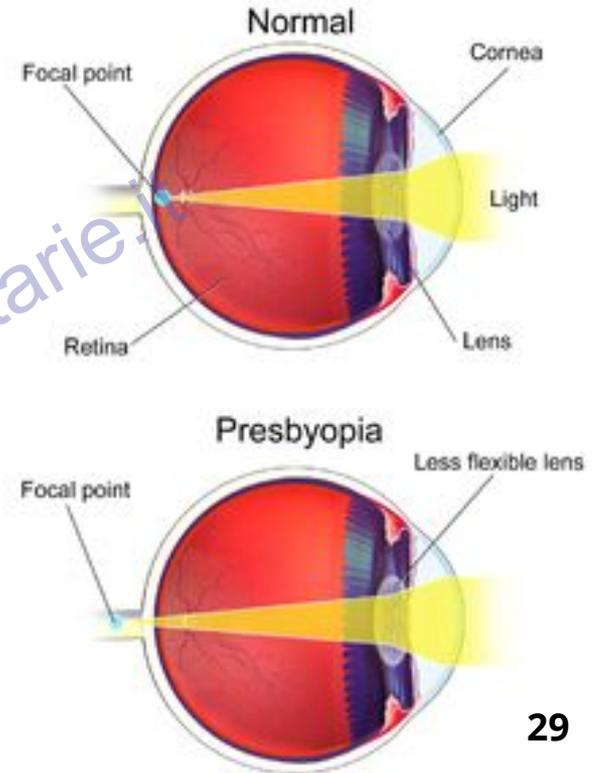


## Vista: presbiopia

Dopo i 40 anni si diventa **presbiti** e quindi si leggono le scritte piccole con sempre maggiore difficoltà.

Questo fatto dipende dall'irrigidimento del cristallino per cui l'immagine tende a formarsi dietro la retina e perde di nitidezza.

Gli occhiali servono a correggere questo difetto.

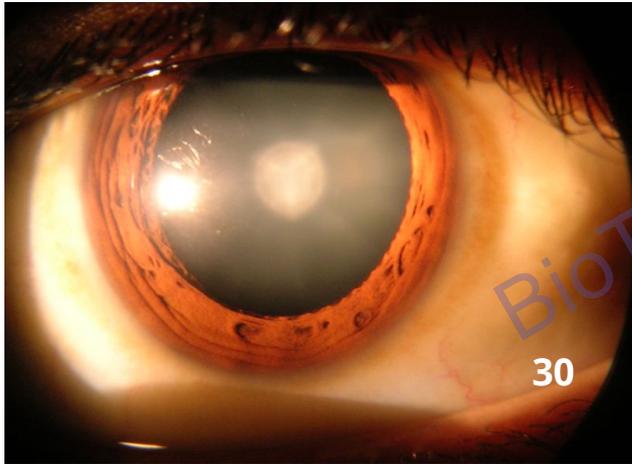


29

*The lens ages and stiffens, bringing the focal point behind the retina and causing blurry vision*

## Vista: la cataratta

Altro problema che sorge con l'età è il progressivo opacizzarsi che porta alla **cataratta**.



Occhio umano con cataratta



A sinistra visione normale

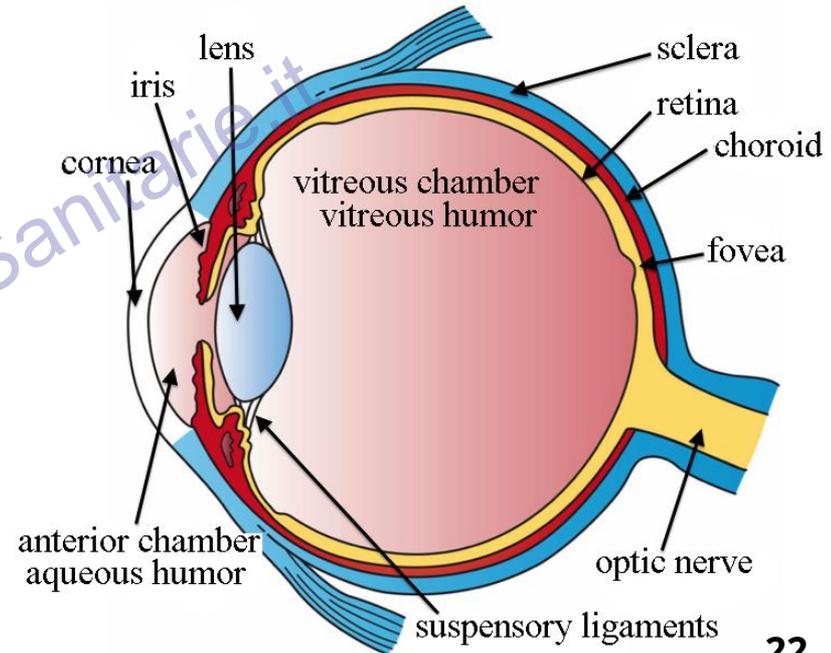


A destra visione con cataratta

## Vista: la retina

Sotto la coroide, verso l'interno del globo oculare, è posizionata la *retina*, piena di fotocettori che trasducono la luce in potenziale elettrico da condurre al Sistema Nervoso Centrale attraverso il nervo ottico.

La retina si interrompe anteriormente dove la coroide si trasforma nel corpo ciliare.

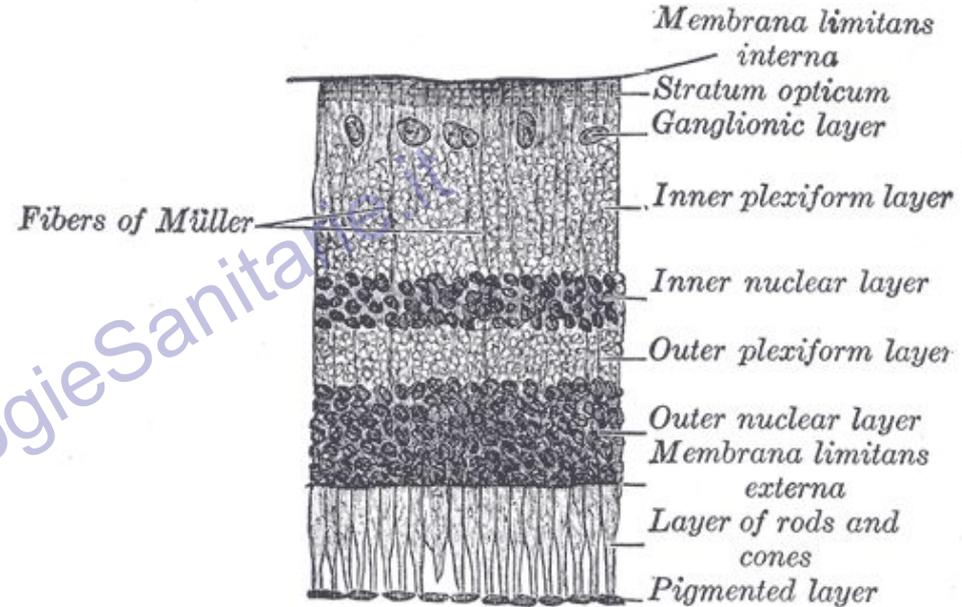


Globo oculare: sezione

## Vista: la retina

La struttura della retina è molto complessa. La retina è costituita dallo *strato nervoso* e dallo *strato pigmentato*.

Lo *strato pigmentato* è il più esterno, a contatto con la coroide, ed è costituito da uno strato di cellule epiteliali cuboidali ricche di melanina. Una delle funzioni è di assorbire i raggi luminosi deviati.



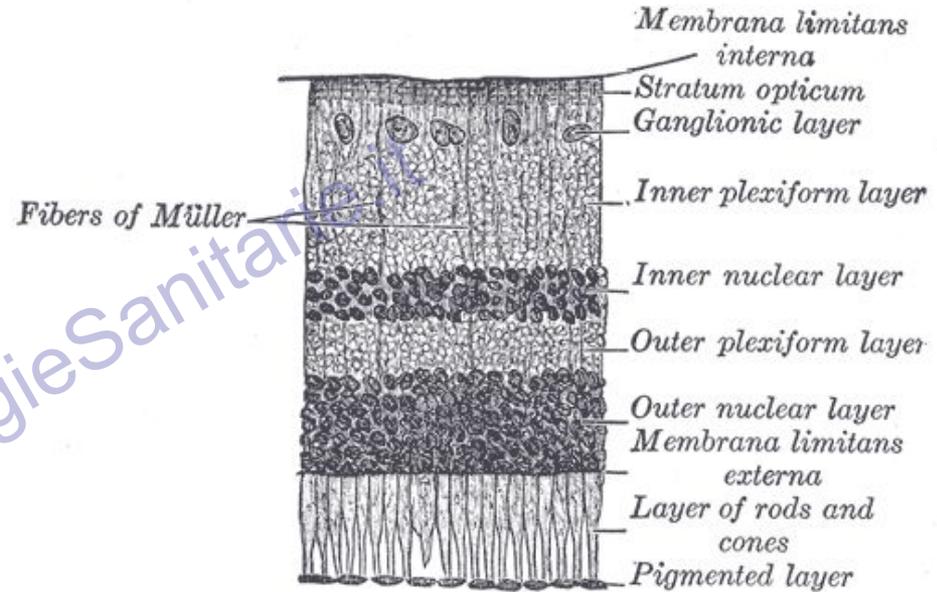
Il disegno è datato ma consente di vedere bene la posizione dello strato pigmentato

33

## Vista: la retina

Proseguendo verso l'interno del globo oculare abbiamo lo *strato nervoso* che è formato da:

- ❖ strato dei fotocettori (coni e bastoncelli)
- ❖ strato sinaptico esterno
- ❖ strato delle cellule bipolari
- ❖ strato sinaptico interno
- ❖ strato delle cellule gangliari

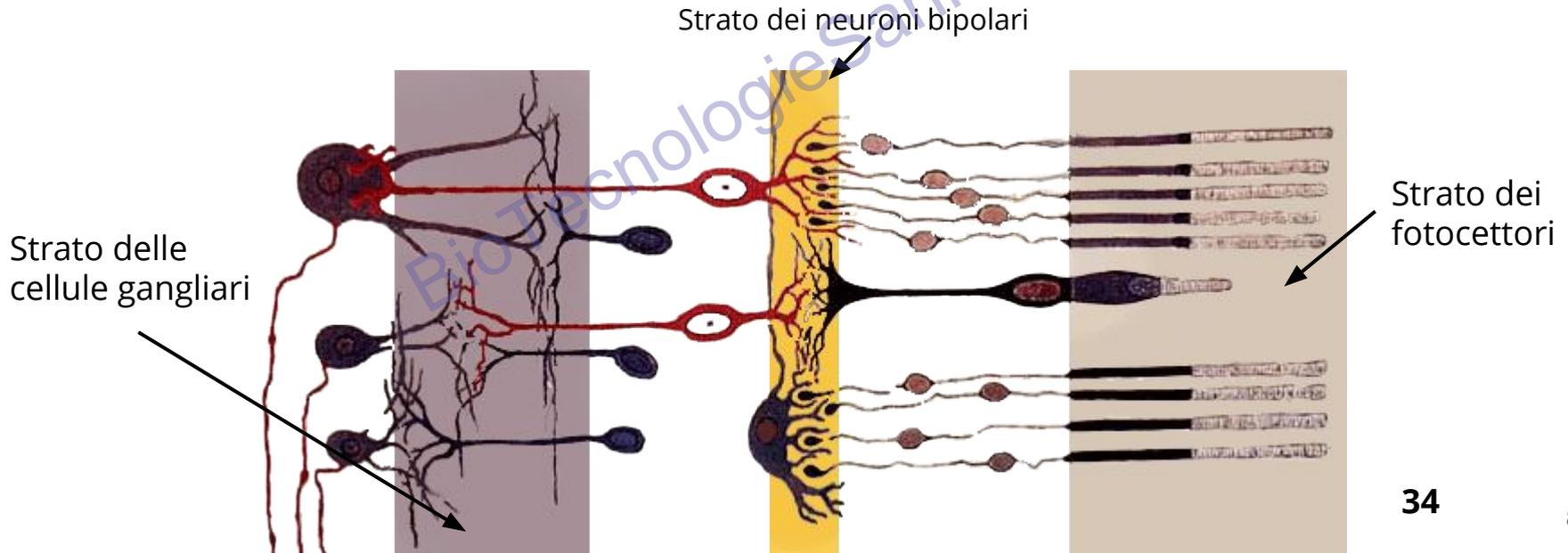


Il disegno è datato ma consente di vedere bene la posizione dello strato pigmentato

**33**

## Vista: la retina

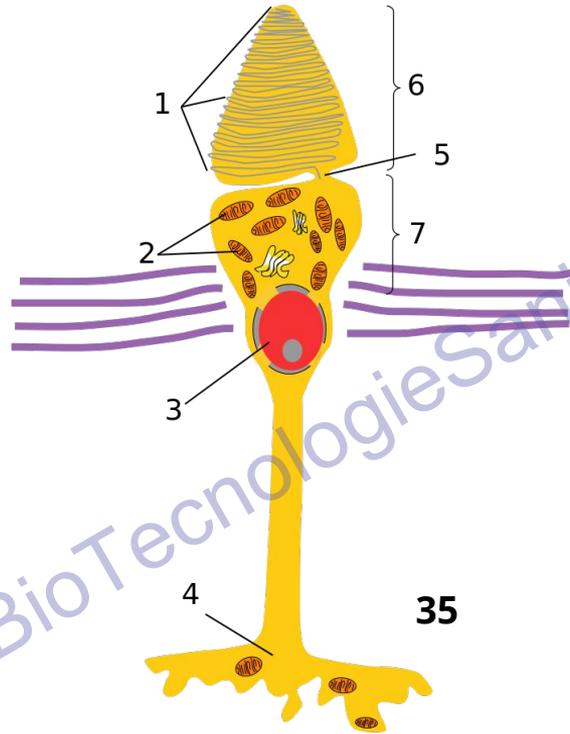
Questo disegno, più recente, evidenzia meglio le varie aree dello strato nervoso. Procedendo da destra verso sinistra abbiamo lo strato dei fotorecettori, lo strato di sinapsi esterno, lo strato delle cellule bipolari, il lo strato di sinapsi interno e lo strato delle cellule gangliari.



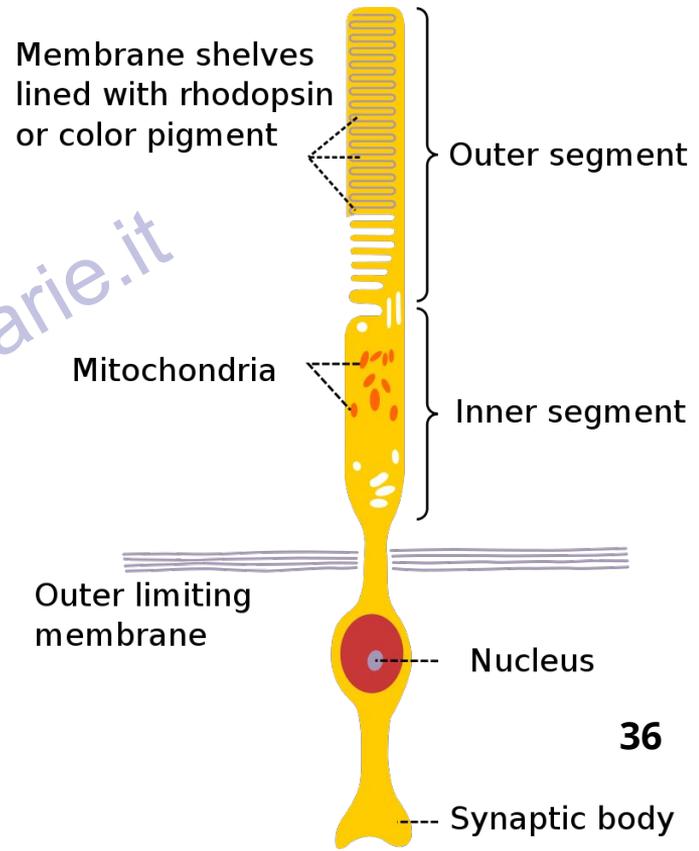
# Vista: i fotorecettori

I **fotorecettori** cioè le cellule che danno il via alla trasduzione della luce in segnali elettrici sono di due tipi:

- ❖ cono
- ❖ bastoncelli



Coni

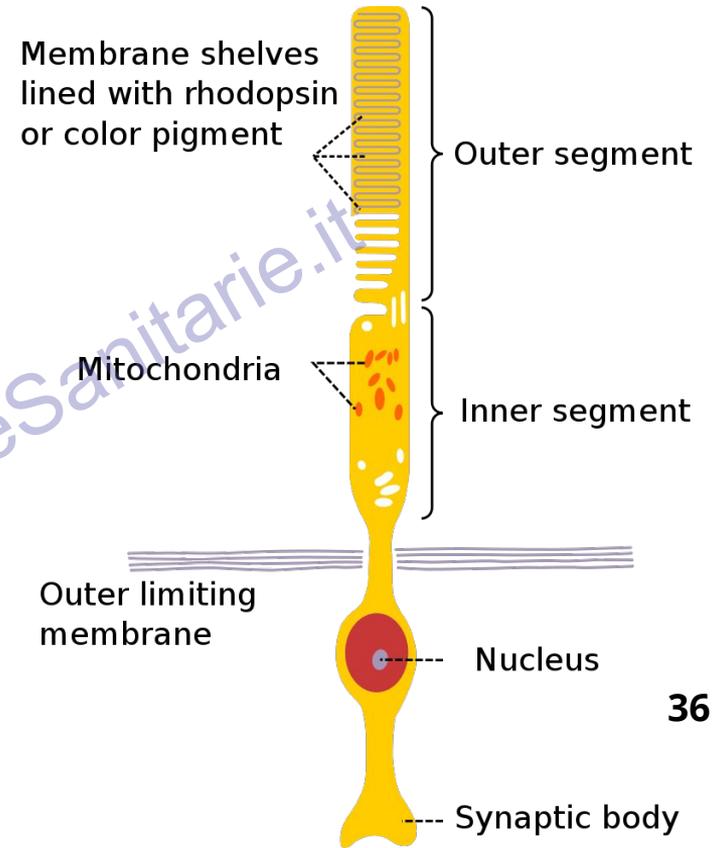


Bastoncelli

## Vista: i bastoncelli

I *bastoncelli* sono 120 milioni per occhio e ci consentono di vedere solo sfumature di grigio perché stimolati da luci deboli. Ma sono anche sensibili al movimento.

Contengono un *fotopigmento* detto rodopsina che è formato da una proteina (*opsina*) e da un pigmento derivato dalla vitamina A (*retinene*)



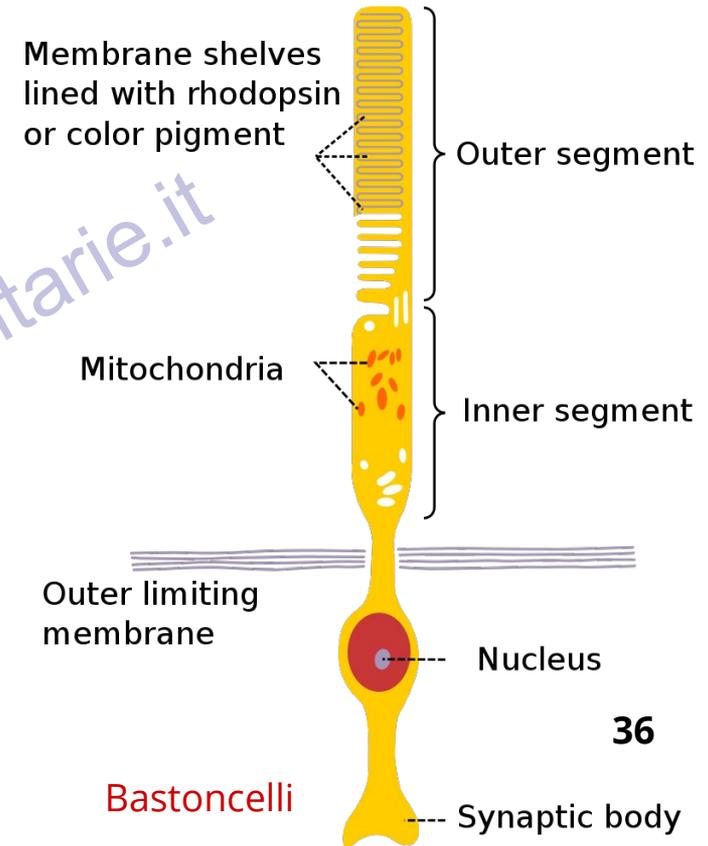
36

Bastoncelli

## Vista: i bastoncelli

Quando siamo in una stanza buia la scarsa quantità di luce stimola la scissione della rodopsina nei suoi due componenti. Il che avvia una serie di reazioni chimiche con conseguente inizio di stimolo nervoso che determina un cambiamento della permeabilità della membrana.

Di giorno i bastoncelli non funzionano e se passiamo dalla piena luce in una stanza buia ci vogliono circa 40 minuti prima che riprendano a funzionare efficacemente.



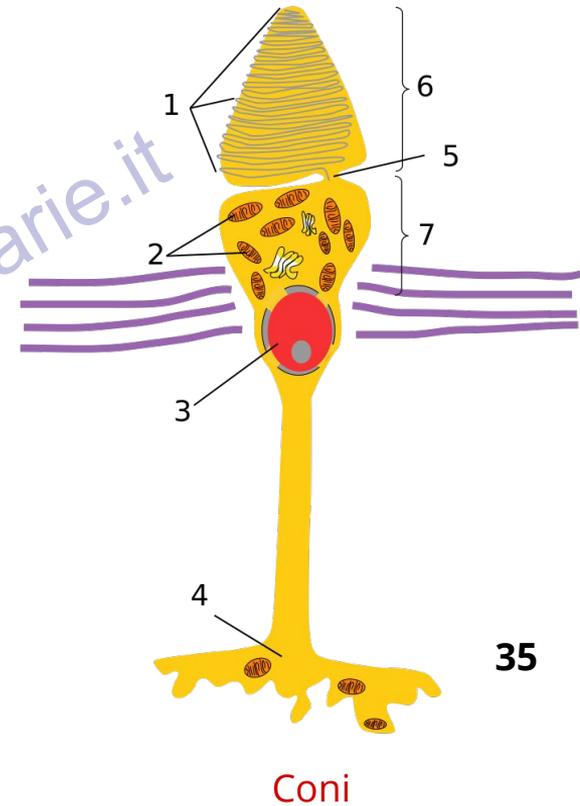
36

## Vista: i coni

I *coni* sono 6 milioni per occhio. Vengono stimolati da luci più intense e ci consentono di vedere a colori.

I coni sono di tre tipi: blu, rossi e verdi sensibili rispettivamente alla luce blu, rossa e verde. Ovviamente i colori dipendono dalla combinazione dei tre colori base.

I fotopigmenti sono composti sempre da retinene più opsonine diverse per i tre tipi di coni. Il loro funzionamento ricalca quanto già detto a proposito dei bastoncelli.



## Vista: cecità e daltonismo

Ovviamente, alterazioni numeriche dei fotocettori, mancata assunzione di vitamina A con carenze strutturali dei fotopigmenti ... possono creare problemi alla vista, arrivando anche alla **cecità** se vengono colpiti i coni.

Si parla più propriamente di **cecità notturna** per i bastoncelli.

Il **daltonismo** (incapacità a vari livelli di riconoscere i colori) deriva invece dalla mancanza di uno o più tipi di coni.



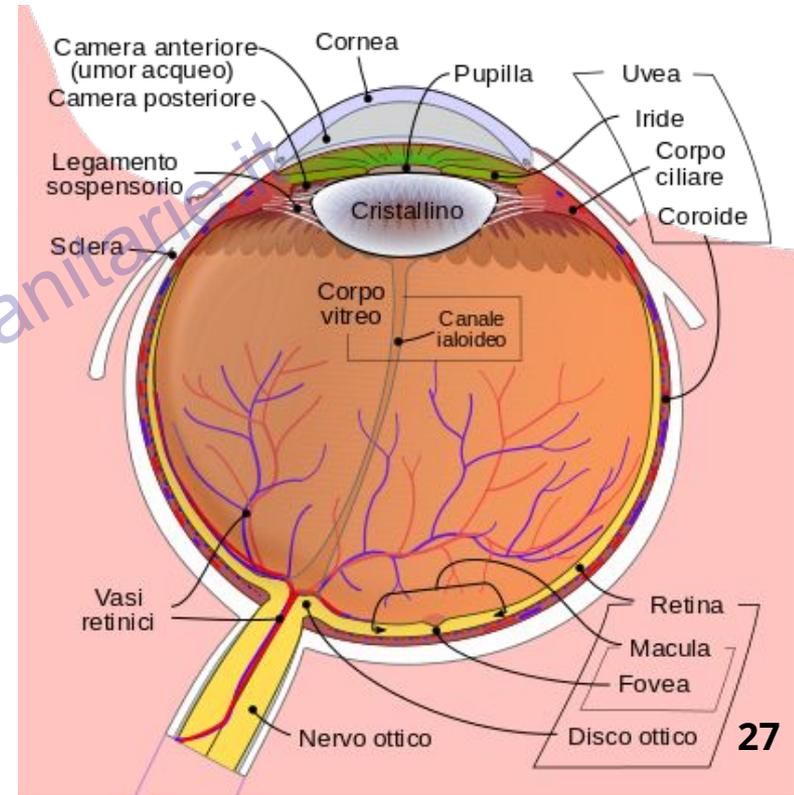
37

## Vista: macula lutea e fovea

Torniamo ora alla *retina* nel suo complesso.

La zona centrale, la più sensibile agli stimoli visivi, prende il nome di macula lutea. Al centro si trova una depressione circolare detta fovea (1,5 mm di diametro) dove troviamo la *massima concentrazione di coni* (rossi e verdi) I *bastoncelli*, invece, sono *totalmente assenti in tutta la macula*.

Quindi la macula è preposta alla visione distinta e alla percezione dei dettagli.



## Vista: il nervo ottico

Innestato il meccanismo di trasduzione dal segnale luminoso a quello elettrico a livello dei fotocettori, la trasmissione dell'impulso nervoso si propaga attraverso i vari strati della retina.

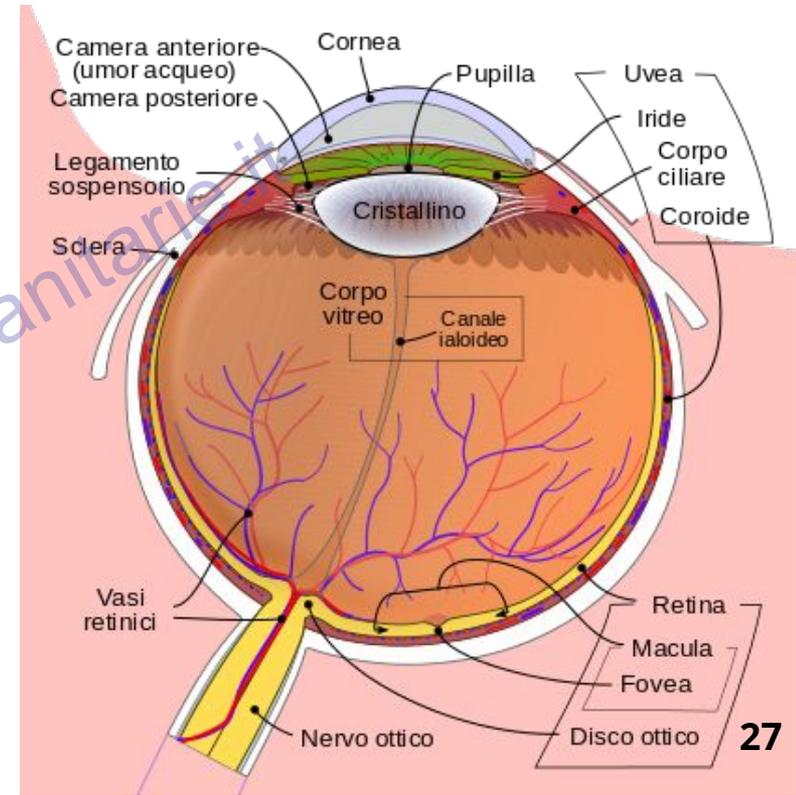
Possono essere centinaia i bastoncelli che sinaptano con una sola cellula bipolare. Questo non succede per i coni che hanno un rapporto uno a uno.

Le sinapsi multiple dei bastoncelli fanno sì che possano aumentare la sensibilità alla luce. L'immagine rimane comunque sfocata.

Le singole sinapsi dei coni garantiscono maggiore acutezza visiva.

## Vista: il nervo ottico

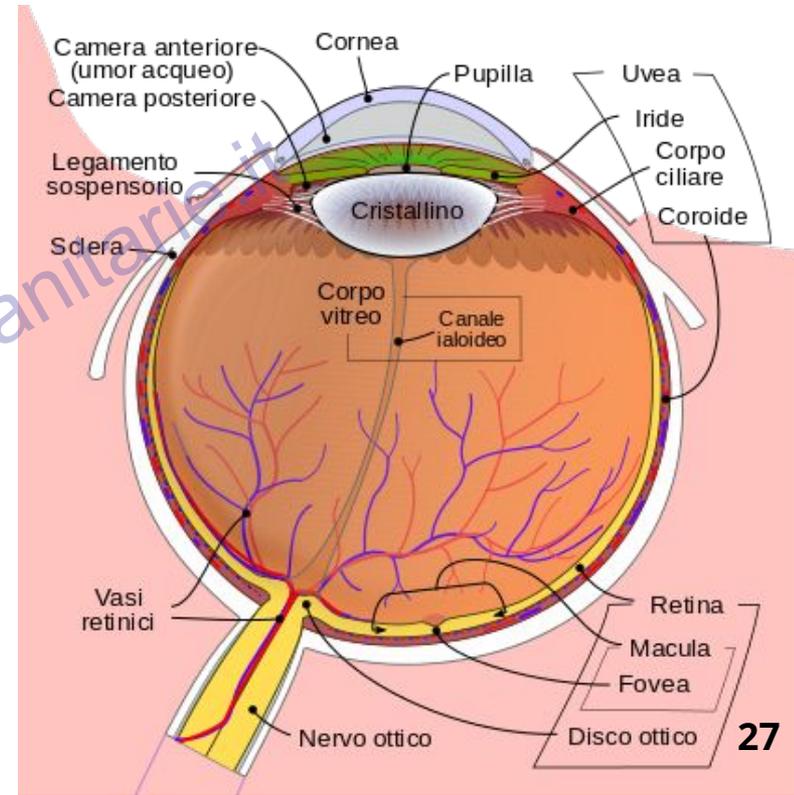
Alla fine gli assoni delle cellule gangliari convergono tutti a formare il nervo ottico. Le fibre inizialmente non sono dotate di mielina. Acquisiscono la guaina mielinica passando attraverso la lamina cribrosa. Il nervo ottico emerge dal globo oculare a livello della papilla ottica (punto cieco). La papilla ottica non possiede fotorecettori.



## Vista: le camere

Per completare la descrizione del globo oculare bisogna ricordare le tre cavità che la caratterizzano:

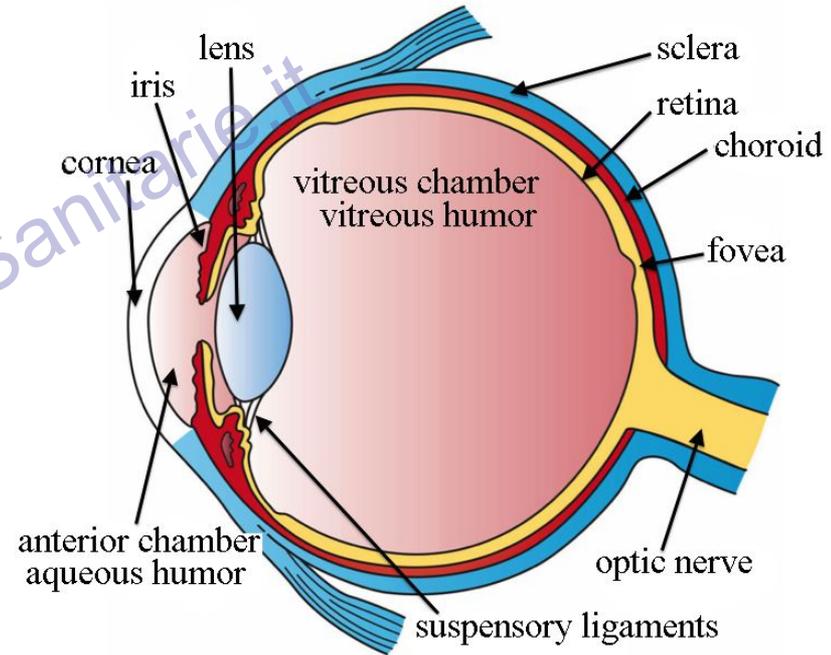
- ❖ *camera anteriore*, tra cornea e iride
- ❖ *camera posteriore*, tra iride e cristallino
- ❖ *camera vitrea*, dietro il cristallino



## Vista: umore acqueo e corpo vitreo

Le due camere, anteriore e posteriore, sono riempite dall'umore acqueo prodotto dal corpo ciliare.

Mentre il corpo vitreo occupa lo spazio della camera vitrea. Il corpo vitreo è una *massa gelatinosa e trasparente che ha funzioni di sostegno e di protezione*. Inoltre, essendo trasparente *non ostacola il passaggio della luce*.

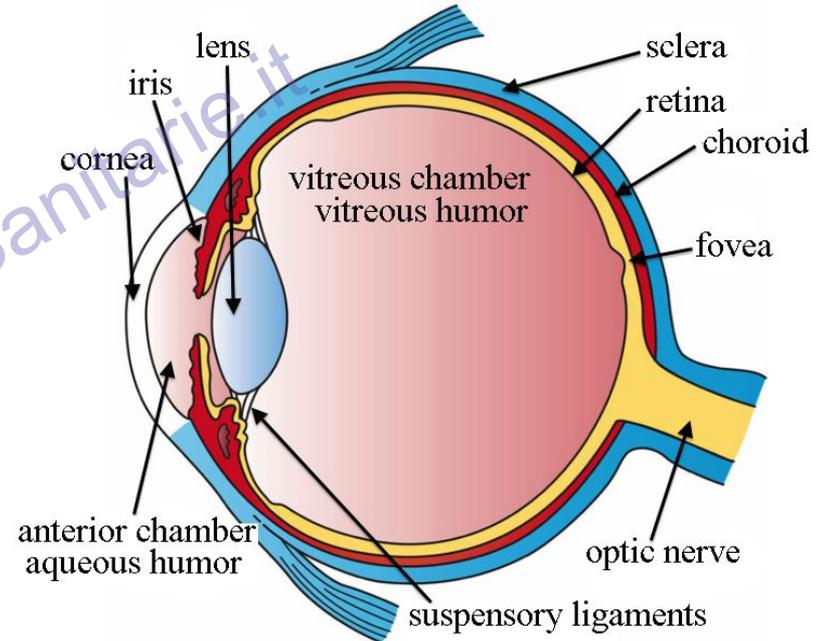


## Vista: umore acqueo e corpo vitreo

Invece l'umore acqueo è un liquido salino che contribuisce a dare forma e volume al globo oculare ed ha anche la funzione di nutrire sclera e cristallino che non sono vascolarizzati.

È sicuramente un altro elemento che interviene nella messa a fuoco.

Infatti è responsabile della pressione endoculare per cui la retina viene tenuta premuta contro la coroide.



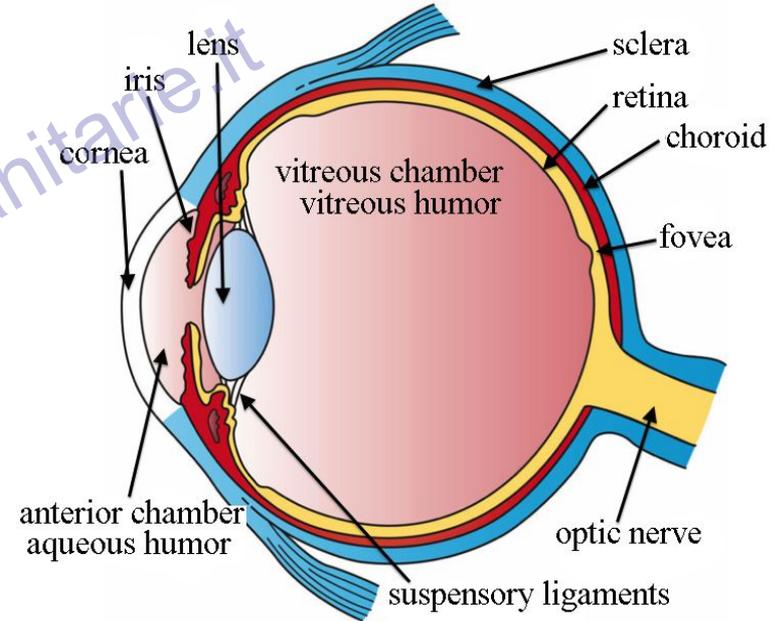
# Vista: il glaucoma

Il **glaucoma** è una patologia dell'occhio dovuta all'aumento della pressione endoculare.

Si crea per *un diminuito riassorbimento dell'umore acqueo* il cui ricambio avviene normalmente ogni 90 minuti.

La pressione endoculare normalmente è di 16 mmHg.

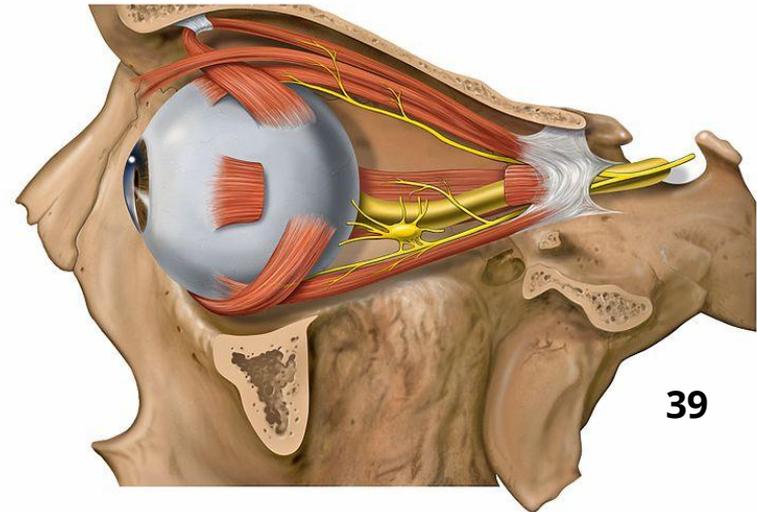
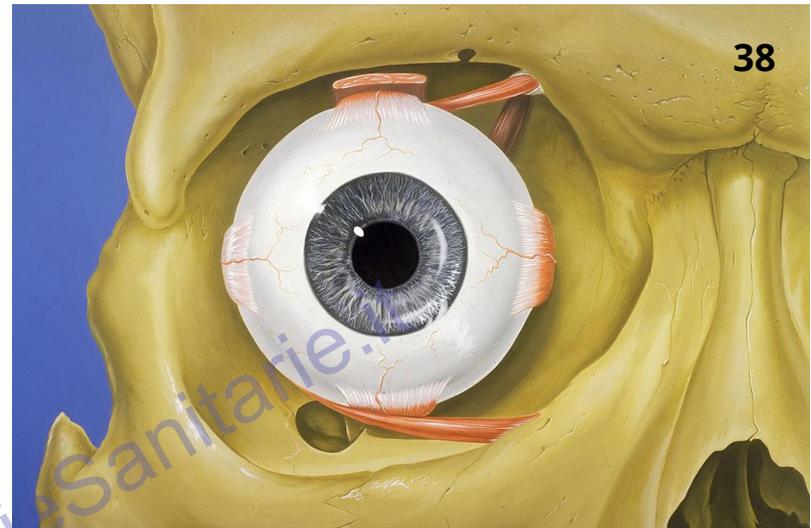
Il glaucoma è la seconda causa di cecità e riguarda l'1 - 2% della popolazione oltre i 60 anni.



## Vista: i muscoli

I movimenti volontari dell'occhio sono assicurati da **6 muscoli striati** detti anche **estrinseci** (4 retti e 2 obliqui) che sono sotto il controllo volontario.

Esistono poi muscoli regolati dal Sistema Nervoso Autonomo chiamati **intrinseci**.



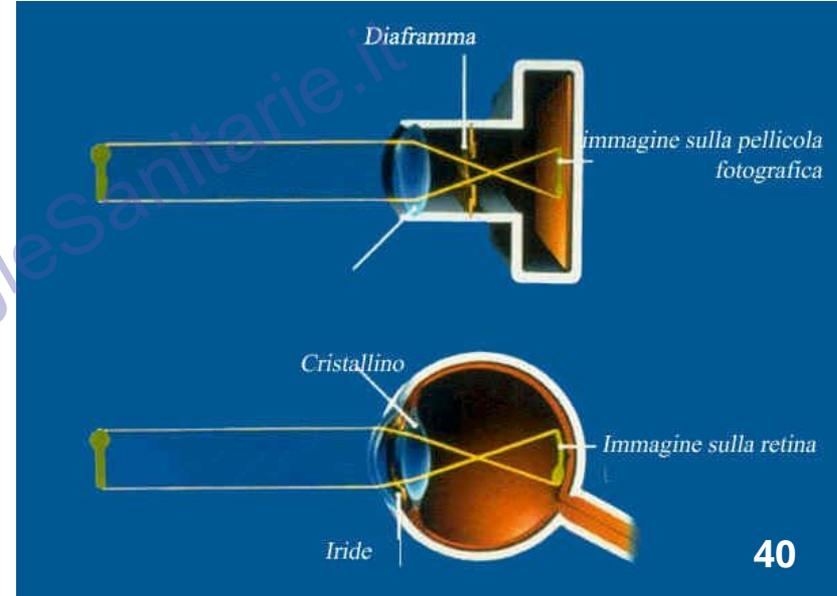
## Vista: la fisiologia

**Fisiologia.** L'occhio funziona come una macchina fotografica.

L'immagine di lato evidenzia le analogie.

Ma *la vista è sicuramente più complessa perché ciò che vediamo è elaborato dal cervello.*

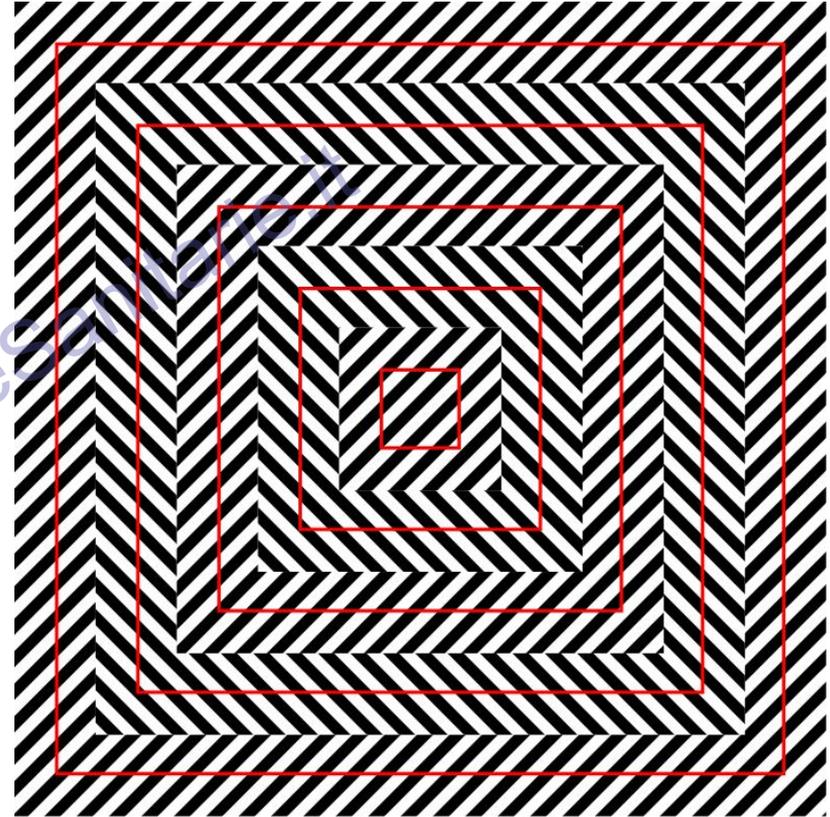
Il risultato è che siamo in grado di andare oltre contorni e colori.



## Vista: illusioni ottiche

Ne sono una prova le **illusioni ottiche**. *Il cervello costruisce immagini in base a molti fattori, sfruttando ad esempio alcuni oggetti del campo visivo per crearne altri.*

Nell'immagine di lato i quadrati rossi sembrano distorti e assumono l'aspetto di rombi.



## Vista: illusioni ottiche

Altro esempio è la stanza di Ames.

La stanza è costruita in modo che vista frontalmente appaia come una normale stanza a forma di parallelepipedo, con due pareti laterali verticali parallele, una parete di fondo, un soffitto ed un pavimento paralleli all'orizzonte. In realtà *la pianta della stanza ha forma di trapezio, le pareti sono divergenti ed il pavimento ed il soffitto sono inclinati.*



## Vista: illusioni ottiche

Per effetto di questa illusione se ci sono due persone nella stanza, una in un angolo e l'altra nell'altro, sembrano essere una molto piccola e l'altra molto grande.

Se si muovono si rimpiccioliscono o si ingrandiscono.



## Vista: illusioni ottiche

Altro esempio di illusione ottica è questa sedia. Guardate il video!



# Vista: la fisiologia

Torniamo al **funzionamento dell'occhio**.

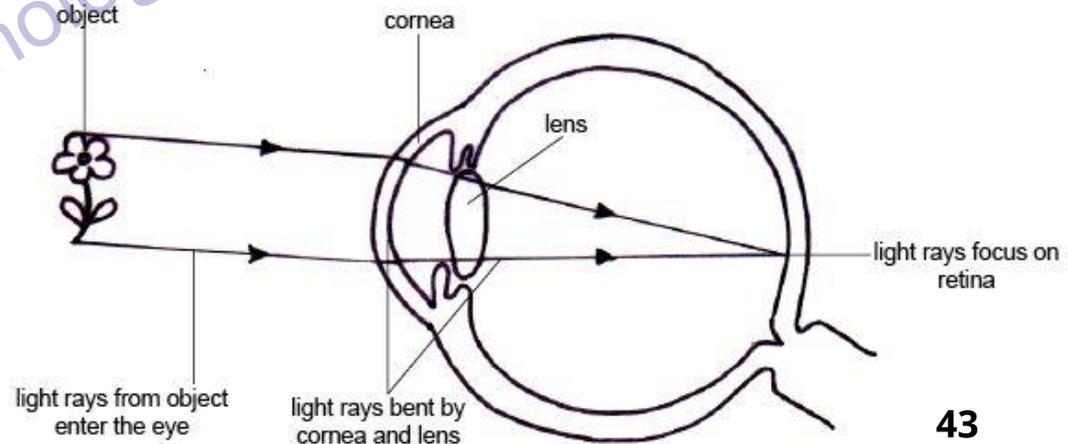
I raggi luminosi attraversano prima la **cornea** e qui subiscono una **prima deviazione** che dipende dal *diverso indice di rifrazione* con l'aria.

Poi passano attraverso l'**umore acqueo** della camera anteriore. Quindi attraverso la **pupilla** che è come il diaframma della macchina fotografica.

La pupilla è in grado di dilatarsi (midriasi) e di restringersi (miosi) a seconda

dell'intensità della luce.

Poi di nuovo l'**umore acqueo** della camera posteriore prima di essere intercettati dal **cristallino**.



## Vista: fisiologia

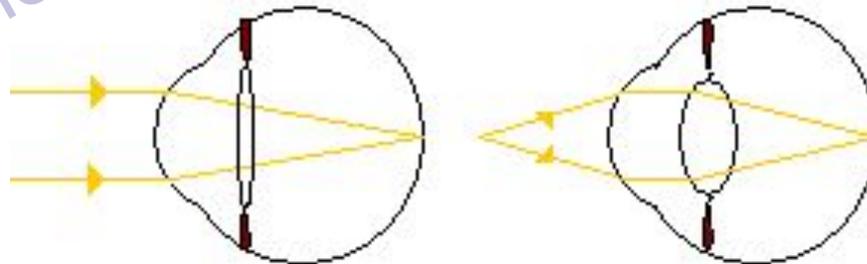
Il muscolo che sorregge il cristallino (muscolo ciliare parte del corpo ciliare) si tende o si rilassa facendo cambiare forma al cristallino stesso secondo la distanza a cui è posto l'oggetto che stiamo guardando.

Se l'oggetto è lontano il muscolo si tende, se è vicino si rilassa.

Questa capacità si chiama **accomodazione**.

Se l'oggetto è posto a più di 6 metri di distanza dall'osservatore si può considerare che i raggi luminosi riflessi siano quasi paralleli.

Messa a fuoco  
dell'immagine

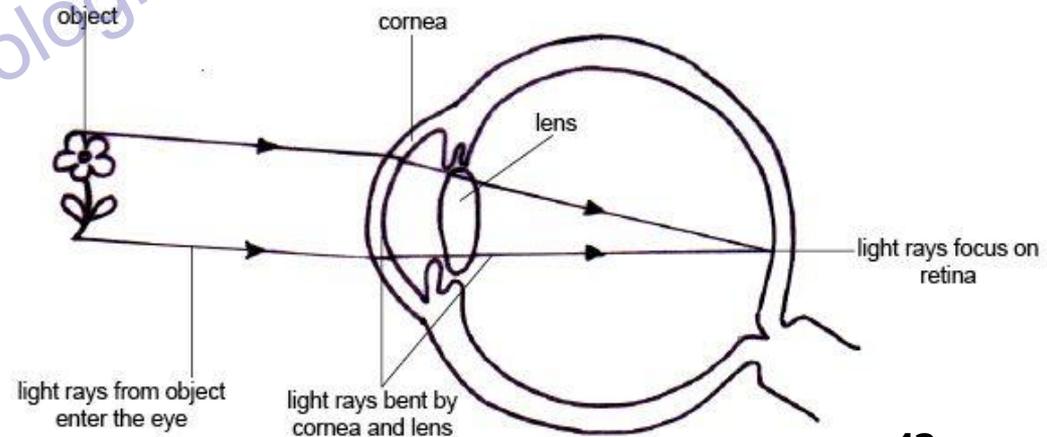


## Vista: fisiologia

A questo punto i raggi luminosi attraversano il **corpo vitreo** e arrivano focalizzati sulla **retina**.

Le immagini focalizzate sulla retina sono capovolte e invertite. Cioè ciò che noi vediamo a destra arriva sulla parte sinistra della retina e viceversa. È il cervello poi a “riordinare” tutto. Una delle cose che impara a fare piuttosto rapidamente.

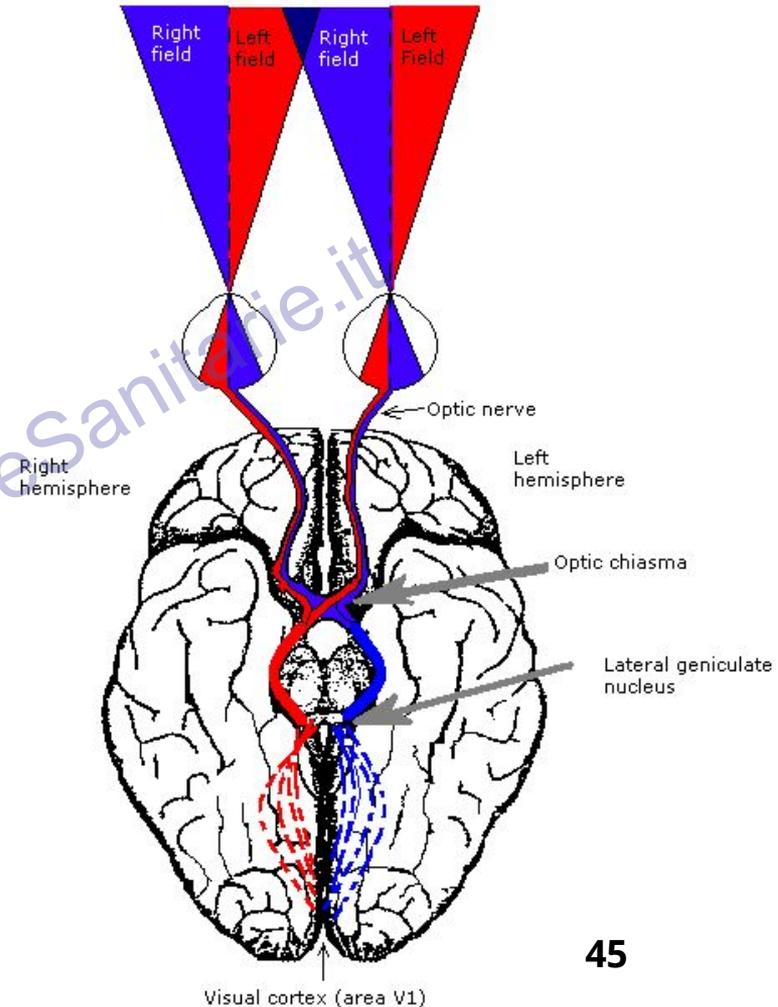
La sequenza che porta alla attivazione di coni e bastoncelli, alla trasduzione del segnale e al coinvolgimento del nervo ottico sono già state esaminate.



## Vista: binocularità e stereopsia

Nell'uomo la **visione è binoculare** o **stereoscopica**. Il che vuol dire che, dal momento che gli assi visivi non sono deviati, l'immagine osservata viene proposta contemporaneamente in entrambi gli occhi e nella stessa posizione delle retine.

La stereopsia spiega il fatto che vediamo in 3D e percepiamo la profondità.



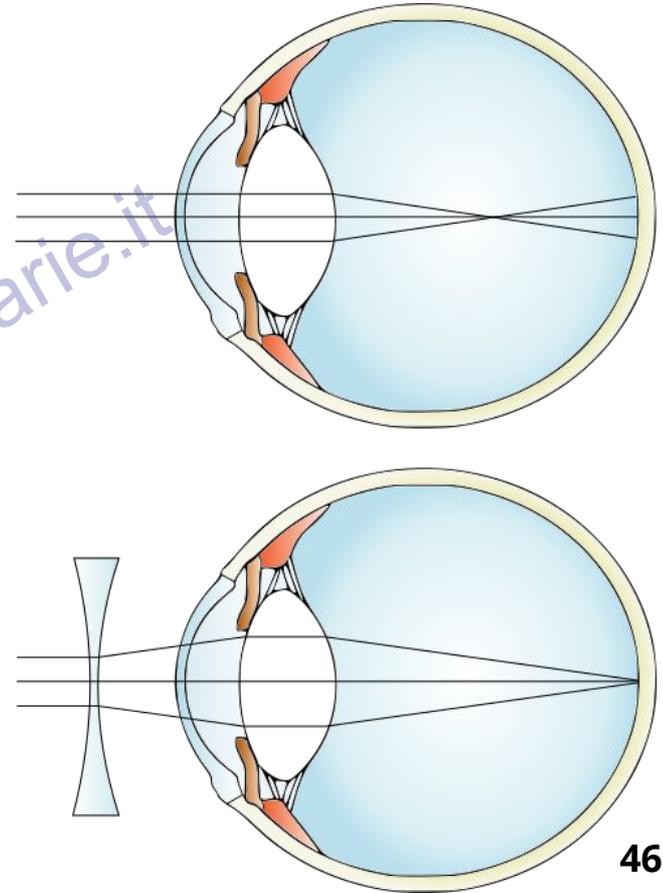
# Vista: miopia e astigmatismo

La **miopia** è legata alla posizione in cui focalizzano i raggi luminosi.

Di lato, in alto, si può vedere la posizione in cui vanno a concentrarsi i raggi luminosi. Non arrivano sulla retina. Questo fatto è legato ad una lunghezza eccessiva del globo oculare che supera la capacità di cornea e cristallino di mettere a fuoco. Quindi i miopi vedono bene gli oggetti vicini ma non quelli lontani.

In basso si noti la correzione della miopia operata con lenti adeguate.

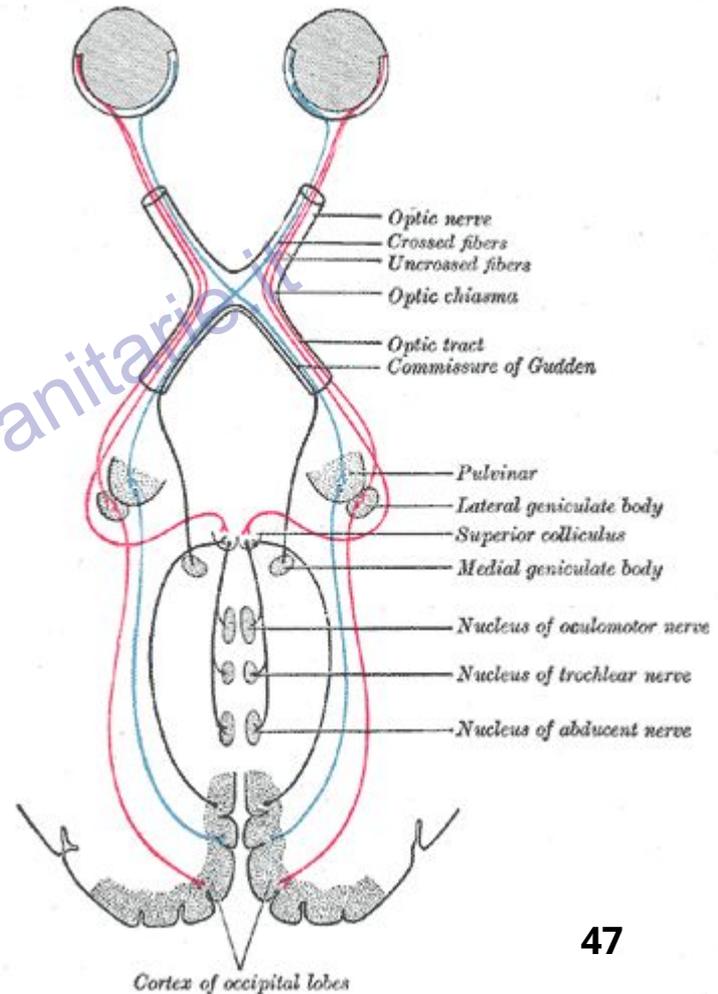
L'**astigmatismo** è correlato a curvatura irregolare di cornea e cristallino.



## Vista: la via ottica

**La via ottica.** A completamento di quanto detto fino ad ora vediamo il percorso successivo del nervo ottico.

L'immagine di lato mostra i due nervi ottici formati dagli assoni delle cellule gangliari che ad un certo punto confluiscono nel chiasma ottico dove circa la metà degli assoni di un occhio passa sul lato opposto per raggiungere poi il talamo.

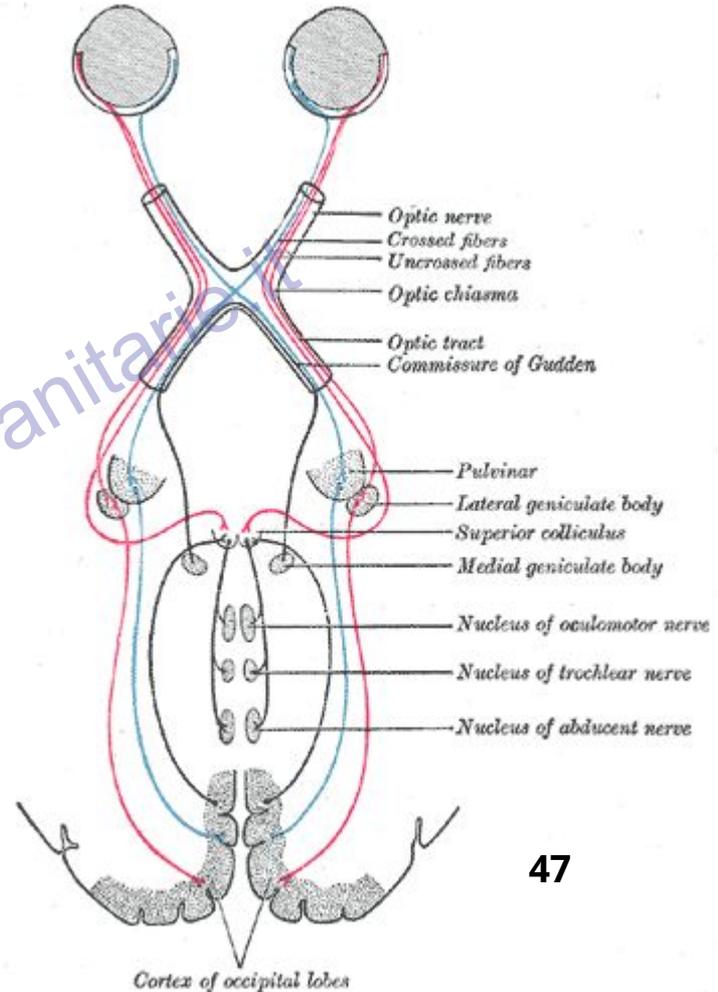


## Vista: la via ottica

Nel talamo gli assoni sinaptano con neuroni che proseguono la via ottica fino alla area visiva primaria localizzata nei lobi occipitali della corteccia cerebrale.

Quindi ... la metà destra del cervello riceve i segnali di entrambi gli occhi per elaborare l'immagine della metà sinistra dell'oggetto osservato.

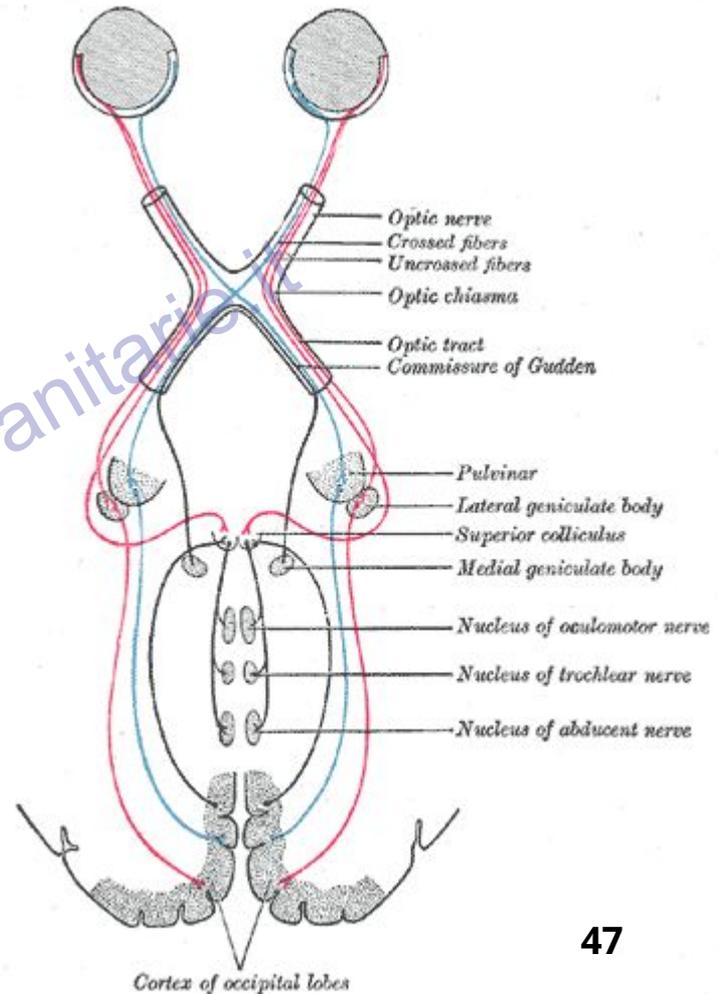
Viceversa per la metà sinistra del cervello.



47

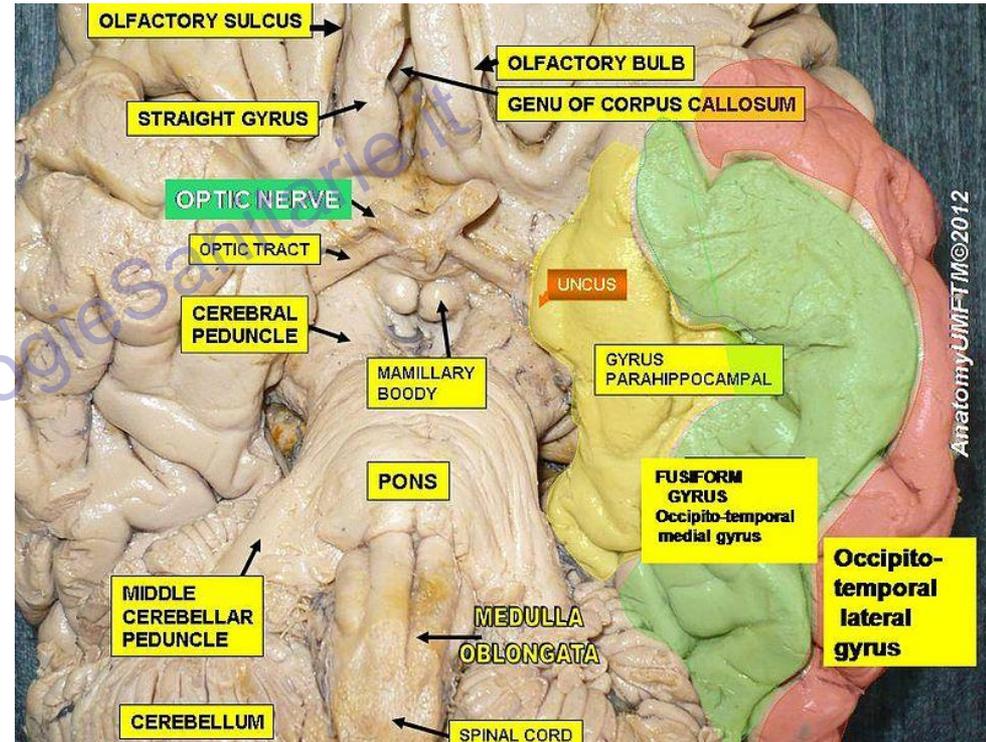
## Vista: la via ottica

Da notare nel disegno anche il percorso dei nervi oculomotore, trocleare e abducente che completano il quadro sia dal punto di vista sensitivo che motorio.



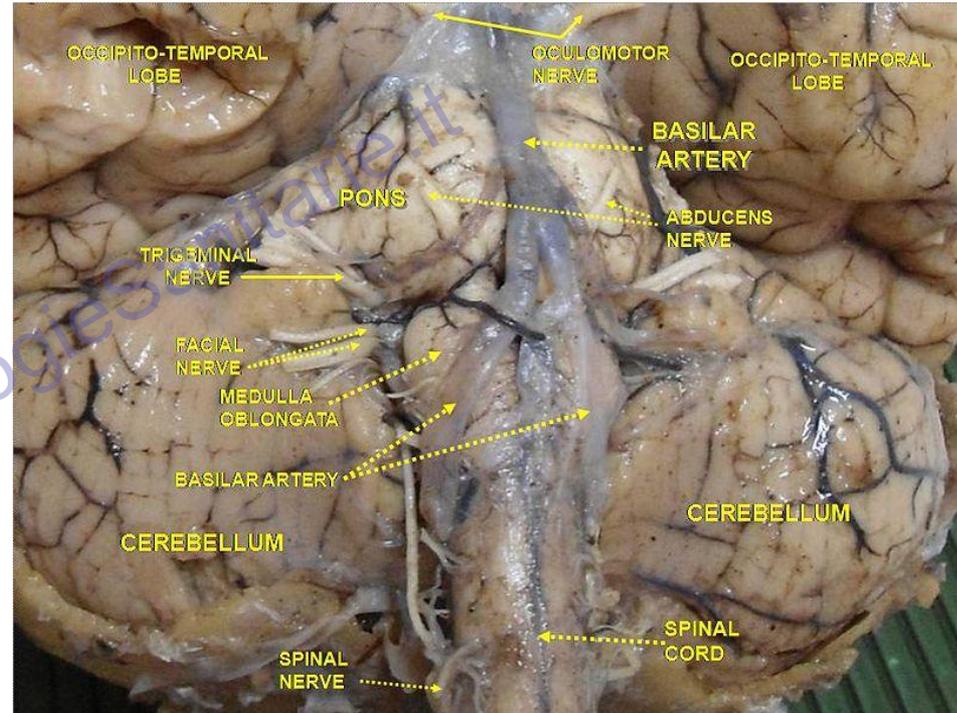
## Vista: la via ottica

Di lato si può vedere la coppia di nervi ottici che poi confluiscono nel chiasma ottico e i tratti ottici emergenti. Il tutto in relazione alla localizzazione nell'encefalo. Sono ben visibili anche i corpi mammillari del diencefalo che prendono questo nome dal loro aspetto particolare. I due corpi mammillari sono collegati ai due peduncoli cerebrali del mesencefalo.



# Vista

Ancora una dissezione da cui emergono il midollo spinale, il cervelletto, i lobi occipito-temporali, il midollo allungato, il ponte di Varolio e alcuni nervi importanti. Tra questi l'oculomotore, l'abducente, il trigemino, il facciale e un nervo spinale.



## Vista: sopracciglio

Ora una rapida carrellata sulle strutture accessorie dell'occhio.  
*Sopracciglio.*

Rilievo cutaneo coperto di corti peli che segue l'arcata sopraccigliare e separa la palpebra superiore dalla fronte. La funzione è protettiva. Impedire che sudore, pioggia ... possano disturbare la visione.



## Vista: palpebre

Le *palpebre*, superiore ed inferiore, coprono i globi oculari nel sonno, li proteggono da polvere e altri corpi estranei e dalla luce.

Distribuiscono secrezioni lubrificanti.

Internamente sono rivestite dalla congiuntiva e presentano le ghiandole lacrimali.



## Vista: congiuntiva

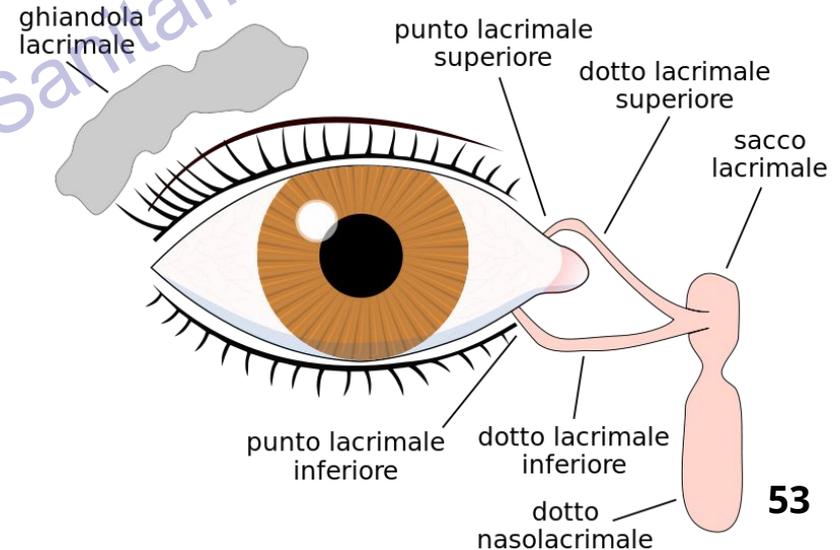
La *congiuntiva* è una membrana mucosa che riveste l'interno delle palpebre e protegge esternamente il globo oculare tranne che nella parte della cornea. Può andare incontro ad infiammazioni (congiuntivite) con produzione di essudato. È attaccata dalla *Chlamydia trachomatis* (tracoma) che fa proliferare esageratamente il tessuto sottocongiuntivale per cui la cornea viene invasa di vasi sanguigni, diventa opaca e si può arrivare alla cecità.



## Vista: ghiandole lacrimali

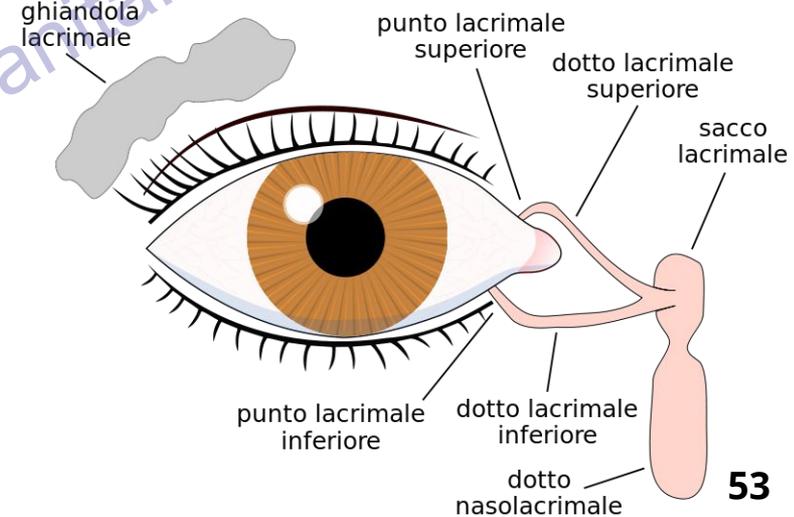
Le *ghiandole lacrimali* comprendono una ghiandola lacrimale principale (della dimensione di una mandorla) posizionata in una fossetta nell'angolo supero-laterale della palpebra superiore e una serie di ghiandole accessorie nella mucosa congiuntivale.

Producono le lacrime, cioè una soluzione acquosa con sali, un po' di muco e il lisozima che ha proprietà antibatteriche.



## Vista: ghiandole lacrimali

Le lacrime, emesse attraverso i dotti lungo il bordo delle palpebre, tengono umida la superficie del globo oculare. Ma vengono prodotte anche in seguito a contatti con sostanze irritanti o per emozioni (con il coinvolgimento del sistema parasimpatico). Quando le lacrime sono in eccesso traboccano e vengono convogliate nella cavità nasale attraverso il dotto nasolacrimale. Ecco spiegata la necessità di soffiarsi il naso quando si piange.



# Udito ed equilibrio

## Motor areas:

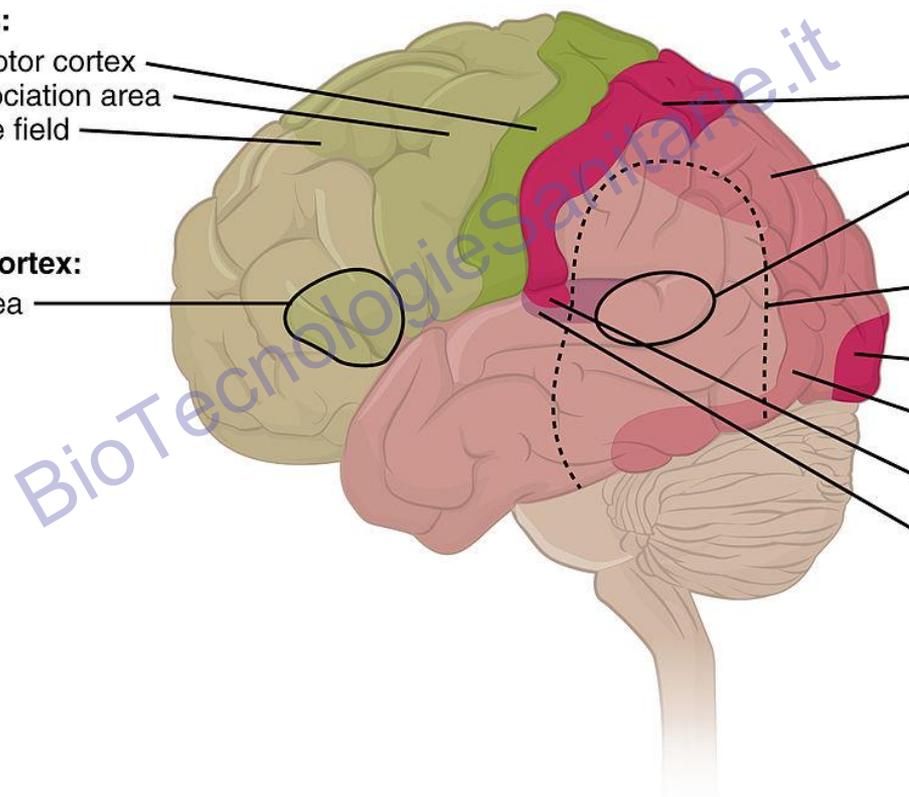
- Primary motor cortex
- Motor association area
- Frontal eye field

## Prefrontal cortex:

- Broca's area

## Sensory areas and related association areas:

- Primary somatosensory cortex
- Sensory association area
- Wernicke's area
- General interpretation area
- Primary visual cortex
- Visual association area
- Primary auditory cortex
- Auditory association area



# Udito ed equilibrio

L'**orecchio** è l'organo dell'udito e dell'equilibrio.

Permette di rilevare onde sonore comprese da 20 hertz e 20.000 hertz e di mantenere l'equilibrio attraverso il sistema vestibolare.

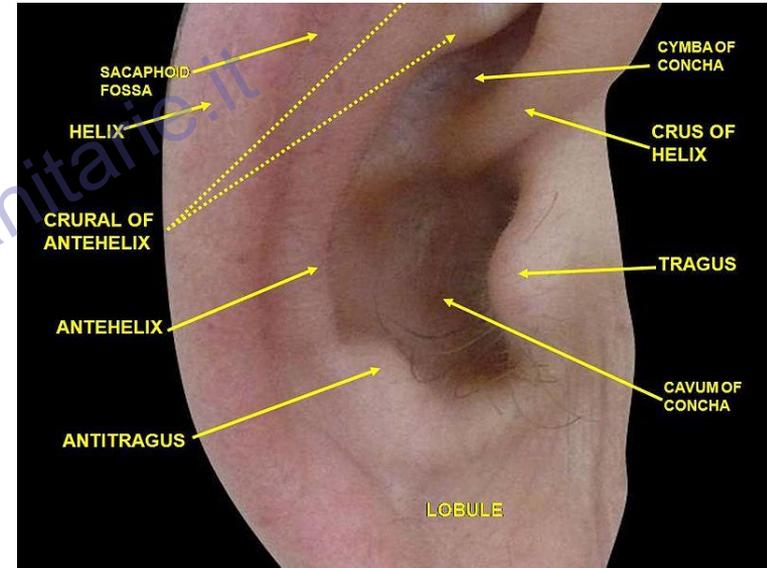
Si distingue l'orecchio esterno, medio e interno.

L'*orecchio esterno* è costituito dal padiglione auricolare e dal condotto uditivo.



# Udito ed equilibrio: orecchio esterno

**Orecchio esterno.** La foto di lato mostra il padiglione auricolare che ha una struttura cartilaginea rivestita da pelle. Il canale uditivo, di cui si intravede l'apertura, ha il compito di condurre gli stimoli sonori raccolti dal padiglione verso l'orecchio medio. È una specie di galleria cartilaginea, rivestita da peli (*tragi*) che nei maschi in qualche caso sporgono verso l'esterno. I tragi hanno il compito di impedire ad insetti o corpi estranei di arrivare all'orecchio medio.



La foto evidenzia il padiglione auricolare e in particolare i tragi che emergono verso l'esterno.

**54 a**

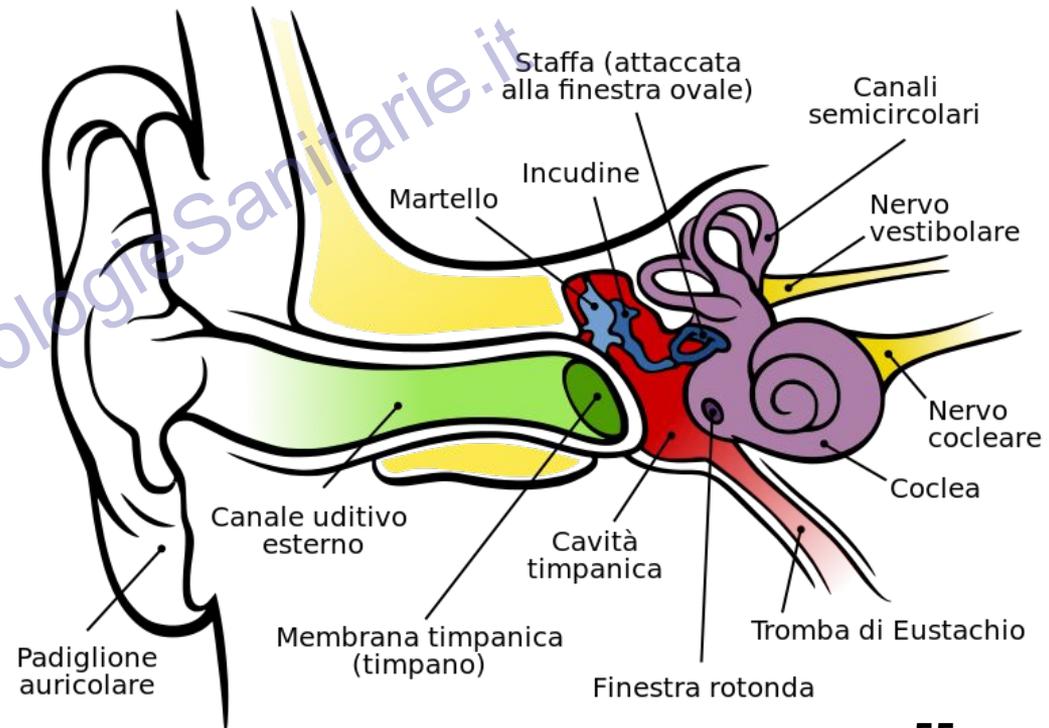
## Udito ed equilibrio: orecchio esterno

Non sono solo i tragi ad impedire l'ingresso di corpi estranei nel canale uditivo. Le pareti sono ricoperte di cerume, una sostanza lubrificante e protettiva prodotta da ghiandole ceruminose, che viene convogliata verso l'esterno dai peli che rivestono il condotto e che, abbiamo appena detto, possono sporgere dal condotto stesso. Il cerume ha anche un altro compito: rallentare la crescita microbica. Una forma di protezione contro le infezioni.



# Udito ed equilibrio: orecchio esterno

Il condotto uditivo si spinge in profondità per circa 25 mm. Non è lineare e finisce il suo percorso contro il timpano. Il timpano è la membrana che separa l'orecchio esterno da quello medio. Quindi compito dell'orecchio esterno oltre a convogliare i suoni è quello di proteggere il timpano, una membrana molto delicata.

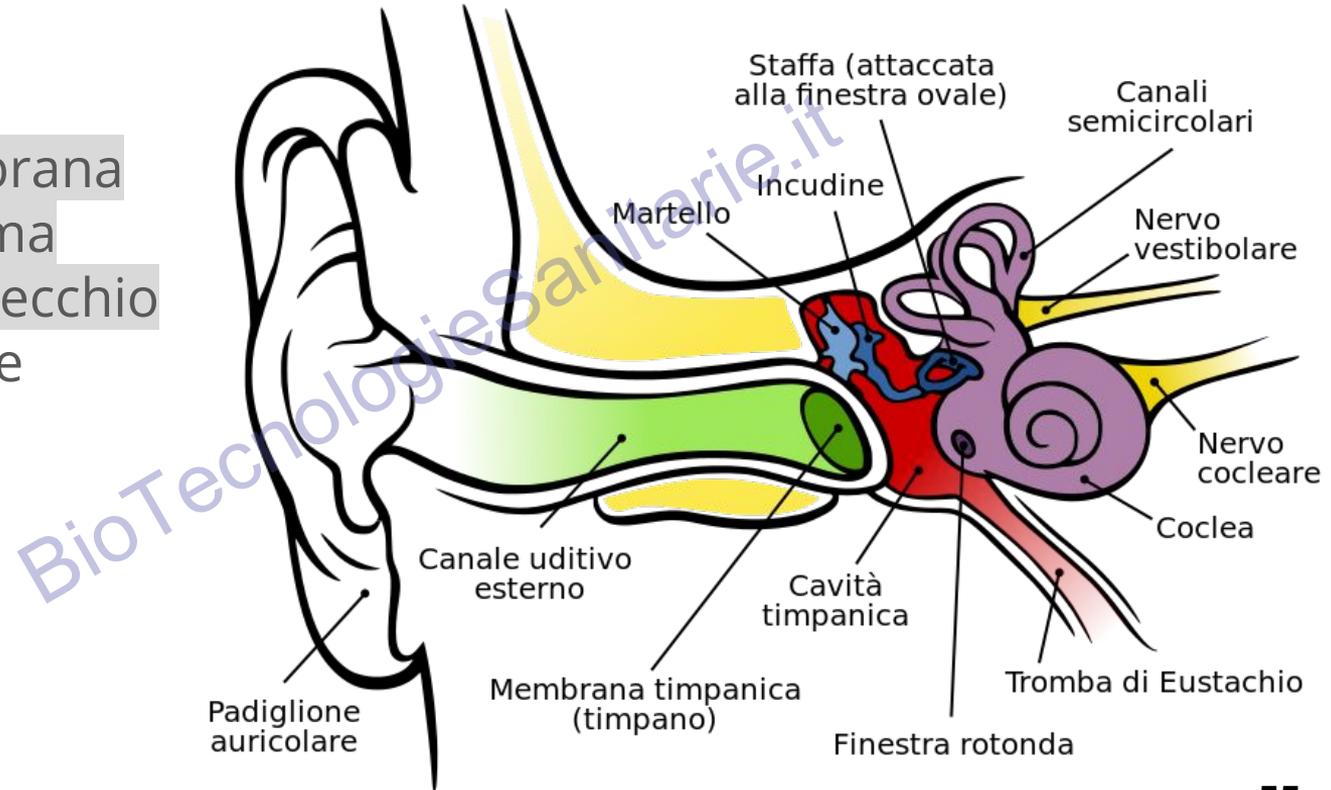


# Udito ed equilibrio: orecchio medio

## *Orecchio medio.*

Connette la membrana timpanica al sistema recettoriale dell'orecchio interno. Include tre piccoli ossicini. Nell'ordine sono:

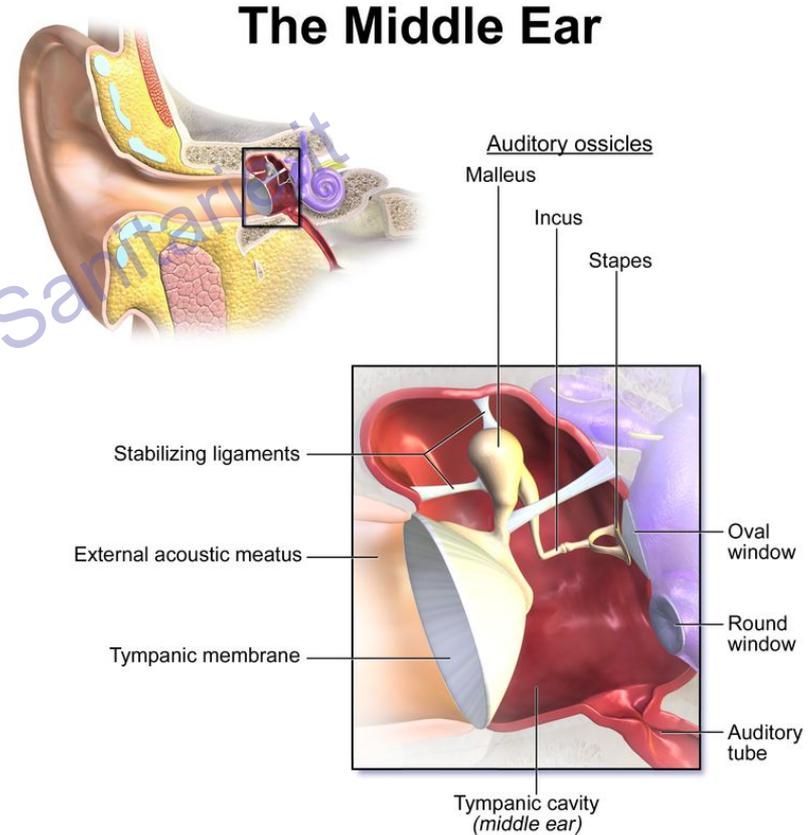
- ❖ il martello
- ❖ l'incudine
- ❖ la staffa



# Udito ed equilibrio: orecchio medio

In questa immagine si vedono maggiori dettagli della catena degli ossicini e di come sono collegati da una parte al timpano e dall'altra all'orecchio interno. Orecchio medio ed interno sono separati da una sottile struttura ossea con due aperture: la finestra ovale e la finestra rotonda.

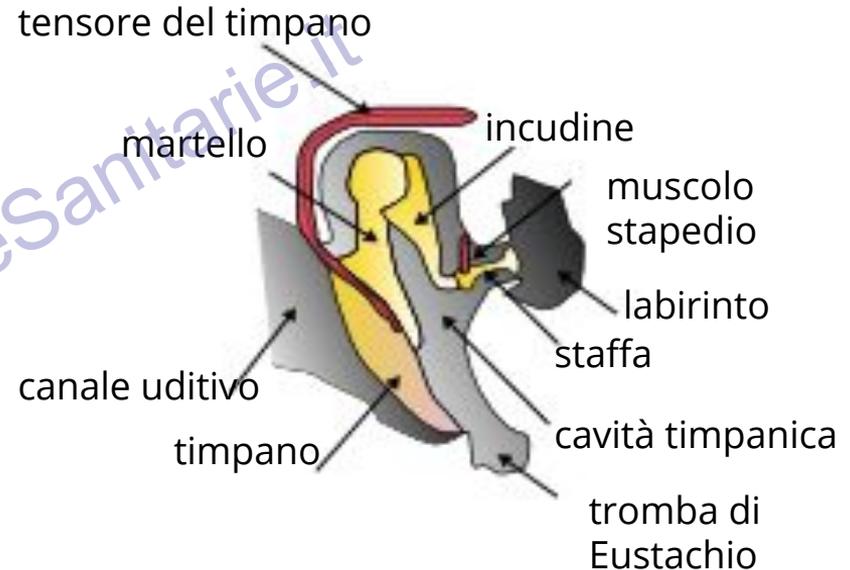
Il piede della staffa è inserito nella finestra ovale.



## Udito ed equilibrio: orecchio medio

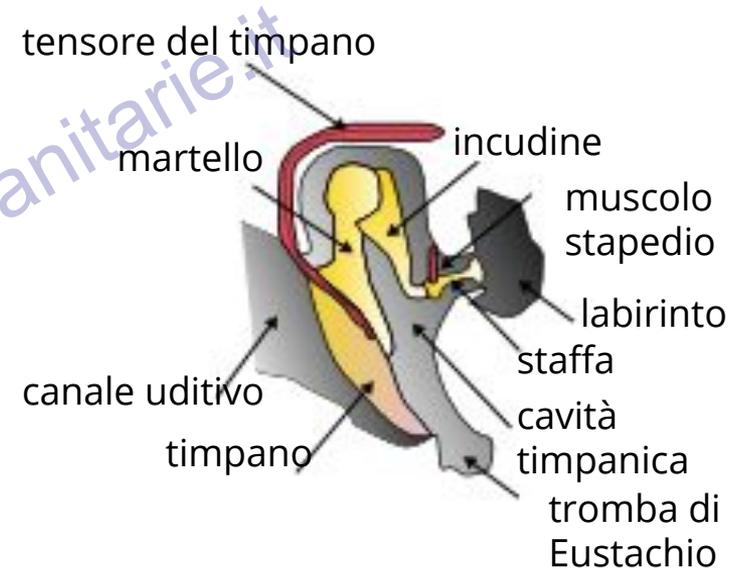
In quest'altro disegno approfondiamo di più la struttura. I tre ossicini alloggiano nella cavità del timpano.

È poi da rilevare l'apertura della tromba di Eustachio, un condotto di circa 4 cm, che mette in comunicazione l'orecchio medio con il rinofaringe.



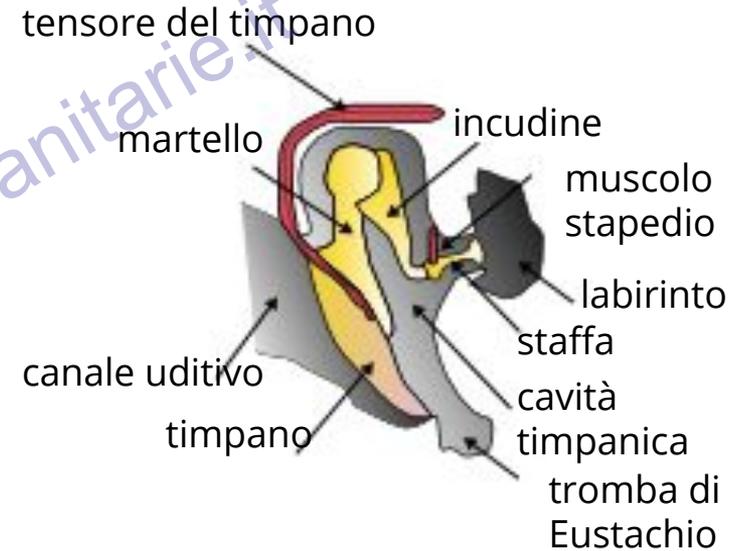
## Udito ed equilibrio: orecchio medio

La tromba di Eustachio o tuba uditiva ha un compito importante. Fa in modo che la pressione atmosferica rimanga in equilibrio con quella presente nella cavità timpanica ed evita dolorose distorsioni della membrana del timpano. Queste distorsioni si verificano quando la pressione sui due lati della membrana non è uguale.



## Udito ed equilibrio: orecchio medio

Purtroppo la presenza di questa via di comunicazione non impedisce ai microrganismi di risalire all'orecchio medio dal rinofaringe, causando quindi infezioni (**otite media**). La probabilità è alta nei bambini in cui la tromba di Eustachio è più larga che negli adulti.



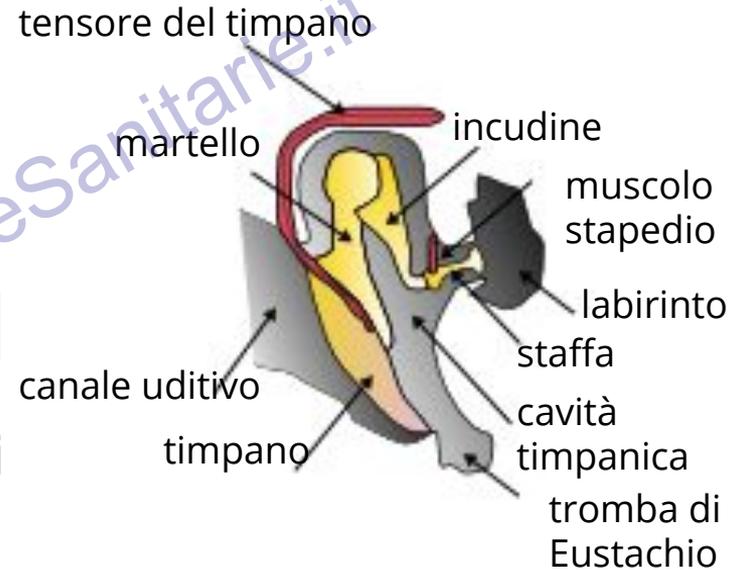
## Udito ed equilibrio: orecchio medio

Ci sono ancora due particolari da definire per completare l'argomento.

Il tensore del timpano e lo stapedio sono due muscoli che intervengono tirando il martello in caso di rumori d'eccessiva intensità.

Così diminuiscono anche le vibrazioni della staffa.

Il tutto si verifica in 200 ms.

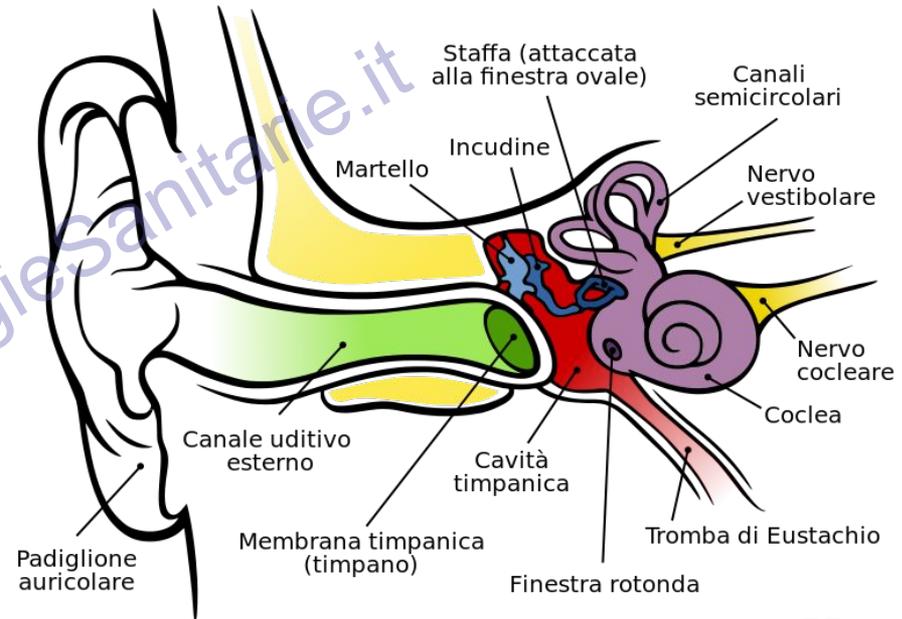


# Udito ed equilibrio: orecchio interno

## Orecchio interno

È formato dal labirinto osseo scavato nell'osso temporale e dal labirinto membranoso dove sono alloggiati i sistemi recettoriali. Il labirinto è formato dalla *coclea*, dal *vestibolo* e dai *canali semicircolari*.

La coclea è l'organo di senso dell'udito mentre i canali semicircolari e il vestibolo sono gli organi del senso dell'equilibrio.

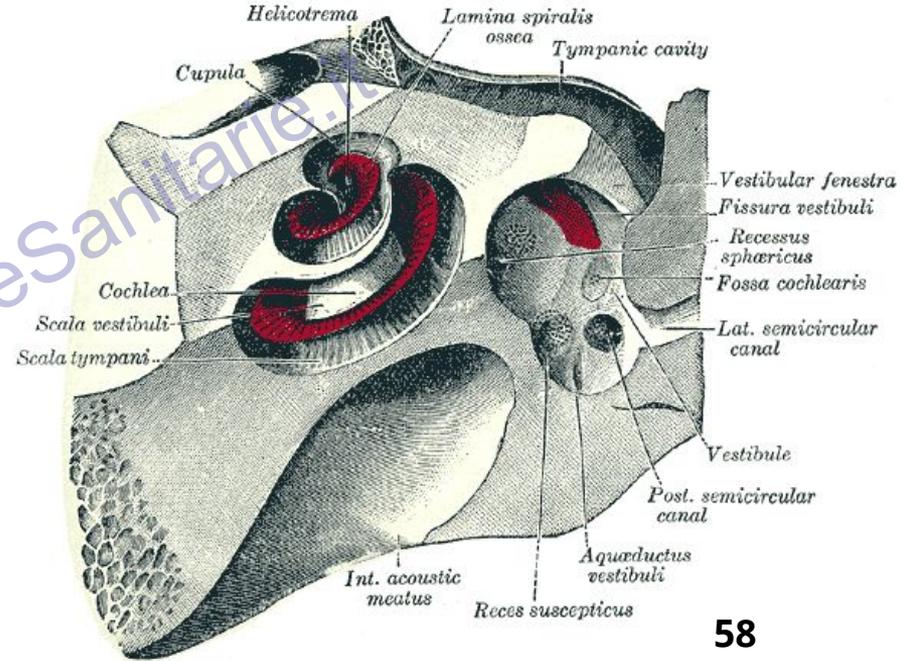


# Udito ed equilibrio: orecchio interno

Il labirinto osseo contiene la *perilinf*a che circonda il labirinto membranoso il quale ricalca la struttura ossea appena elencata. Il labirinto membranoso contiene l'*endolinfa*.

*Perilinf*a: liquido con proprietà simili al liquor.

*Endolinfa*: liquido con concentrazione di potassio alta e concentrazione di sodio bassa.

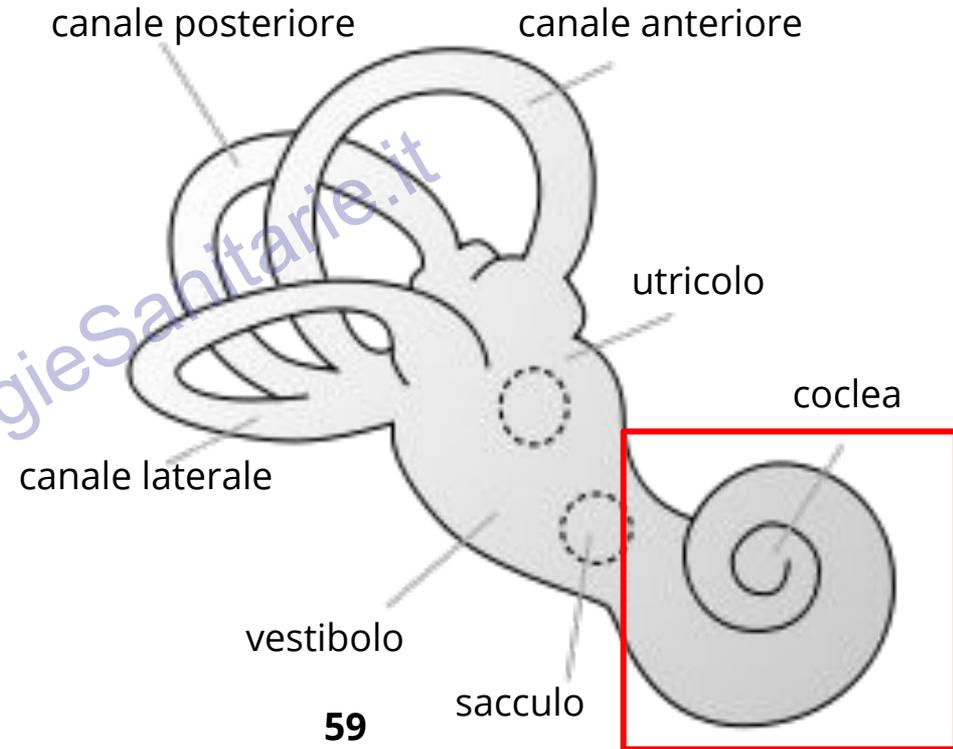


# Udito ed equilibrio: orecchio interno/coclea

*Orecchio interno.* Coclea ed organo del Corti.

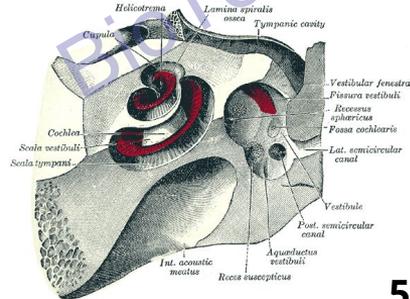
Cominciamo ad esaminare struttura e fisiologia dell'organo dell'udito o chiocciola o coclea, nel riquadro rosso.

Si tratta di una complessa struttura a spirale che contiene l'*organo del Corti*.



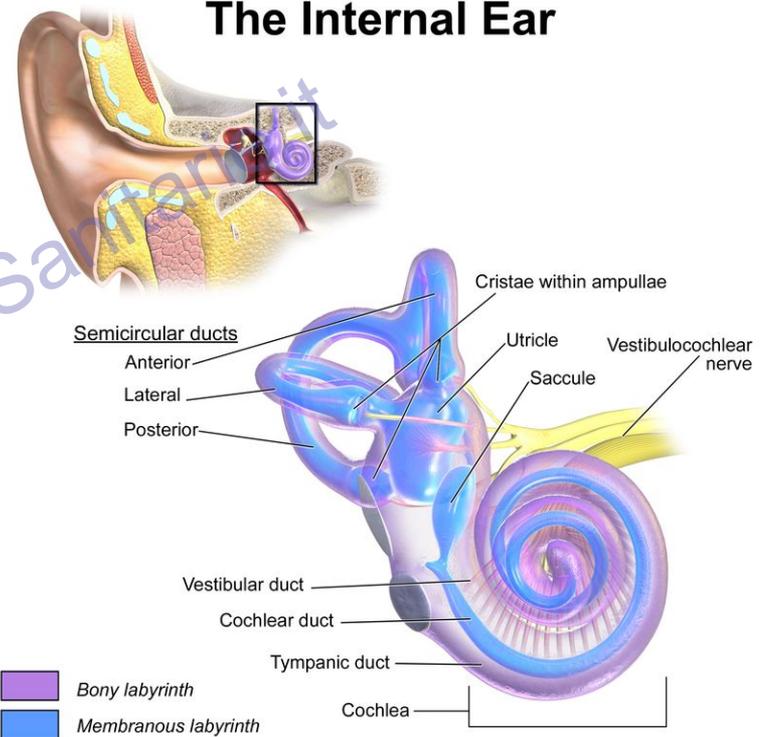
# Udito ed equilibrio: orecchio interno/coclea

La coclea è un canale osseo avvolto a spirale intorno ad un fulcro sempre osseo per 2,5 volte. All'interno del fulcro c'è il ganglio spirale che contiene i corpi cellulari dei neuroni sensitivi che si collegano ai recettori presenti nel condotto cocleare.



58

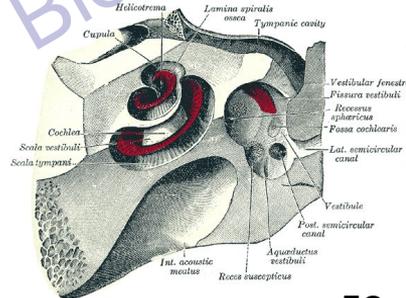
## The Internal Ear



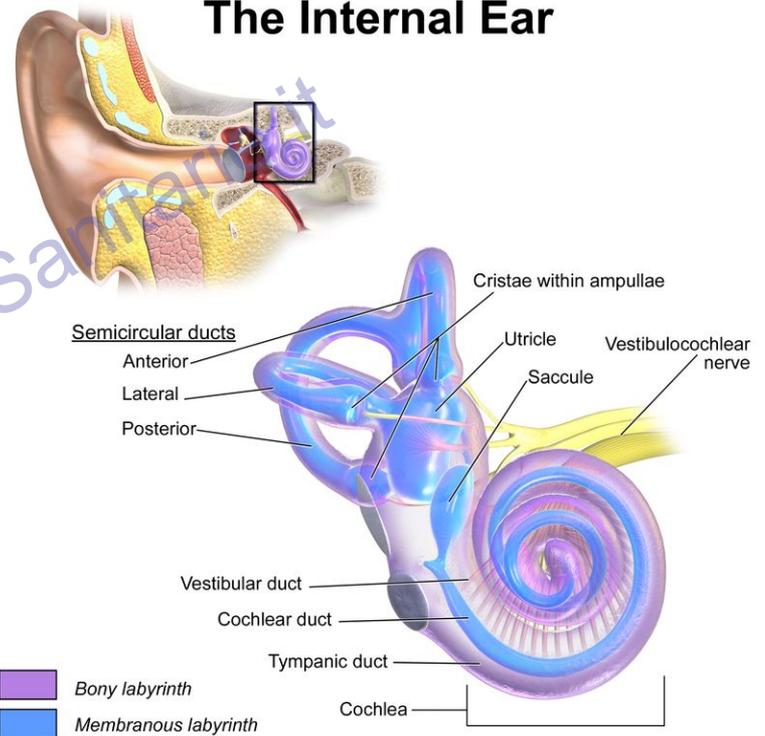
60

# Udito ed equilibrio: orecchio interno/coclea

Il condotto cocleare è la parte del labirinto membranoso che riguarda la coclea; è colorato in azzurro nel disegno a destra e in rosso nel disegno in basso. È compreso tra due camere perilinfatiche (il condotto vestibolare e il condotto timpanico).



## The Internal Ear

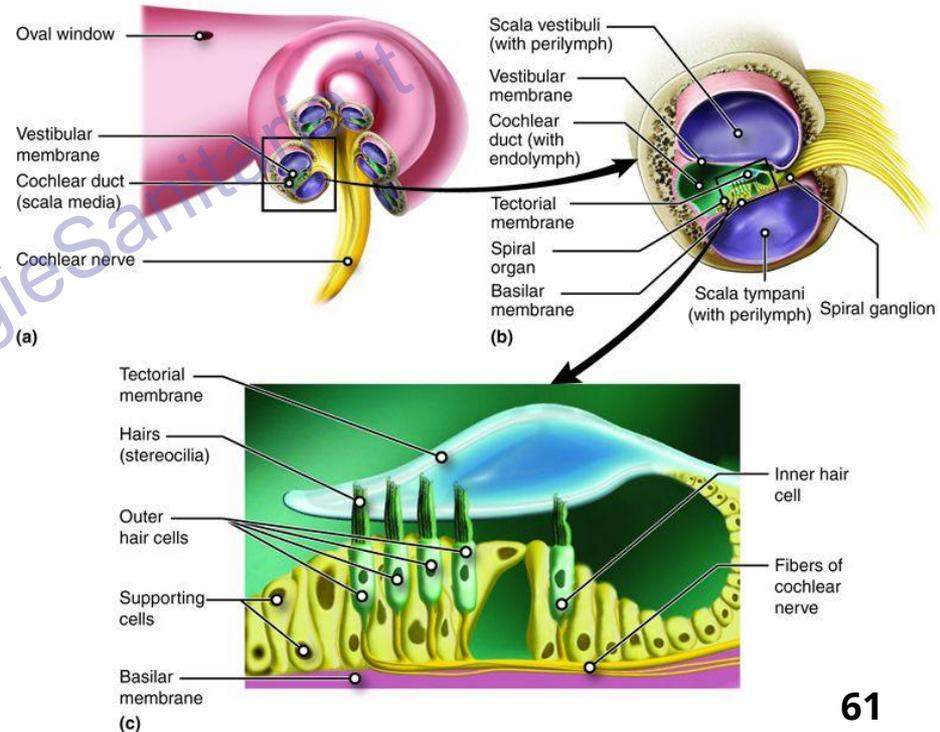


# Udito ed equilibrio: organo del Corti

L'organo del Corti prende questo nome dall'anatomista italiano Corti che nel XIX secolo eseguì importanti studi microscopici sull'orecchio ed è la parte sensitiva dell'orecchio legata all'**udito**.

La struttura dell'organo è piuttosto complessa.

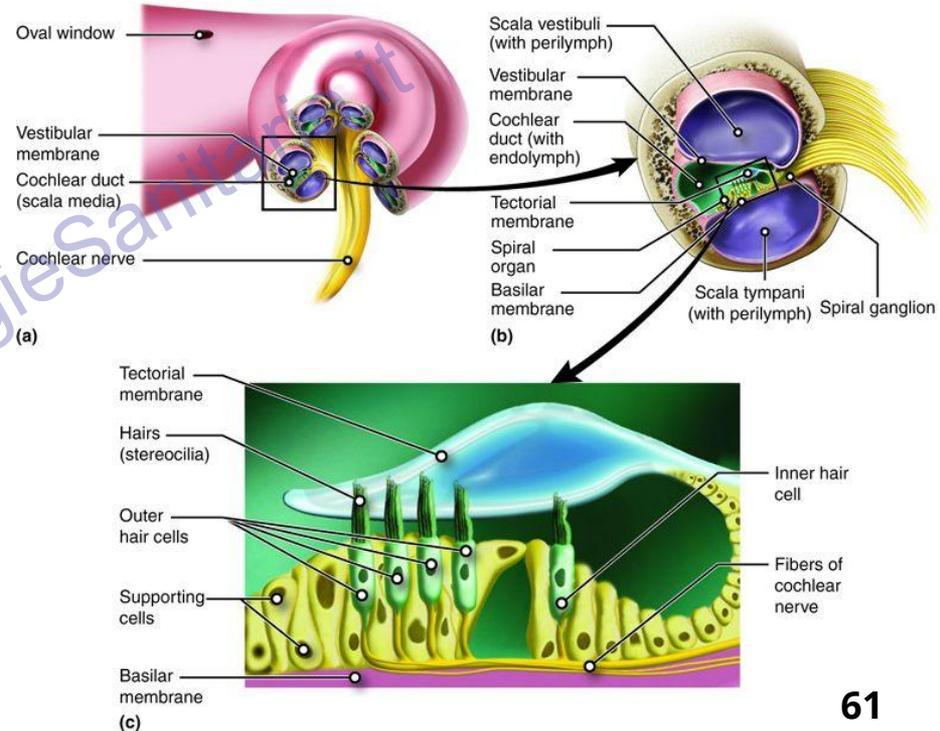
È collocato sulla membrana basilare, una membrana di tessuto connettivo che separa il condotto cocleare dal condotto timpanico.



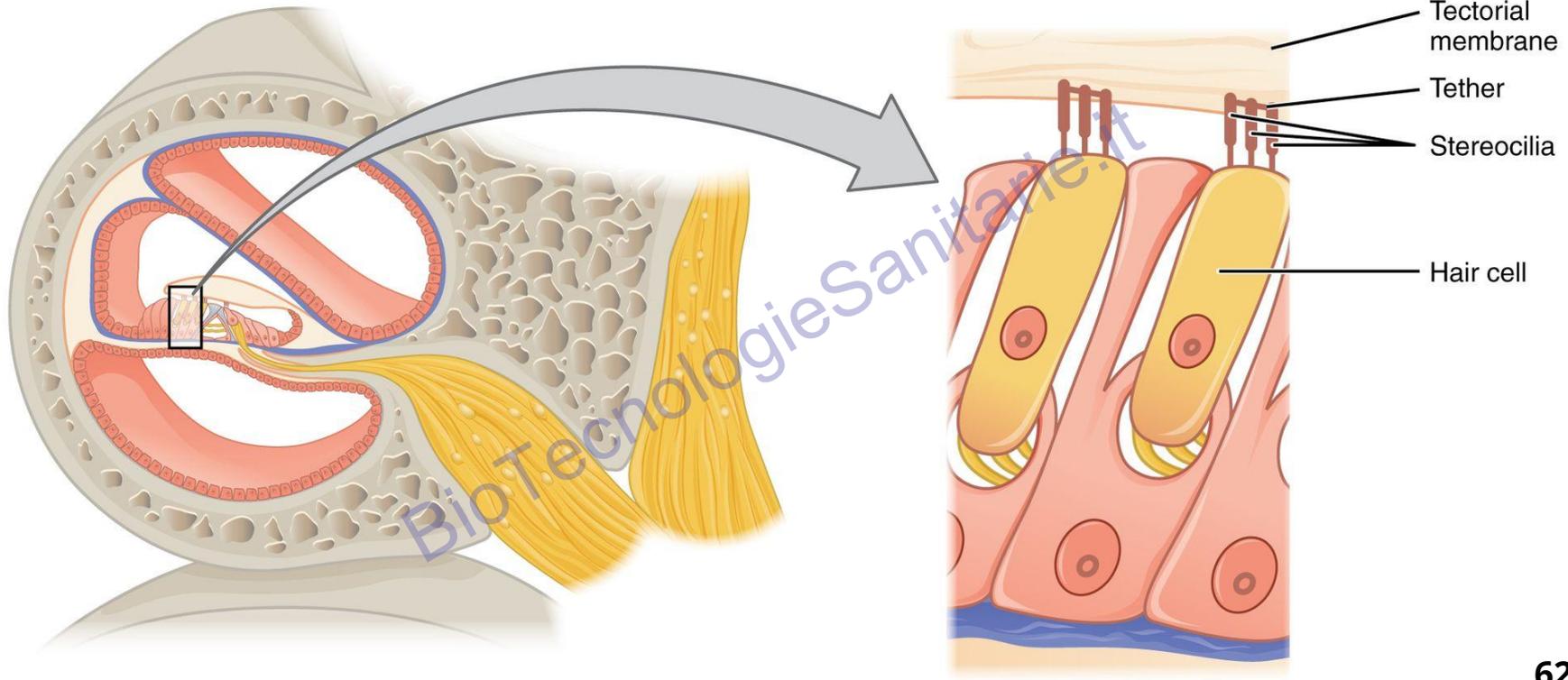
# Udito ed equilibrio: organo del Corti

Risulta formato da un doppio strato di cellule acustiche o capellute, in numero di circa 20.000, disposte in due file longitudinali interna ed esterna.

Le cellule capellute sono i meccanoettori coinvolti nell'udito e sono dotate di stereociglia. Al di sopra delle cellule si estende la membrana tectoria o tectoria, fluttuante nell'endolinfa e fortemente adesa alla parte interna del condotto cocleare.

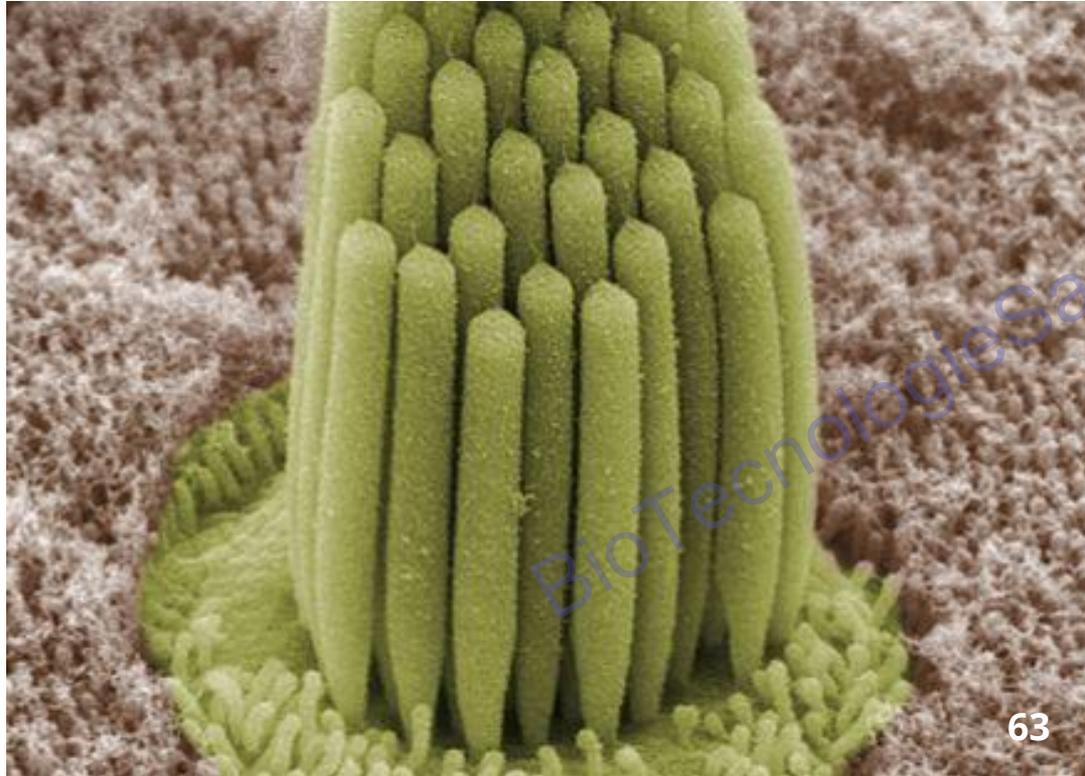


# Udito ed equilibrio: organo del Corti



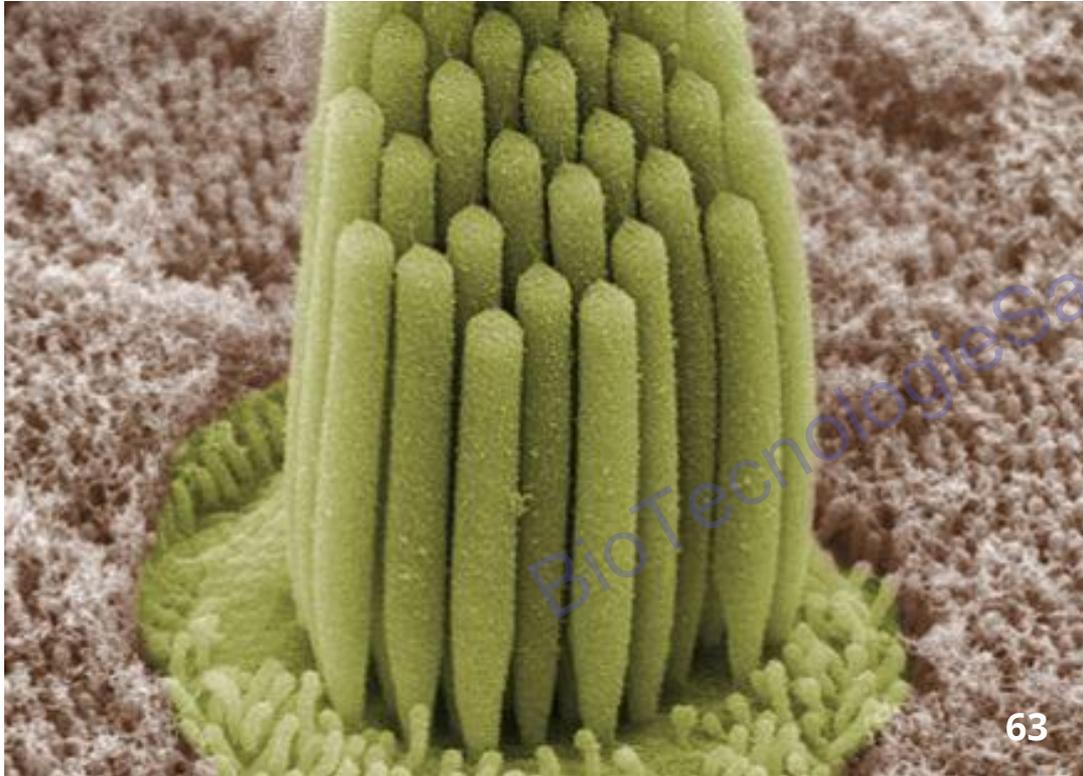
Il disegno indica una sezione trasversale del condotto cocleare e le cellule capellute dell'organo del Corti circondate da cellule di sostegno.

# Udito ed equilibrio: organo del Corti



L'immagine di lato evidenzia le stereociglia di un orecchio interno di rana. Le stereociglia sono presenti nelle cellule capellute dell'orecchio interno e sono modificazioni apicali non mobili (quindi da non confondere con le comuni ciglia).

# Udito ed equilibrio: organo del Corti

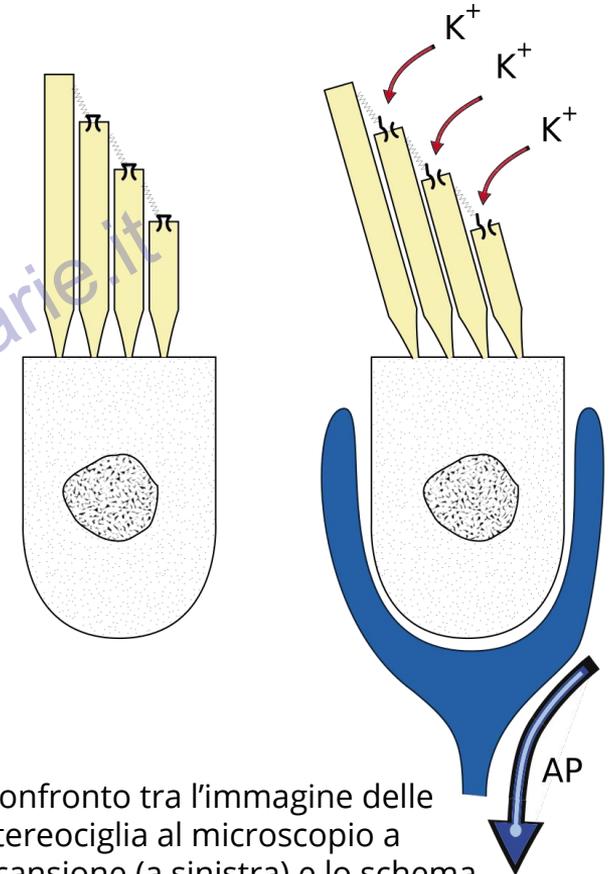


Le stereociglia sono presenti anche nei dotti deferenti e nell'epididimo nel maschio.

Sono situate al polo apicale dei meccanicettori in numero variabile da 80 a 100.

I meccanicettori sono molto sensibili alla loro distorsione.

# Udito ed equilibrio: organo del Corti

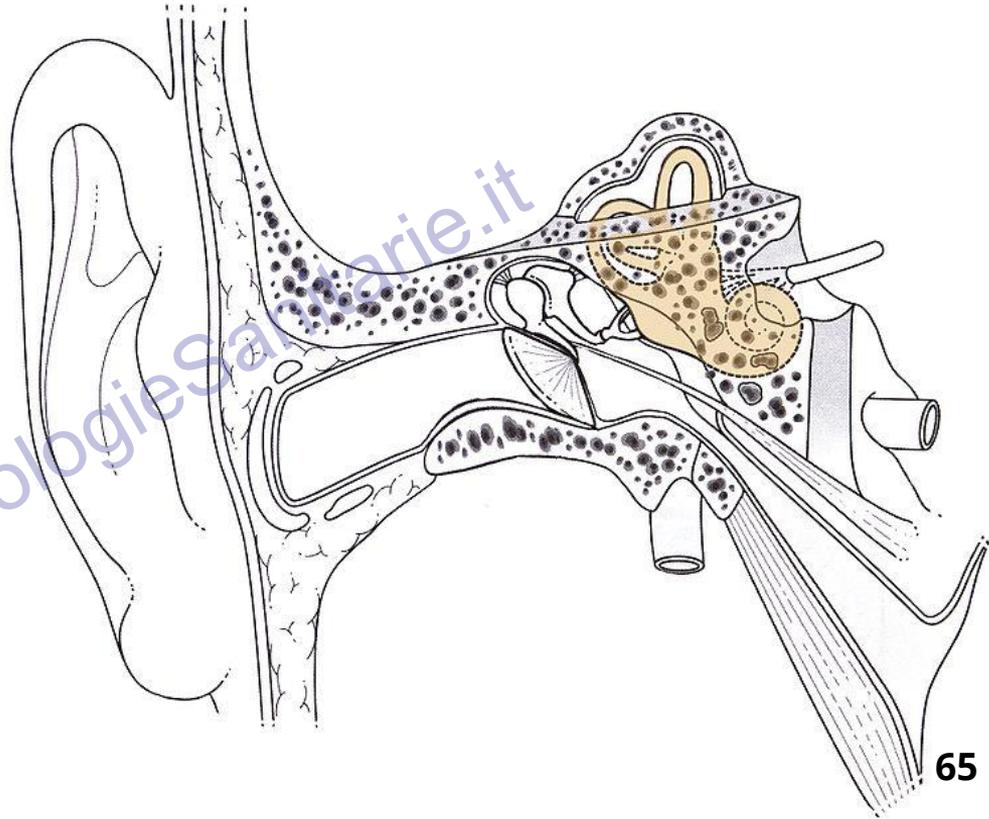


Confronto tra l'immagine delle stereociglia al microscopio a scansione (a sinistra) e lo schema di una cellula capelluta intera.

64

# Udito ed equilibrio: ricezione del suono

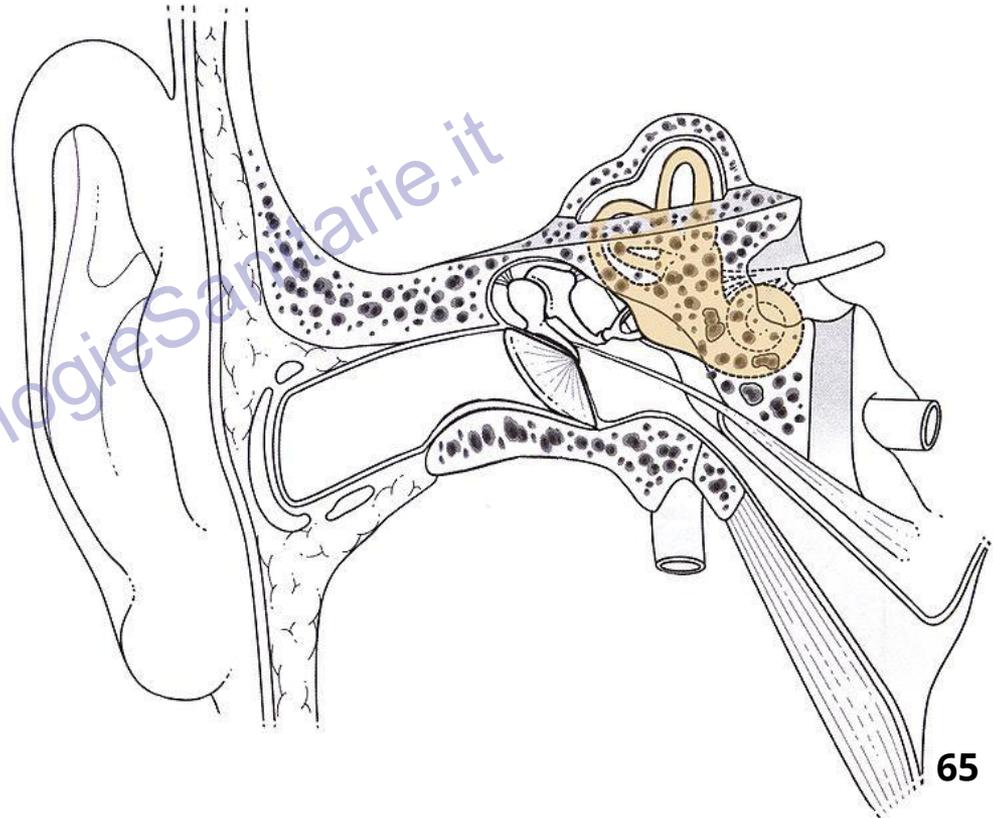
A questo punto possiamo vedere il funzionamento del sistema uditivo. Le onde sonore vengono raccolte dal padiglione auricolare e trasferite attraverso il canale uditivo fino al timpano che comincia a vibrare.



# Udito ed equilibrio: ricezione del suono

L'energia delle onde sonore viene trasformata in vibrazioni meccaniche dalla catena degli ossicini (energia cinetica).

Il piede della staffa, inserito nella finestra ovale della coclea, trasmette l'energia cinetica alla perilinfa. In pratica un'onda pressoria sulla perilinfa del condotto vestibolare.

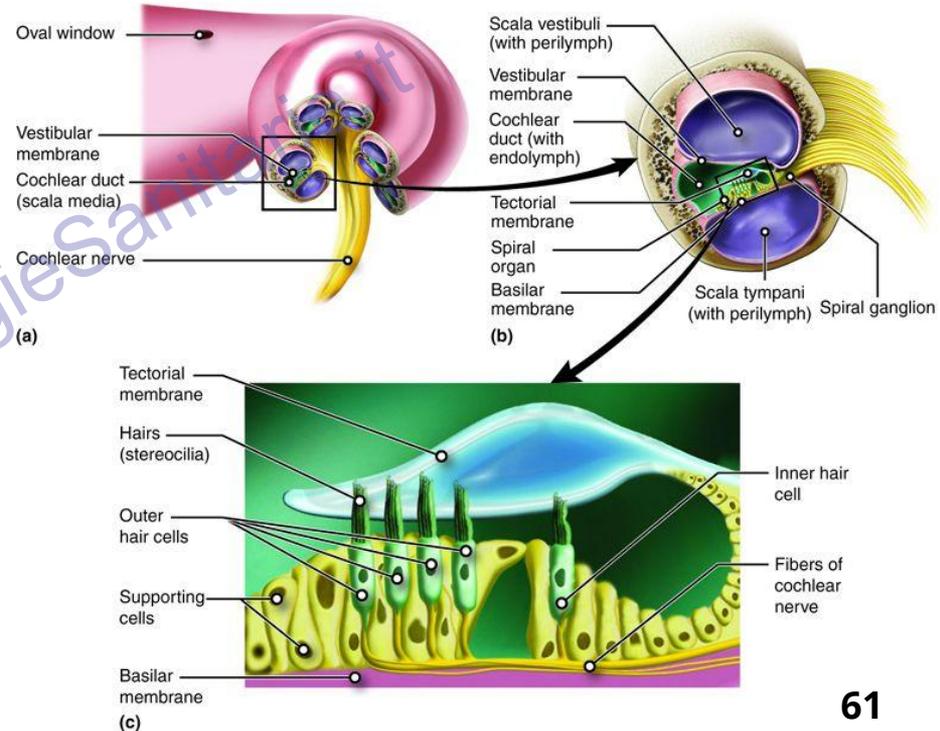


# Udito ed equilibrio: ricezione del suono

L'onda pressoria sulla perilinfa provoca la distorsione della membrana basilare che è rivolta verso il condotto cocleare.

Le vibrazioni della membrana basilare fanno schiacciare le stereociglia contro la membrana tectoria.

La distorsione delle stereociglia stimola le cellule capellute al rilascio del neurotrasmettitore.



# Udito ed equilibrio: la via acustica

Sono le cellule capillate a trasformare l'energia cinetica in energia chimica e potenziale d'azione.

Il rilascio del neurotrasmettitore fa avvenire quindi la sinapsi con i neuroni sensoriali del ramo cocleare del nervo vestibolococleare (VIII paio di nervi cranici).

I neuroni sensoriali che sinaptano con i meccanoettori dell'organo del Corti hanno il pirenoforo nel ganglio spirale presente all'interno del fulcro della coclea. Sono i loro neuroni ad iniziare a formare il ramo cocleare dell'VIII paio di nervi cranici.

## Udito ed equilibrio: la via acustica

La via acustica consta di 4 neuroni.

Infatti il nervo raggiunge l'area uditiva nel lobo temporale passando attraverso il midollo allungato, il mesencefalo e il talamo. Vengono coinvolti diversi nuclei del tronco encefalico. Molti assoni della via uditiva incrociano e passano sul lato opposto.

Per questo motivo l'area uditiva della corteccia riceve impulsi da entrambe le orecchie.

## Udito ed equilibrio: ricezione del suono

Per completare l'argomento vale la pena specificare la ricezione del suono in base alla frequenza.

La membrana basilare ha rigidità, massa e spessore diversi dalla base della coclea al suo apice e questo si riflette sulla capacità di captare frequenze diverse.

Le zone della membrana basilare vicine alla base della coclea vengono stimulate da suoni ad alta frequenza.

Se la frequenza è bassa sono invece le zone della membrana basilare più distanti dalla base della coclea ad essere stimulate.

## Udito ed equilibrio: ricezione del suono

Il volume dei suoni, cioè la loro intensità, dipende dall'entità della distorsione e quindi dalla forza applicata dalla staffa sulla finestra ovale.

Alcune patologie dell'udito e in particolare la sordità sono correlate a suoni di altissima intensità nonostante gli interventi dei muscoli citati nella cavità timpanica (tensore del timpano e stapedio).

# Udito ed equilibrio: sordità

La perdita dell'udito può avere diverse cause.

Ci può essere una sordità di conduzione o nervosa.

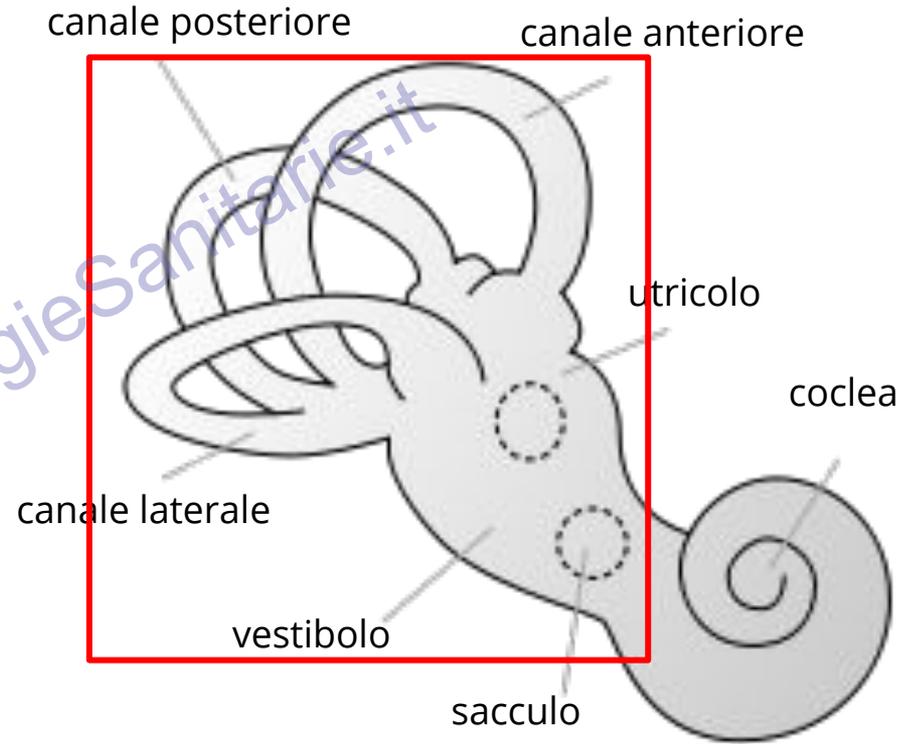
La **sordità di conduzione** è legata a problemi a livello dell'orecchio esterno. Tappi di cerume, infezioni o il timpano perforato interferiscono con il trasferimento delle onde sonore e poi con le vibrazioni del timpano e quindi della catena degli ossicini.

La **sordità nervosa** è invece molto diversa ed è legata ad anomalie della coclea o lungo la via uditiva. Una delle cause più frequenti è l'esposizione continuata a suoni troppo forti che può provocare la rottura delle stereociglia. Tra gli effetti collaterali di alcuni antibiotici va ricordata la sordità per danni alle cellule capellute. Ma anche le infezioni in gravidanza di alcuni agenti TORCH hanno come conseguenza la sordità.

# Udito ed equilibrio: organo dell'equilibrio

Orecchio interno. Organo dell'equilibrio o sistema vestibolare, nel riquadro rosso.

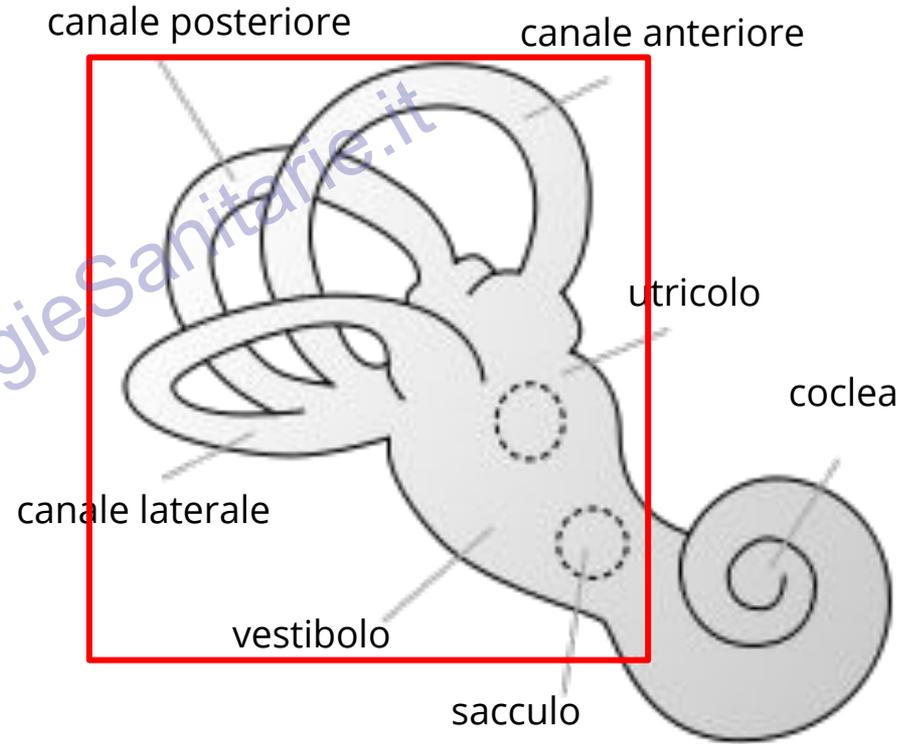
Il sistema vestibolare è formato da 2 *organi otolitici* (sacculo e utricolo) e 3 *canali semicircolari*



# Udito ed equilibrio: organo dell'equilibrio

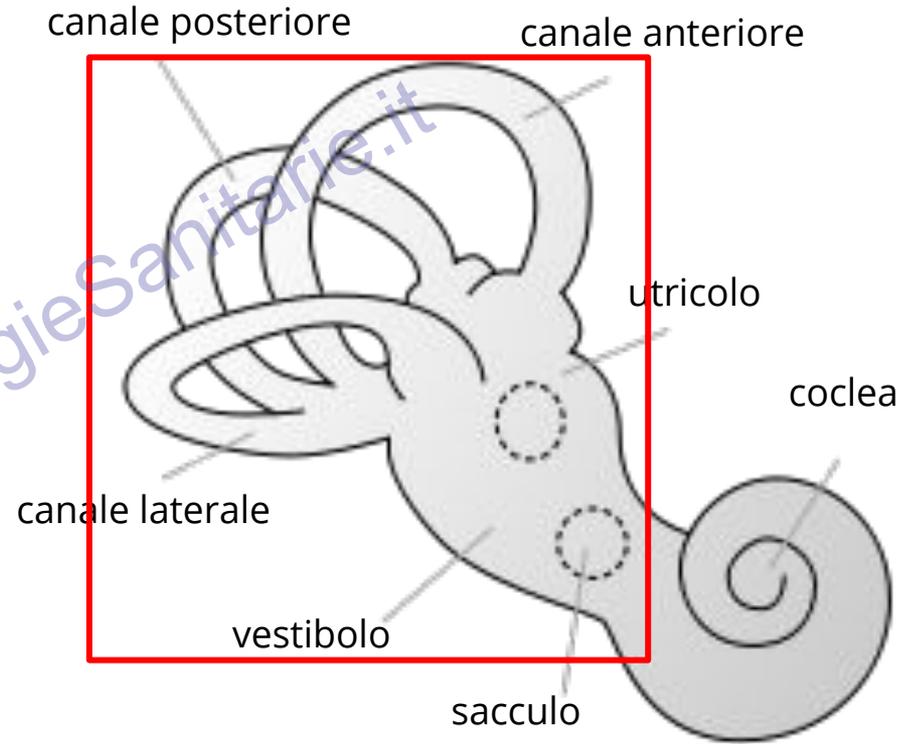
Questo organo rileva le rotazioni, la gravità e le accelerazioni.

Le rotazioni vengono percepite dai canali semicircolari, mentre gravità ed accelerazioni dai due organi otolitici del vestibolo.



## Udito ed equilibrio: organo dell'equilibrio

Si potrebbe anche parlare di *equilibrio statico* che riguarda il mantenimento della posizione rispetto alla forza di gravità. Invece l'*equilibrio dinamico* riguarda il mantenimento della posizione quando si fanno movimenti improvvisi.



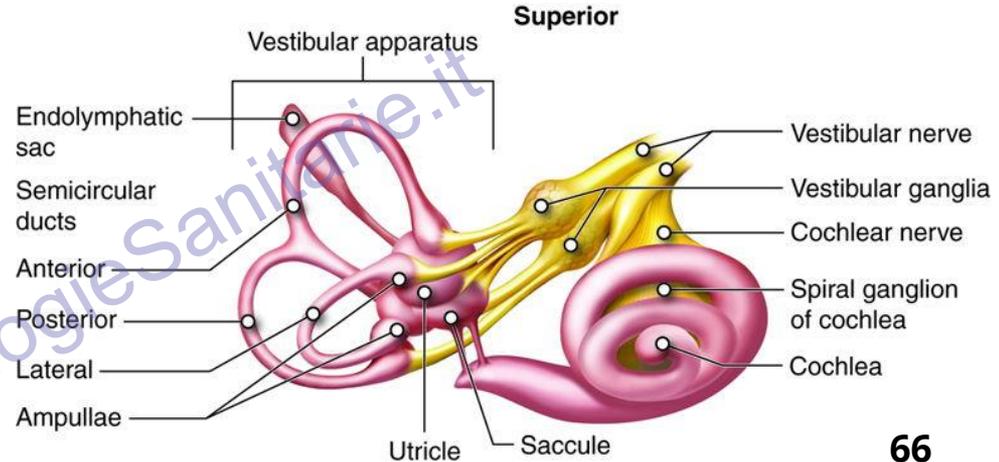
# Udito ed equilibrio: orecchio interno/vestibolo

## *Orecchio interno.* Vestibolo

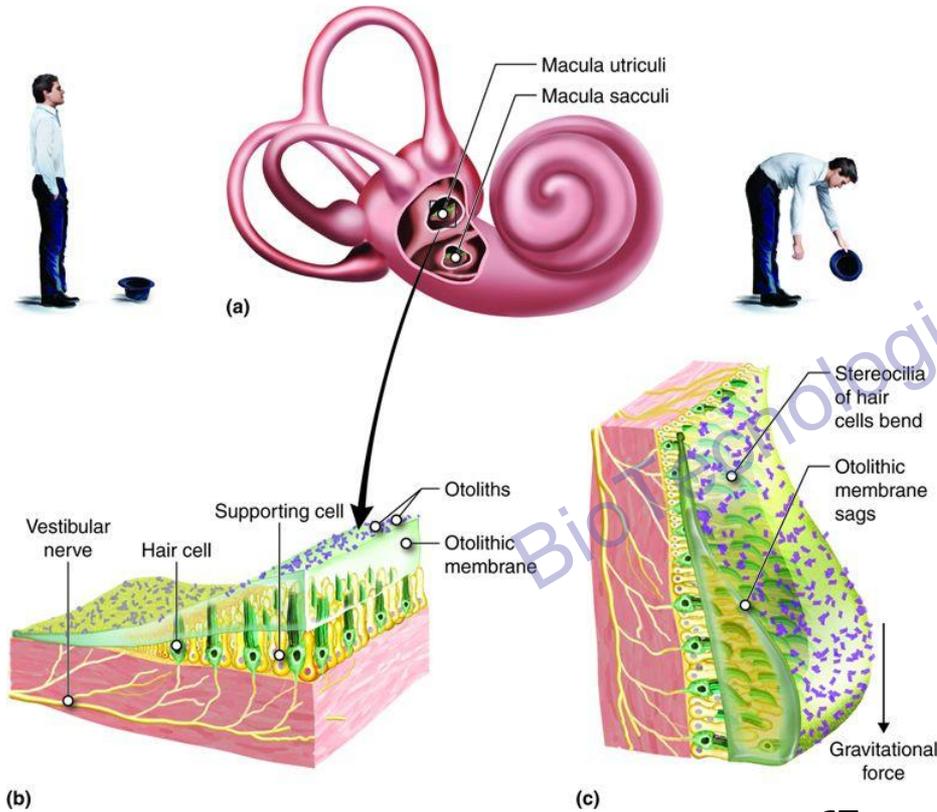
Cominciamo ad esaminare il vestibolo che rileva gravità ed accelerazioni lineari.

È formato da due sacche membranose: **utrículo** e **sacculo**. Le due sacche sono unite da un sottilissimo

condotto (condotto endolinfatico) che termina in un sacco a fondo cieco (sacco endolinfatico). Il sacco endolinfatico a sua volta comunica con lo spazio subdurale, al di sotto della dura madre. È questa la via attraverso cui l'endolinfa sempre prodotta dal dotto cocleare viene riassorbita.



# Udito ed equilibrio: orecchio interno/vestibolo

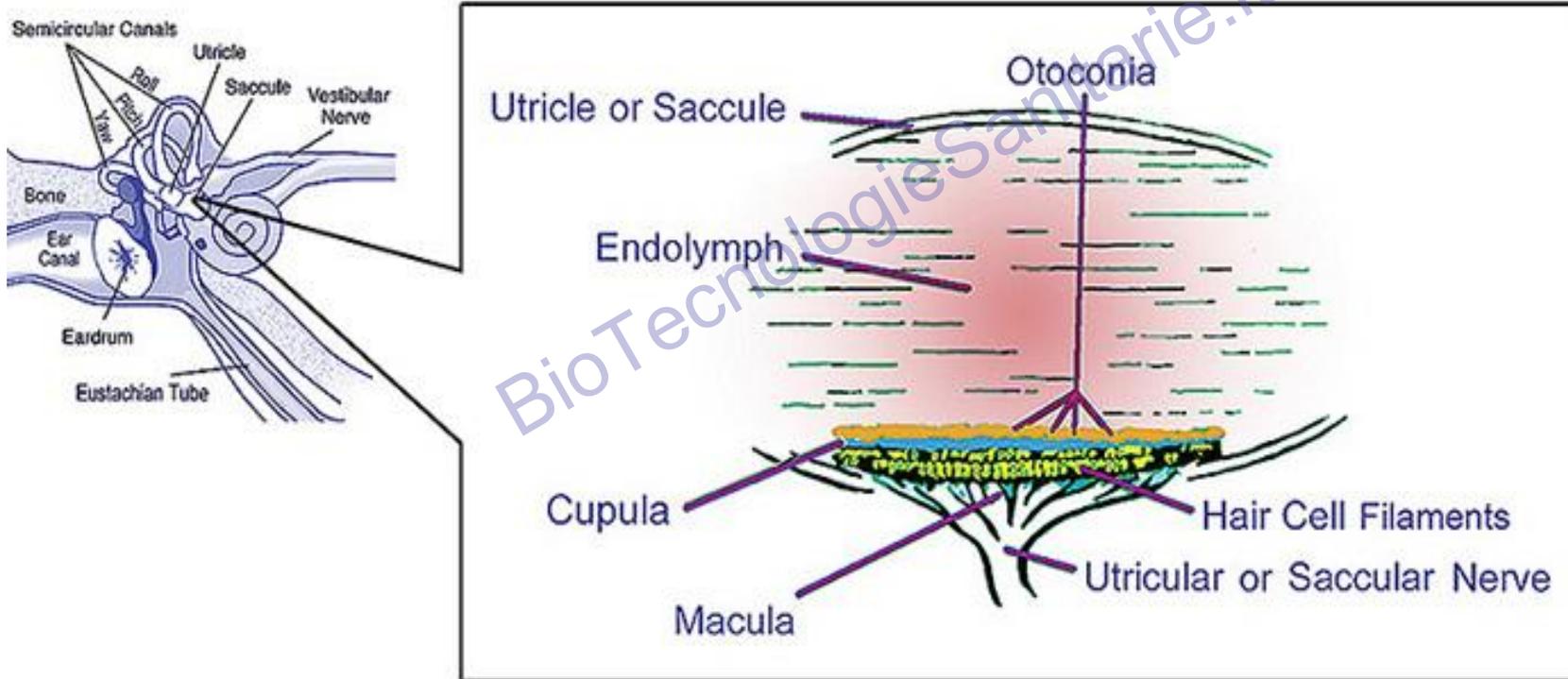


Le cellule capellute sono riunite in particolari strutture ovali dette **macule**. La macula dell'utricolo rileva i movimenti orizzontali mentre la macula del sacculo quelli verticali.

Le stereociglia delle cellule capellute sono immerse in una matrice gelatinosa che contiene cristalli di carbonato di calcio (**otoliti**) molto fitti. Insieme, matrice gelatinosa e otoliti, formano la **membrana otolitica**.

# Udito ed equilibrio: orecchio interno/vestibolo

Le cellule capillate sono continuamente coinvolte nel rilevare la posizione della testa.

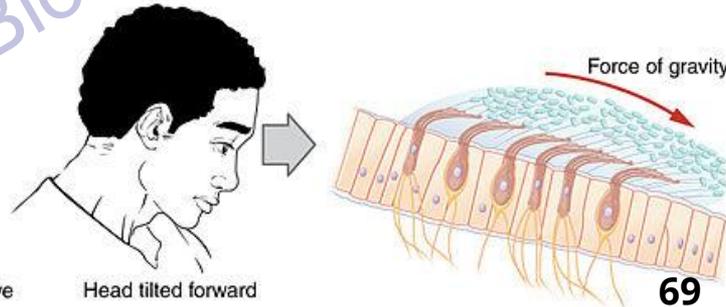
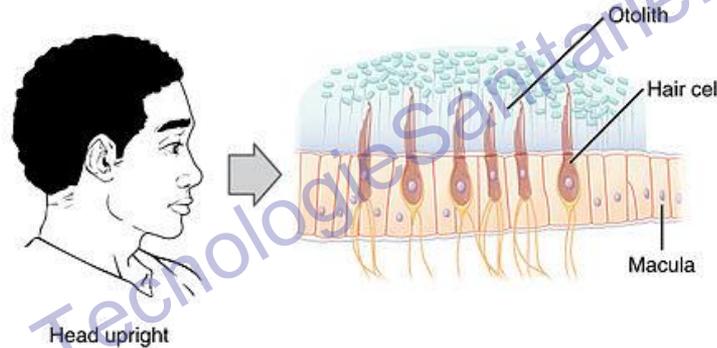
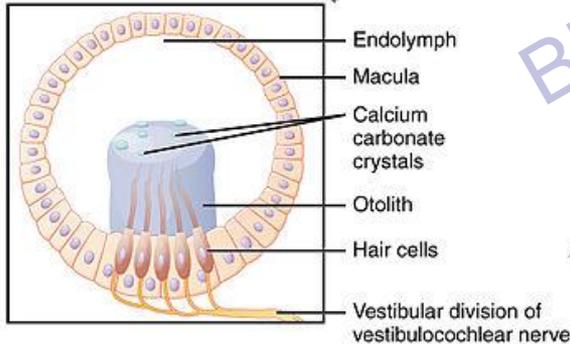
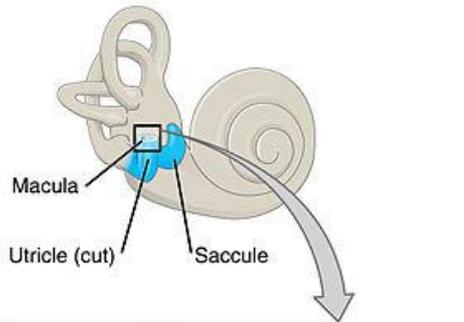


# Udito ed equilibrio: orecchio interno/vestibolo

Quando un individuo guarda in avanti il peso degli otoliti comprime gli apici delle cellule capellute; in altre parole spinge le stereociglia verso il

basso.

Quando l'individuo inclina la testa, la forza di gravità sposta gli otoliti in quella direzione e questa azione provoca la distorsione delle stereociglia.



# Udito ed equilibrio: orecchio interno/vestibolo

Abbiamo già visto che sono le distorsioni delle stereociglia a innescare i cambiamenti del potenziale a riposo e quindi la fuoriuscita del neurotrasmettitore che consente a sua volta la sinapsi con il primo neurone sensoriale del ramo vestibolare dell'VIII paio di nervi cranici.

Quindi a questo punto è necessario chiedersi quali movimenti della testa provocano distorsioni rilevate dal sistema vestibolare legato a utricolo e sacculo.

- posizione della testa quando l'individuo è fermo
- i movimenti in su e in giù
- i movimenti di beccheggio, in avanti e indietro
- movimenti di rollio, oscillazioni laterali

# Udito ed equilibrio: orecchio interno/vestibolo

Per concludere l'argomento affrontiamo la situazione recettiva che si verifica quando da fermi subiamo un'accelerazione improvvisa.

Pensiamo a quando siamo in un ascensore o in una automobile.

Quando l'ascensore inizia la discesa gli otoliti diminuiscono la pressione sugli apici dei recettori e quindi noi percepiamo il movimento. Poi si assestano e, a questo punto, non percepiamo più il movimento. Facile intuire il perché.

In automobile, in seguito ad un improvviso aumento della velocità, gli otoliti subiscono uno spostamento nella stessa direzione ma con verso opposto e questo provoca la distorsione delle stereociglia che innesca la catena di eventi che abbiamo imparato a riconoscere.

Le cellule capellute sono continuamente coinvolte nel rilevare la posizione della testa.

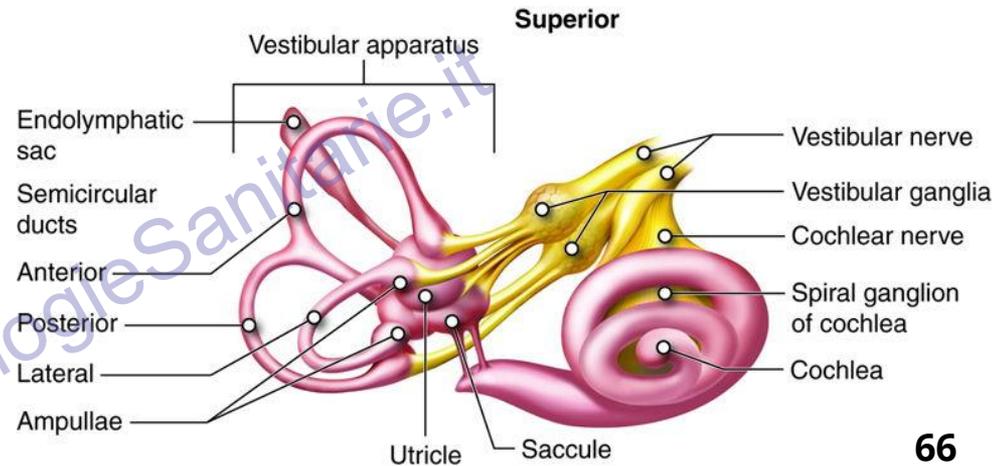
# Udito ed equilibrio: orecchio interno/canali semicircolari

## Orecchio interno. Canali semicircolari

I canali semicircolari sono 3:

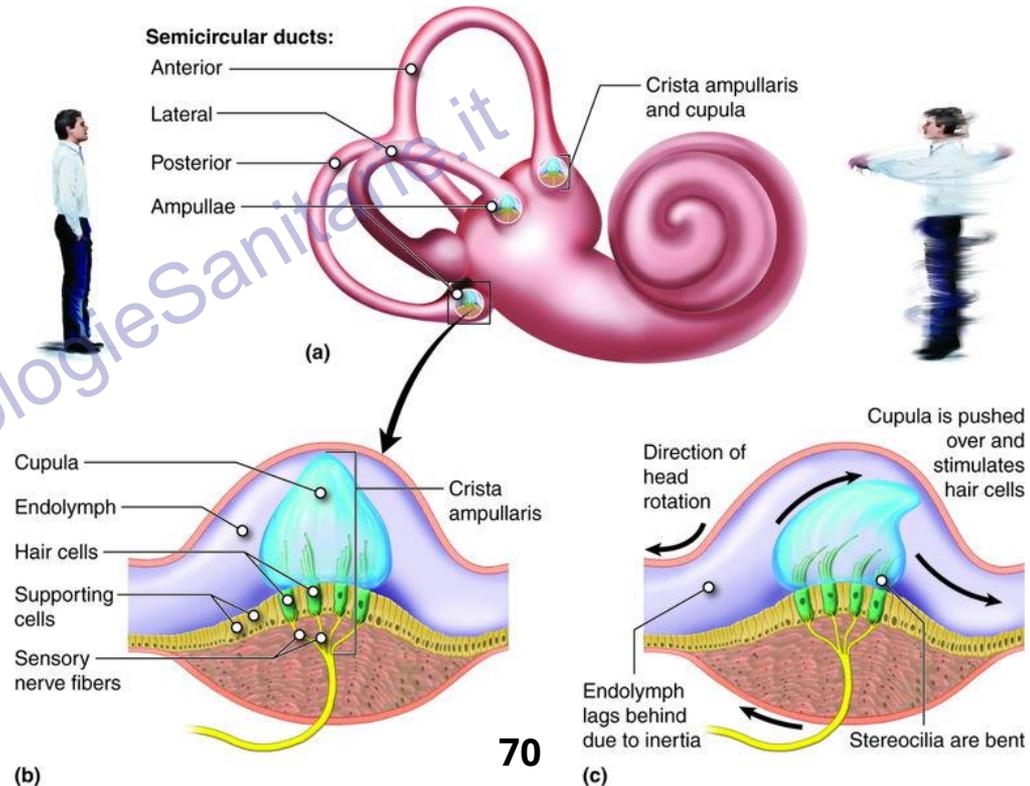
- anteriore
- posteriore
- laterale

I canali semicircolari sono scavati nello spessore dell'osso temporale e al loro interno ognuno contiene un **condotto semicircolare** di natura membranosa. Tra loro sono connessi e sono collegati all'utricolo. A riprova del fatto che tutto il labirinto membranoso è in connessione. Ciascun condotto ha una porzione dilatata chiamata **ampolla**.



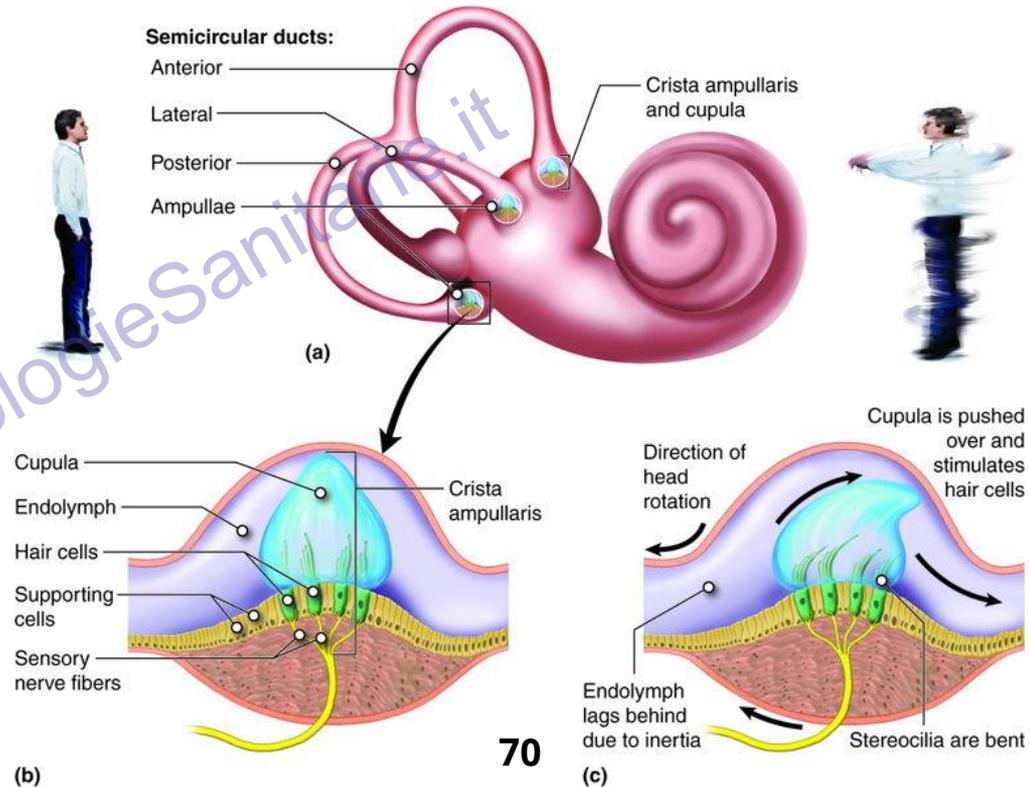
# Udito ed equilibrio: orecchio interno/canali semicircolari

All'interno di ogni ampolla troviamo i recettori che nella loro formazione determinano la **cresta ampollare**. Gli apici delle cellule capillate sono immersi in una sostanza gelatinosa che ha la stessa densità dell'endolinfa e che riempie completamente l'ampolla (**cupola**).



# Udito ed equilibrio: orecchio interno/canali semicircolari

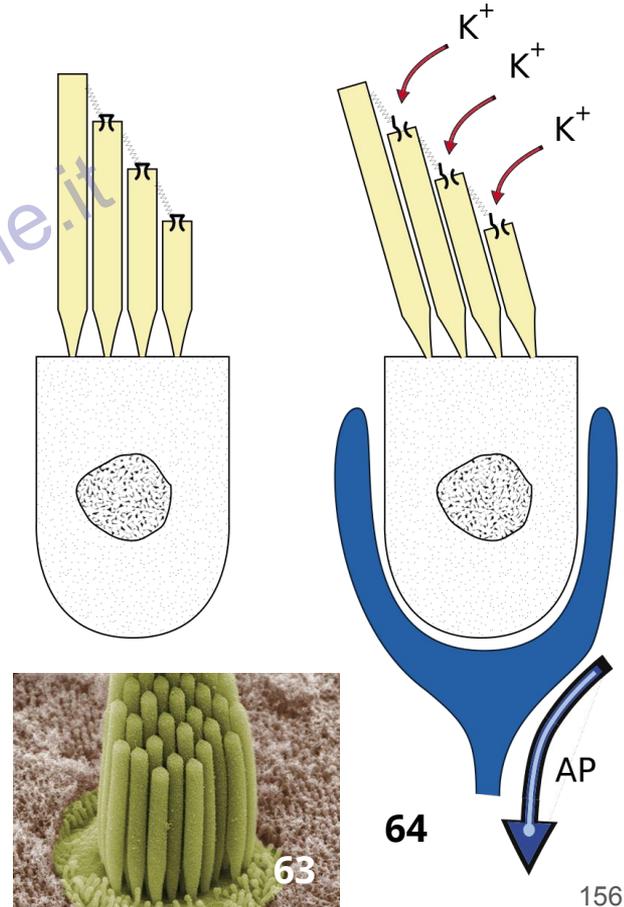
La cupola è elastica. Osservando la figura si può notare cosa succede quando la testa ruota sul piano di uno dei condotti. L'endolinfa entra in movimento sull'asse del condotto e spinge la cupola; è la cupola che provoca la distorsione degli apici delle cellule capellute. Essendo elastica, cessato il movimento, ritorna nella posizione normale.



# Udito ed equilibrio: cellule capellate e funzionamento

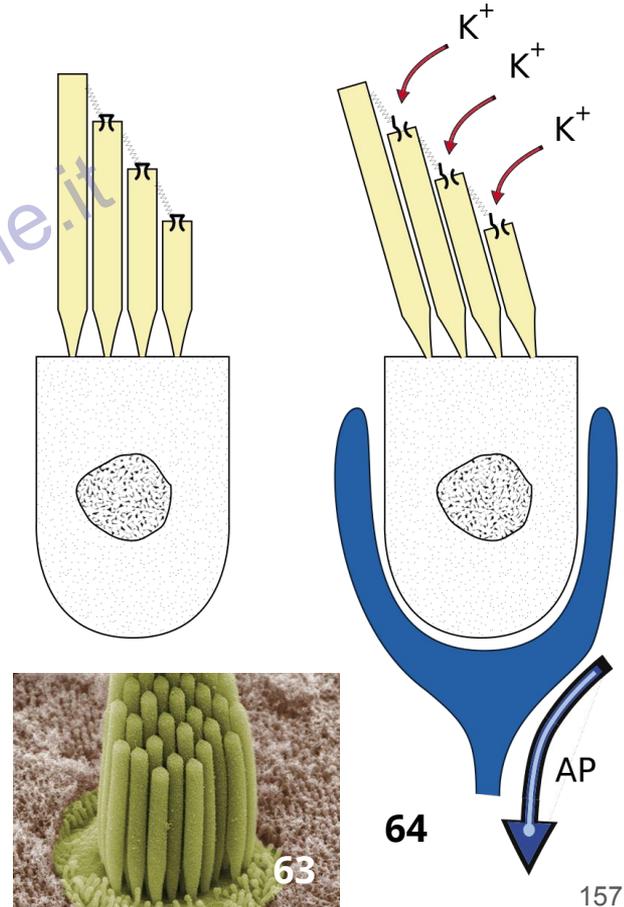
Di lato si può vedere lo schema strutturale di una cellula capelluta tipica della coclea.

Nelle altre due sezioni dell'orecchio interno, cioè il vestibolo e i canali semicircolari, queste cellule sono dotate anche di **chinociglio**. Cioè un unico ciglio più lungo di quelle che sono le stereociglia più sviluppate. Pertanto le cellule non sono simmetriche per la presenza del chinociglio o della lunghezza decrescente delle stereociglia.



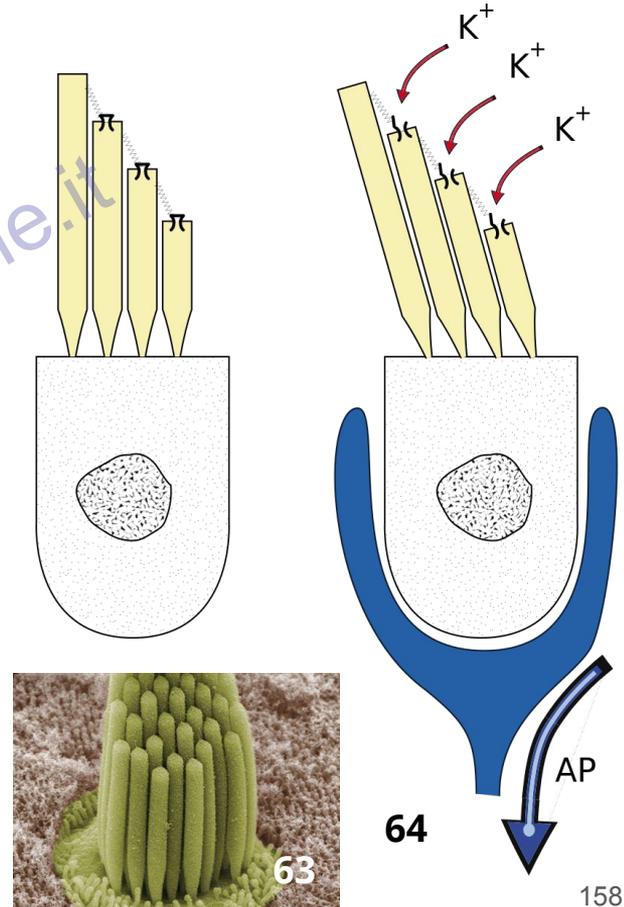
# Udito ed equilibrio: cellule capellute e funzionamento

Le stereociglia sono unite tra di loro grazie ad un materiale filamentoso che le fa muovere in modo sincrono. Basta una deflessione di pochi nanometri nel ciuffo di ciglia, determinata dal movimento della cupola nei condotti semicircolari o della membrana otolitica nel vestibolo o della membrana tettoria nella coclea, per innescare una serie di reazioni.



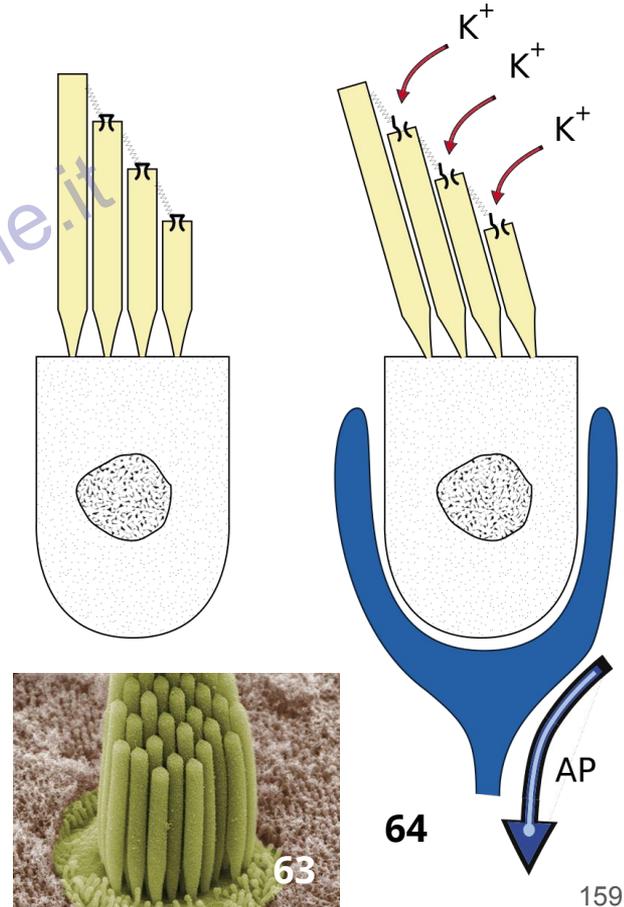
# Udito ed equilibrio: cellule capellute e funzionamento

Se la deflessione avviene verso le stereociglia più lunghe o verso il chinociglio si aprono nella loro membrana cellulare i canali del potassio che provocano depolarizzazione con conseguente rilascio del neurotrasmettitore (**glutammato**) nella fessura sinaptica. Se invece la deflessione avviene in senso contrario, ossia verso le stereociglia più corte, si ha l'effetto opposto: chiusura dei canali del potassio con conseguente iperpolarizzazione e quindi inibizione della fase successiva.



# Udito ed equilibrio: cellule capellute e funzionamento

Se si verifica il rilascio del glutammato da parte del meccanocettore nella fessura sinaptica, il neurotrasmettitore legandosi ai suoi recettori nel neurone bipolare postsinaptico (il primo della via vestibolare o cocleare) favorisce un afflusso di cationi che depolarizza la membrana innescando il potenziale d'azione.



# Udito ed equilibrio: via delle sensibilità vestibolare

Seguiamo ora la **via vestibolare**.

I neuroni bipolari che sinaptano con le cellule capellute nei canali semicircolari e nelle macule dell'utricolo e del sacculo hanno il loro pirenoforo nel ganglio vestibolare.

La successiva sinapsi si ha nei nuclei vestibolari, tra midollo allungato e ponte. Siamo nel Sistema Nervoso Centrale.

Qui vengono integrate le informazioni provenienti dagli organi vestibolari di entrambe le orecchie.

Da qui **partono le informazioni per il cervelletto**.

Da qui **partono informazioni per i nuclei motori dei muscoli extraoculari**.

Da qui **partono le informazioni destinate alla corteccia cerebrale per l'elaborazione delle sensazioni coscienti di posizione e movimento**.

# Udito ed equilibrio: via delle sensibilità vestibolare

Da ultimo ricordiamo l'invio dei comandi ai nuclei motori del tronco encefalico e del midollo spinale per i movimenti riflessi di testa, occhi e collo.

La domanda che ci si pone è perché sono coinvolti i movimenti riflessi di testa, collo e occhi e i muscoli extraoculari.

La risposta è che il sistema vestibolare assicura l'equilibrio del corpo registrando la posizione e il movimento della testa nello spazio. Quindi è essenziale per l'orientamento spaziale, per il mantenimento del tono posturale e per il mantenimento della corretta posizione degli occhi mentre muoviamo la testa.

# Udito ed equilibrio: ripasso finale

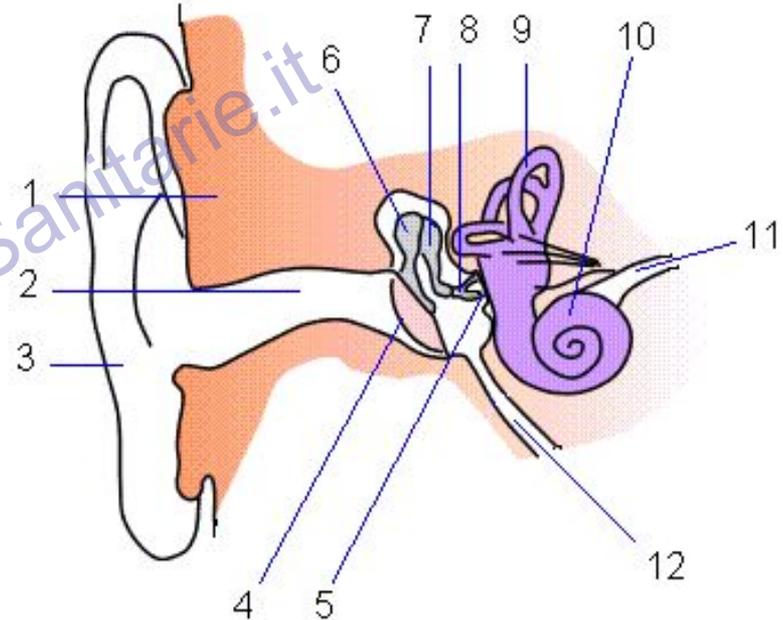
## Ripasso finale

Sezione anatomica dell'orecchio.

**Orecchio esterno:** 1 pericondrio, 2 condotto uditivo, 3 padiglione auricolare

**Orecchio medio:** 4 timpano, 5 finestra ovale, 6 martello, 7 incudine, 8 staffa

**Orecchio interno:** 9 canali semicircolari, 10 coclea, 11 nervo acustico, 12 tromba di Eustachio



# Author credits

**1rs** By Shigeru23 - Made by uploader (ref:岩堀修明著、『感覚器の進化』、講談社、2011年1月20日第1刷発行、ISBN 9784062577120、21頁), CC BY-SA 3.0,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=14917776>

**2rs** By Henry Vandyke Carter - Henry Gray (1918) Anatomy of the Human Body (See "Book" section below)Bartleby.com: Gray's Anatomy, Plate 934, Public Domain.

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=566880>

**3rs** Di Henry Vandyke Carter - Henry Gray (1918) Anatomy of the Human Body (See "Libro" section below)Bartleby.com: Gray's Anatomy, Plate 937, Pubblico dominio,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=566883>

**4rs** By BruceBlaus. When using this image in external sources it can be cited as:Blausen.com staff (2014). "Medical gallery of Blausen Medical 2014". Wikijournal of Medicine 1 (2).

DOI:10.15347/wjm/2014.010. ISSN 2002-4436. - Own work, CC BY 3.0,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=30871451>

**5rs** By BruceBlaus. When using this image in external sources it can be cited as:Blausen.com staff (2014). "Medical gallery of Blausen Medical 2014". Wikijournal of Medicine 1 (2).

DOI:10.15347/wjm/2014.010. ISSN 2002-4436. - Own work, CC BY 3.0,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=30871450>

# Author credits

**6rs** By Wbensmith - Own work, CC BY 3.0,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2842394>

**7rs** By BruceBlaus. When using this image in external sources it can be cited as:Blausen.com staff (2014). "Medical gallery of Blausen Medical 2014". Wikijournal of Medicine 1 (2).

DOI:10.15347/wjm/2014.010. ISSN 2002-4436. - Own work, CC BY 3.0,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=30871446>

**8rs** By BruceBlaus. When using this image in external sources it can be cited as:Blausen.com staff (2014). "Medical gallery of Blausen Medical 2014". Wikijournal of Medicine 1 (2).

DOI:10.15347/wjm/2014.010. ISSN 2002-4436. - Own work, CC BY 3.0,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=30871444>

**9rs** By Wbensmith - Own work, CC BY 3.0,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2842424>

**10rs** By BruceBlaus. When using this image in external sources it can be cited as:Blausen.com staff (2014). "Medical gallery of Blausen Medical 2014". Wikijournal of Medicine 1 (2).

DOI:10.15347/wjm/2014.010. ISSN 2002-4436. - Own work, CC BY 3.0,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=30871447>

# Author credits

**11rs** By The original uploader was Hati at German Wikipedia, translated to English and converted to .svg by Sbmehta - Based on a .png image here, CC BY 2.5,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2121978>

**12rs** By Neuromechanics - Own work, Public Domain,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=8870644>

**13rs** By Zhang MJ, Zhu CZ, Duan ZM, Niu X. Department of Cardiology, Second Affiliated Hospital, School of Medicine, Xi'an Jiao Tong University, China. zhangmingjuan@mail.xjtu.edu.cn [CC BY-SA 4.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>)], via Wikimedia Commons

**14rs** By אנדר-ויק (Own work) [CC BY-SA 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>) or GFDL (<http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>)], via Wikimedia Commons

**15rs** By A. Pedro Marinho - Own work, CC BY-SA 3.0,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=18031561>

**16rs** By Neuromechanics - Own work, Public Domain,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=8920238>

# Author credits

- 1 Di che(Please credit as "Petr Novák, Wikipedia" in case you use this outside Wikimedia projects.) - Opera propria, CC BY-SA 2.5, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=441286>
- 2 Di David Benbennick - took this photograph today, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=76815>
- 3 By ArnoldReinhold - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=252253>
- 4 By Klaus D. Peter, Wiehl, Germany - Own work, CC BY 2.0 de, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4070679>
- 5 By G.dallorto - Own work, Attribution, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=34731906>
- 6 Immagine di mia proprietà
- 7 By Saurabh R. Patil - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=17714601>
- 8 By OpenStax College - Anatomy & Physiology, Connexions Web site. <http://cnx.org/content/col11496/1.6/>, Jun 19, 2013., CC BY 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=30147989>
- 9 By NEUROtiker - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4145397>
- 10 Di Vincenzo RIZZO - Opera propria, Pubblico dominio, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4325236>
- 11 CC BY-SA 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=658211>
- 12 Di Joanna Kośmider - Opera propria, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=18273769>
- 13 By No machine-readable author provided. MarianSigler assumed (based on copyright claims). - No machine-readable source provided. Own work assumed (based on copyright claims)., CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=917468>

# Author credits

- 14** Di Henry Vandyke Carter - Henry Gray (1918) Anatomy of the Human Body, invalid ID (See "Libro" section below)Bartleby.com: Gray's Anatomy, Plate 857, Pubblico dominio, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=566791>
- 15** By Henry Vandyke Carter - Henry Gray (1918) Anatomy of the Human Body, invalid ID (See "Book" section below)Bartleby.com: Gray's Anatomy, Plate 772, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=541620>
- 16** Di Chabacano - from Image:Brain human sagittal section.svg Image:Head lateral mouth anatomy.jpg by Patrick J. Lynch, medical illustrator, CC BY-SA 2.5, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1743576>
- 17** By Patrick J. Lynch, medical illustrator. (labeled by was\_a\_bee) - File:Head\_olfactory\_nerve.jpg by Patrick J. Lynch, medical illustrator, CC BY 2.5, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=37206430>
- 18** Di Henry Vandyke Carter - Henry Gray (1918) Anatomy of the Human Body, invalid ID (See "Libro" section below)Bartleby.com: Gray's Anatomy, Plate 771, Pubblico dominio, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=517919>
- 19** Di Genia Brodsky and Noam Sobel (The Weizmann Institute) - (2010) PLoS Computational Biology Issue Image, Vol. 6(4) April 2010. PLoS Comput Biol 6(4): ev06.i04. doi:10.1371/image.pcbi.v06.i04, CC BY 2.5, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=16938376>
- 20** Di Nessun autore leggibile automaticamente. Gtanner~commonswiki presunto (secondo quanto affermano i diritti d'autore). - Nessuna fonte leggibile automaticamente. Presunta opera propria (secondo quanto affermano i diritti d'autore)., Pubblico dominio, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=328730>
- 21** By Anatomist90 - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=17460656>
- 22** By Artwork by Holly Fischer - http://open.umich.edu/education/med/resources/second-look-series/materials - Eye Slide 3, CC BY 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=24367145>

# Author credits

- 23** By Mikael Häggström - Image:Schematic\_diagram\_of\_the\_human\_eye\_en.svg, CC0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=22087074>
- 24** Di NIH National Eye Institute - [1], Pubblico dominio, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=267708>
- 25** By BruceBlaus. When using this image in external sources it can be cited as:Blausen.com staff. "Blausen gallery 2014". Wikiversity Journal of Medicine. DOI:10.15347/wjm/2014.010. ISSN 20018762. - Own work, CC BY 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=29025014>
- 26** By BruceBlaus. When using this image in external sources it can be cited as:Blausen.com staff. "Blausen gallery 2014". Wikiversity Journal of Medicine. DOI:10.15347/wjm/2014.010. ISSN 20018762. - Own work, CC BY 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=29025013>
- 27** Di derivative work: B3t (talk) - Schematic\_diagram\_of\_the\_human\_eye\_en.svg, Pubblico dominio, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=8310004>
- 28** By Artwork by Holly Fischer - File:Three\_Main\_Layers\_of\_the\_Eye.png, CC BY 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=39241198>
- 29** By BruceBlaus - Own work, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=44968163>
- 30** Di Rakesh Ahuja, MD - Opera propria, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=966501>
- 31** Di National Eye Institute, National Institutes of Health - <http://www.nei.nih.gov/photo/keyword.asp?narrow=Eye+Disease+Simulation&match=all> (TIFF image), Pubblico dominio, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10172424>
- 32** Di National Eye Institute, National Institutes of Health - <http://www.nei.nih.gov/photo/keyword.asp?narrow=Eye+Disease+Simulation&match=all> (TIFF image), Pubblico dominio, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10172566>

# Author credits

- 33** By Henry Vandyke Carter - Henry Gray (1918) Anatomy of the Human Body (See "Book" section below)Bartleby.com: Gray's Anatomy, Plate 881, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=566820>
- 34** Di Santiago Ramón y Cajal (1852 - 1934); uploaded to en.wikipedia by en:User:Meduz. - Santiago Ramón y Cajal, Histologie Du Système Nerveux de l'Homme et Des Vertébrés, Maloine, Paris, 1911, Pubblico dominio, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=253250>
- 35** Di Distorted - Opera propria, Image based on File:Cone cell.png, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10746006>
- 36** Di Madhero88 - Opera propria, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=6879296>
- 37** Di Antonio Cruz/Abr - Agência Brasil [1], CC BY 3.0 br, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1213253>
- 38** By Patrick J. Lynch, medical illustrator - Patrick J. Lynch, medical illustrator, CC BY 2.5, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1485875>
- 39** By Patrick J. Lynch, medical illustrator - Patrick J. Lynch, medical illustrator, CC BY 2.5, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1498186>
- 40**
- 41** Di © Nevit Dilmen, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=21087690>
- 42** Di mosso - optical Illusion, CC BY 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4938891>
- 43** By Sunshineconnelly at en.wikibooks [CC BY 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>)], from Wikimedia Commons

# Author credits

- 44 Di L'utente che ha caricato in origine il file è stato Renato Caniatti di Wikipedia in italiano, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=25208820>
- 45 Di L'utente che ha caricato in origine il file è stato RobinH di Wikibooks in inglese - Trasferito da en.wikibooks su Commons., CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=36969946>
- 46 By Gumenyuk I.S. - Own work, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=46820576>
- 47 Henry Vandyke Carter [Public domain], via Wikimedia Commons
- 48 By Anatomist90 - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=19132673>
- 49 By Anatomist90 - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=29071567>
- 50 Di <http://commons.wikimedia.org/wiki/User:Jastrow> - [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Jeremy\\_Cadot\\_FFE\\_press\\_conference\\_2013-07-25.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Jeremy_Cadot_FFE_press_conference_2013-07-25.jpg), CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=27687711>
- 51 Di Esra - <http://www.sxc.hu/photo/206921>, Copyrighted free use, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=154904>
- 52 Di Ansevilu - Opera propria, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10178285>
- 53 Di Tear\_system.svg: Since FML's vector image was broken, User:Erin\_Silversmith took the bitmap version and vectorised it. The labels in Portuguese were replaced with letters, for internationalisation purposes.(The iris was redone in the second revision of this image, based on the photograph Image:Iris.eye.225px.jpg (automatically vectorised using Delineate). However, in the fifth revision, this was then replaced by a spoke-like design based on the original GIF.)To the right, there is an example of how the diagram can be used in an article. Note how the diagram is neat, and the labels can be Wikilinks.If a version with labels in a certain language is deemed necessary, it should be uploaded with the language suffix i.e. Tear system xx.svg where xx is the language code.derivative work: Radio89 - Questo file deriva da Tear system.svg;, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=20357715>

# Author credits

54 Di David Benbennick - took this photograph today, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=76815>

54 a By Anatomist90 - Own work, CC BY-SA 3.0,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=29296428>

55 Di Chittka L, Brockmann modified by dan1 gia2 - File:Anatomy of the Human Ear.svg, CC BY-SA 3.0,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=29720087>

56 By BruceBlaus. When using this image in external sources it can be cited as:Blausen.com staff. "Blausen gallery 2014". Wikiversity Journal of Medicine. DOI:10.15347/wjm/2014.010. ISSN 20018762. - Own work, CC BY 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=29025010>

57 By No machine-readable author provided. Selket assumed (based on copyright claims). - No machine-readable source provided. Own work assumed (based on copyright claims)., CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1675769>

58 By Henry Vandyke Carter - Henry Gray (1918) Anatomy of the Human Body (See "Book" section below)Bartleby.com: Gray's Anatomy, Plate 923, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=552585>

59 Di MouagipQuesto file grafico vettoriale è stato creato con Adobe Illustrator.. - File:Bony labyrinth.png, Pubblico dominio, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=15023796>

60 Di BruceBlaus. When using this image in external sources it can be cited as:Blausen.com staff. "Blausen gallery 2014". Wikiversity Journal of Medicine. DOI:10.15347/wjm/2014.010. ISSN 20018762. - Opera propria, CC BY 3.0,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=29025011>

61 da

<https://courses.lumenlearning.com/nemcc-ap/chapter/special-senses-hearing-audition-and-balance/>

*licensed under a Creative Commons Attribution 3.0 United States*

# Author credits

62 Par OpenStax — <https://cnx.org/contents/FPtK1z mh@8.25:fEI3C8Ot@10/Preface>, CC BY 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=30147992>

63 By Bechara Kachar - <http://irp.nih.gov/our-research/research-in-action/high-fidelity-stereocilia/slideshow>, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=24468731>

64 Di Thomas.haslwanger - Opera propria, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=14585601>

65 By Didier Descouens - Own work, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=8367825>

66 da <https://courses.lumenlearning.com/nemcc-ap/chapter/special-senses-hearing-audition-and-balance/>  
*licensed under a Creative Commons Attribution 3.0 United States*

67 da <https://courses.lumenlearning.com/nemcc-ap/chapter/special-senses-hearing-audition-and-balance/>  
*licensed under a Creative Commons Attribution 3.0 United States*

68 By <http://www.cami.jccbi.gov/AAM-400A/Brochures/spatialD2/spatialdgraphics/bigotolith.jpg>, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3853758>

69 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:1409\\_Maculae\\_and\\_Equilibrium.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:1409_Maculae_and_Equilibrium.jpg)

# Author credits

70 da

<https://courses.lumenlearning.com/nemcc-ap/chapter/special-senses-hearing-audition-and-balance/>

*licensed under a Creative Commons Attribution 3.0 United States*

## Immagine delle intestazioni di sezione

Il cervello umano: le aree motorie e sensoriali

By OpenStax College - Anatomy & Physiology, Connexions Web site. <http://cnx.org/content/col11496/1.6/>, Jun 19, 2013., CC BY 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=30148119>

BiotechnologieSanitarie.it