

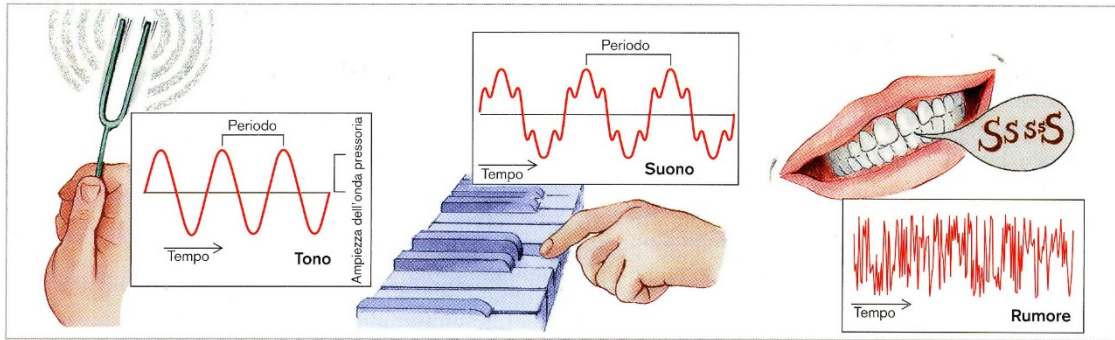
## 3.4\_UDITO ED EQUILIBRIO

- Principi di acustica
- Struttura dell'orecchio
- Trasduzione dello stimolo meccanico in segnale elettrico
- Principali vie uditive centrali
- Il sistema vestibolare e le sue funzioni
- Le vie vestibolari centrali

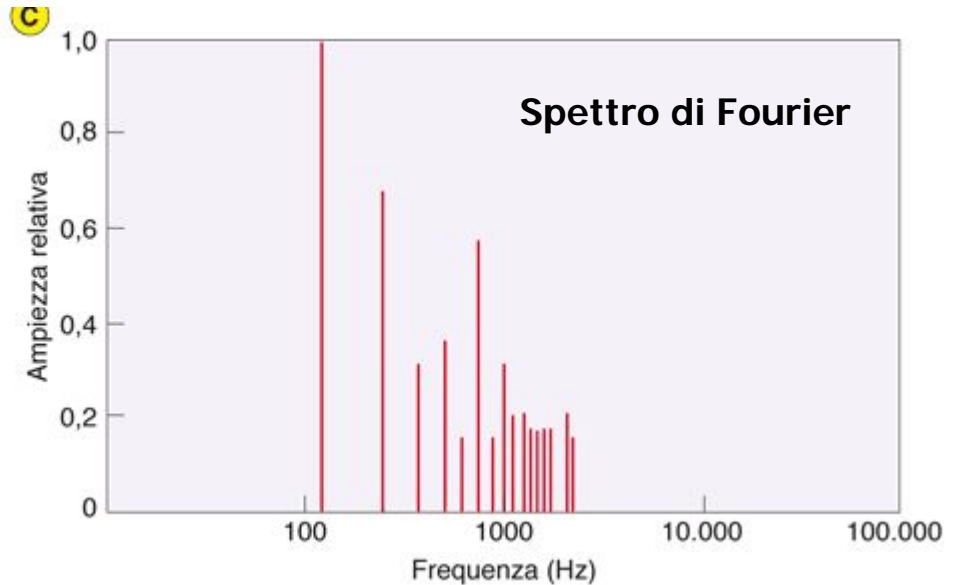
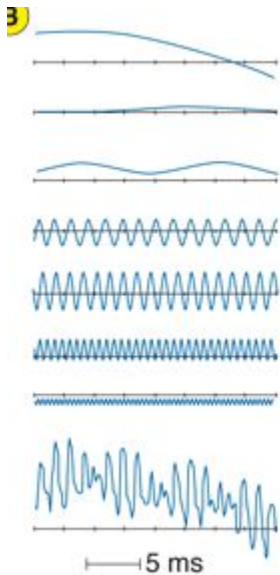
# • Principi di acustica

## Tipi diversi di suoni:

- la vibrazione di un diapason produce un'onda sonora *sinusoidale pura* caratterizzata da una sola frequenza e ampiezza
- gli altri suoni (la nota di un piano; un fruscio) sono il risultato della somma di più suoni semplici

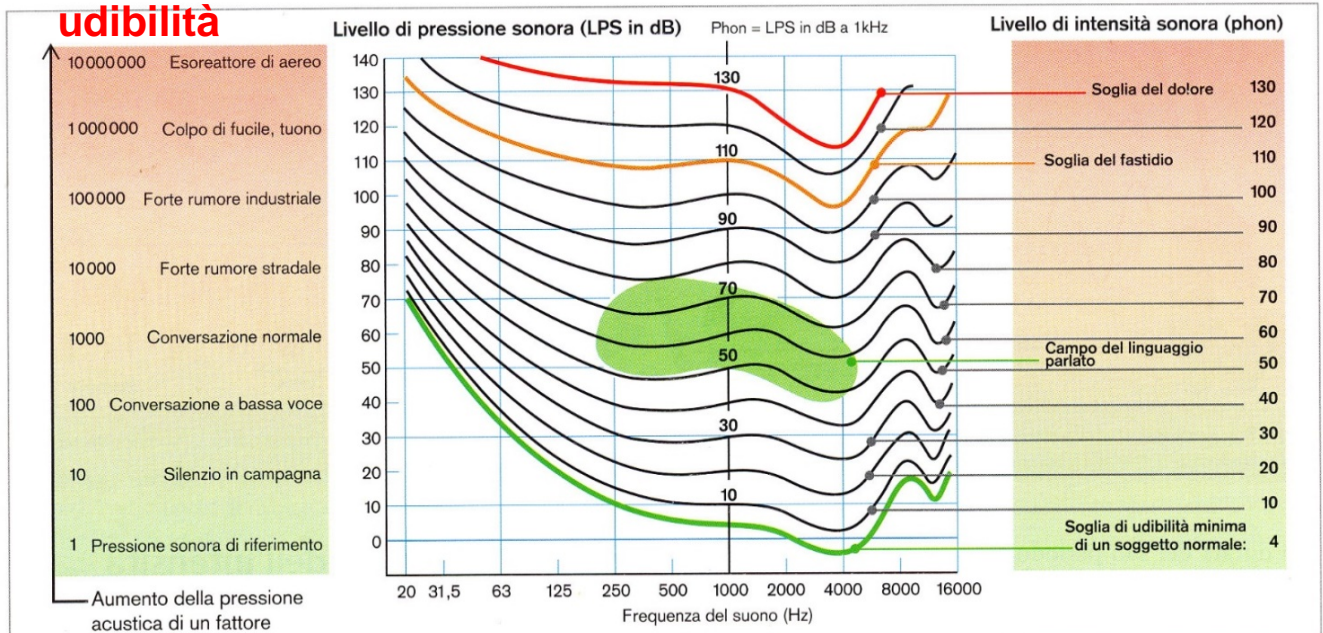


- i suoni più complessi possono essere scomposti in più suoni puri di una certa *ampiezza, intensità e fase* attraverso l'*analisi di Fourier* delle onde sonore che compongono il suono



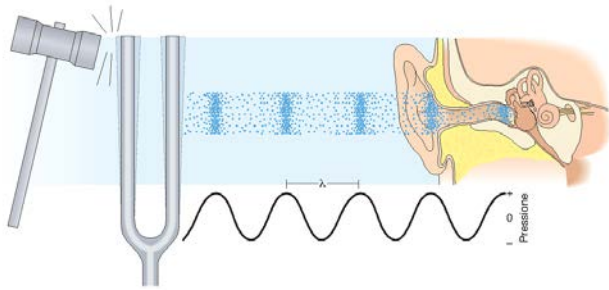
- i suoni sono percepiti in relazione alla loro frequenza e intensità
- il sistema acustico dell'uomo percepisce toni puri compresi tra **20** e **20.000** Hz
- l'udibilità di un suono dipende dalla sua frequenza e livello di pressione
- l'unità di misura dell'intensità del suono è il **decibel (dB)**  $= 20 \log (P/P_r)$  (P pressione del suono;  $P_r$  pressione di riferimento;  $0.0002 \text{ dine/cm}^2$ )

## Curva della soglia di udibilità



- le frequenze meglio percepite sono quelle tra **2.000** e **5.000** Hz
- in una normale conversazione l'intensità del suono è circa **65 db** e la **massima sensibilità** varia tra **250** e **6.000** Hz

# • Struttura dell'orecchio

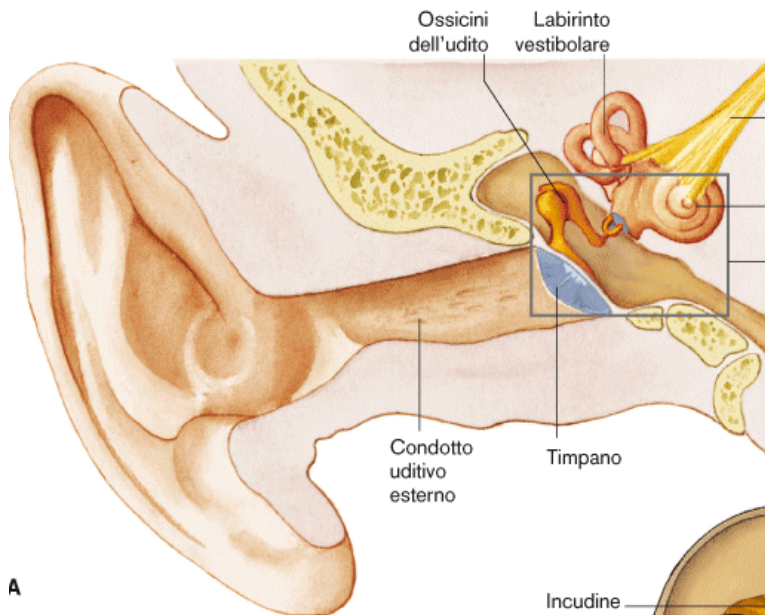


**L'orecchio esterno comprende:**

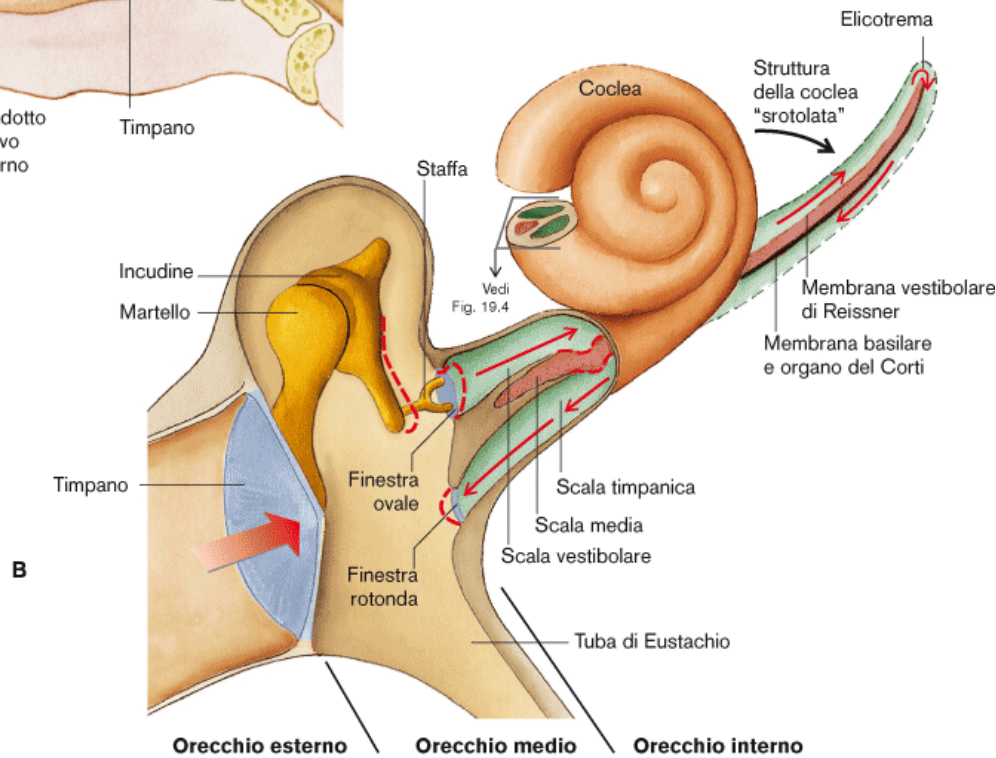
- il *padiglione auricolare*
- il *canale uditivo*
- la *membrana timpanica*

**L'orecchio medio contiene:**

- la *catena degli ossicini*
- i *muscoli stapedio e tensore del timpano*
- la *tuba di Eustachio*



A



B

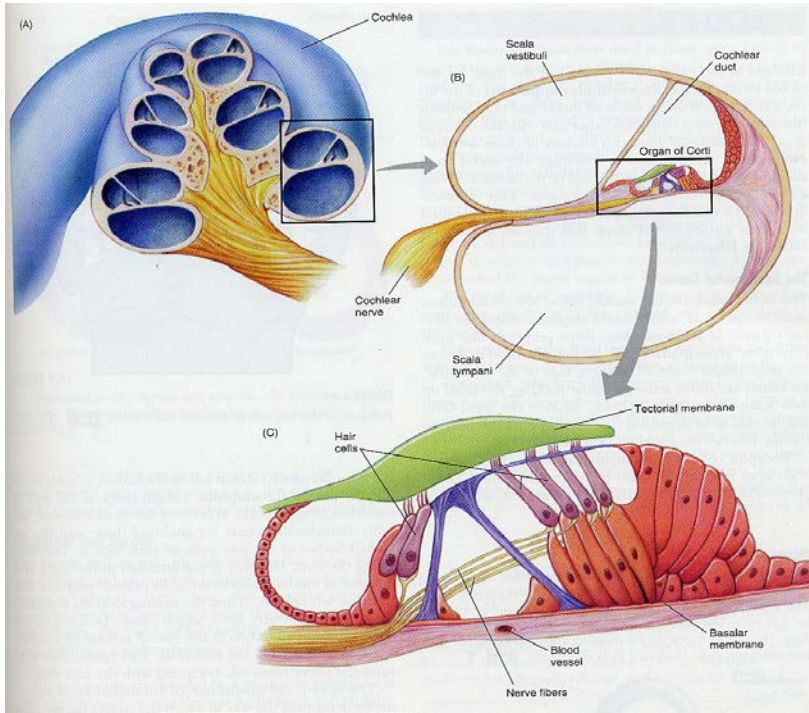
Orecchio esterno    Orecchio medio    Orecchio interno

**L'orecchio interno contiene:**

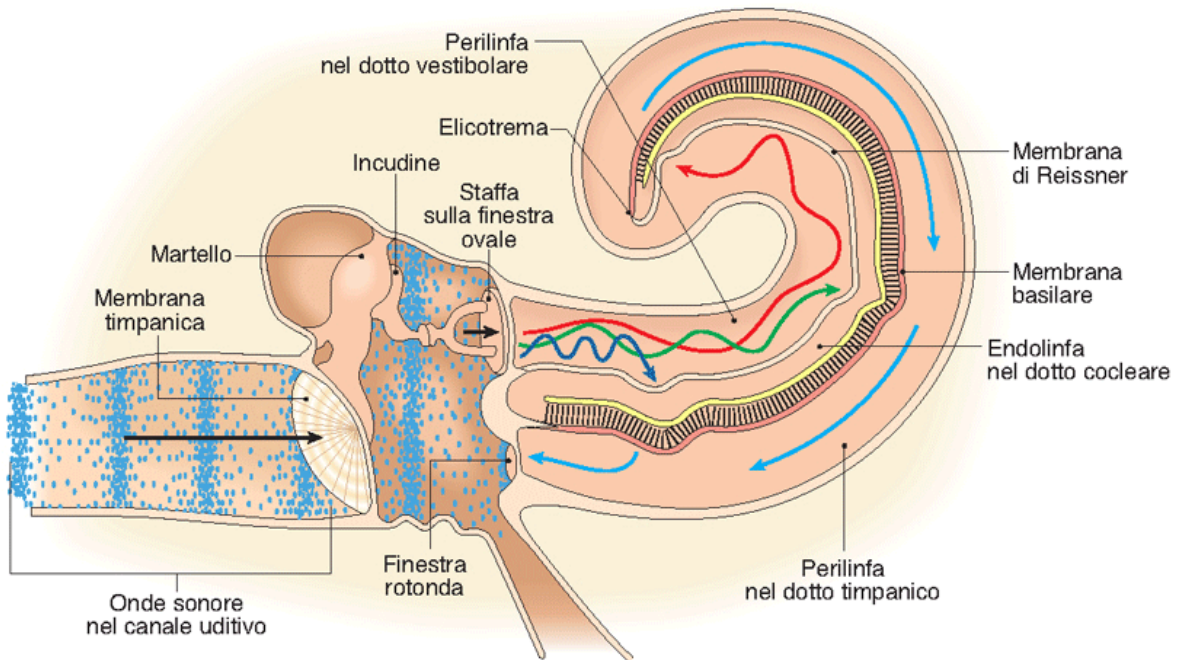
- la *coclea*
- l'*utricolo*, il *sacculo* e i *canali semicircolari* (*sistema vestibolare*)

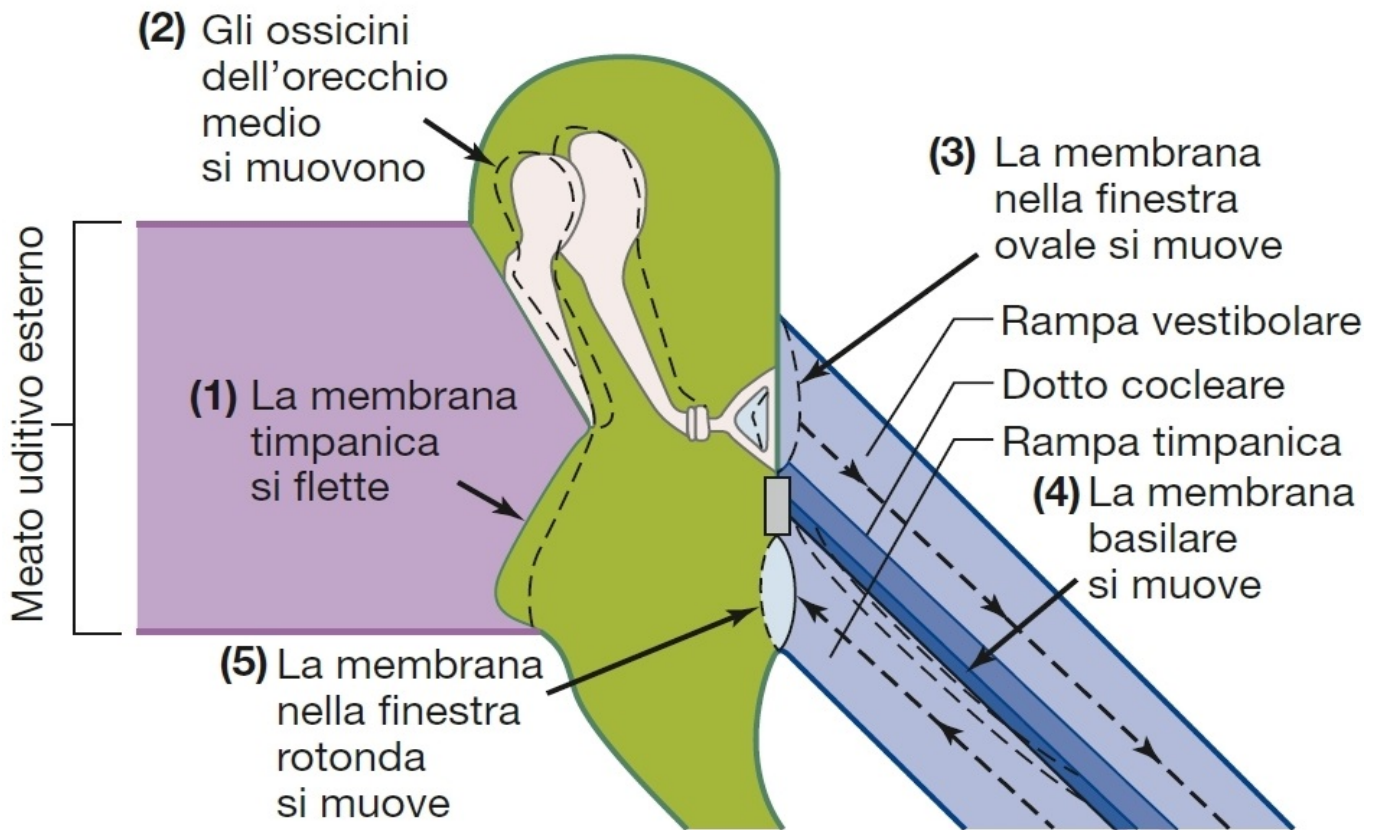


# ORECCHIO INTERNO



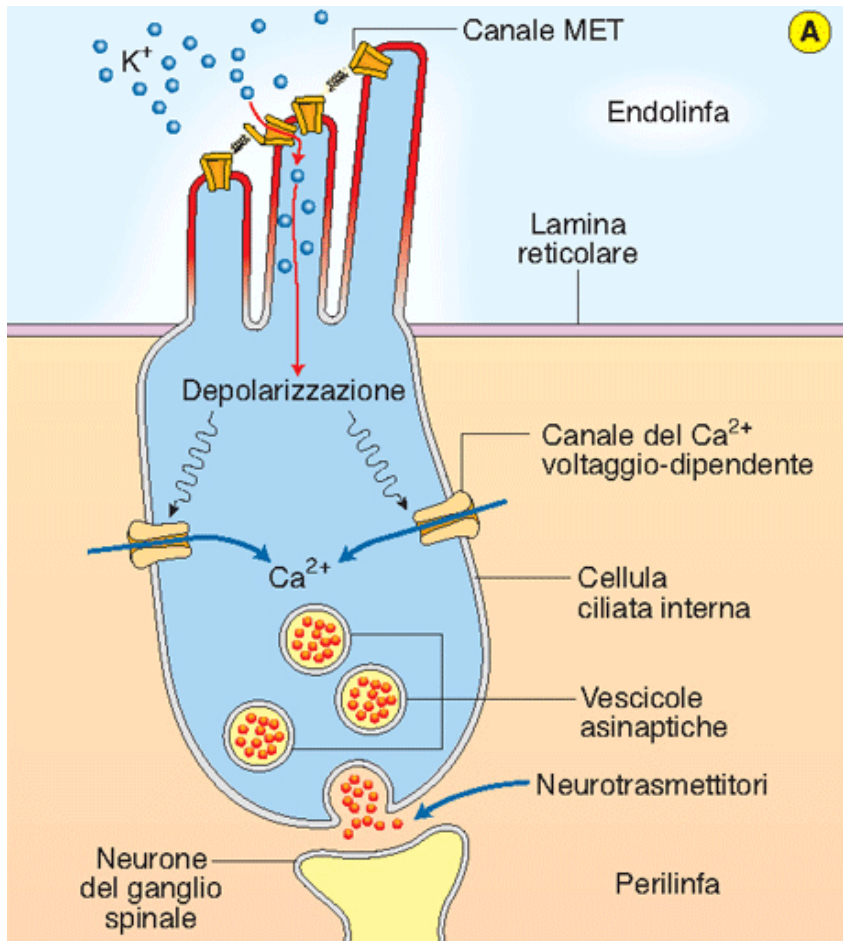
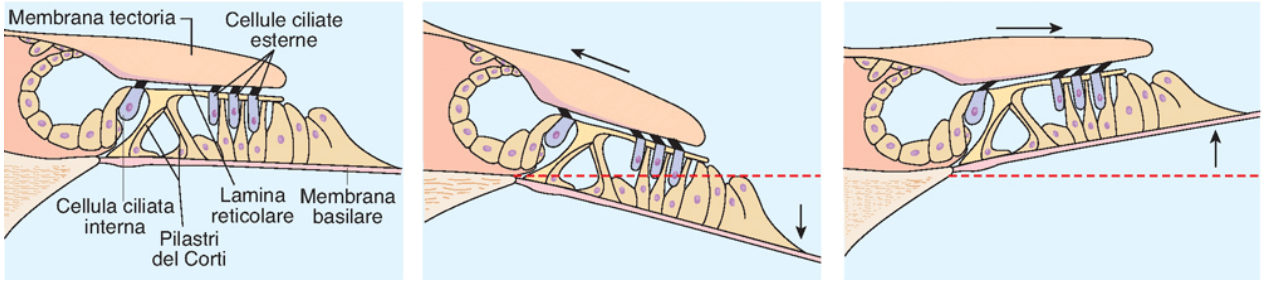
## Conduzione delle onde sonore nell'orecchio interno



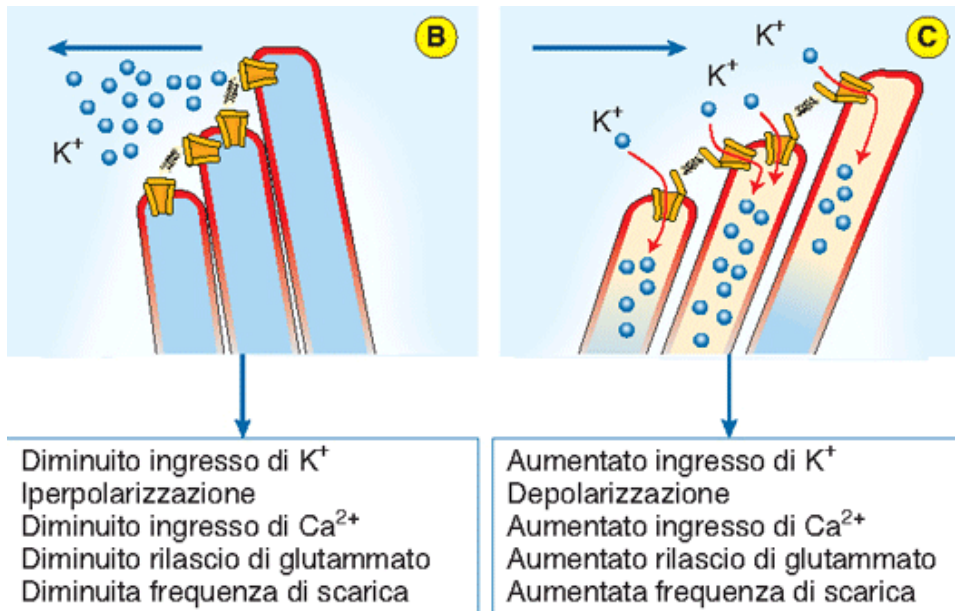


**Figura 7.39** Trasmissione delle vibrazioni sonore attraverso l'orecchio medio e interno. (1) Le onde sonore che arrivano tramite il canale uditivo esterno muovono la membrana timpanica, che (2) avvia una sequenza di eventi, spostando gli ossicini dell'orecchio medio, (3) mette in vibrazione la membrana nella finestra ovale, (4) causa l'oscillazione di specifiche regione della membrana basilare e (5) provoca l'oscillazione della membrana della finestra rotonda al fine di disperdere pressione. Modificata da Davis e Silverman.

# Trasduzione dello stimolo meccanico in segnale elettrico





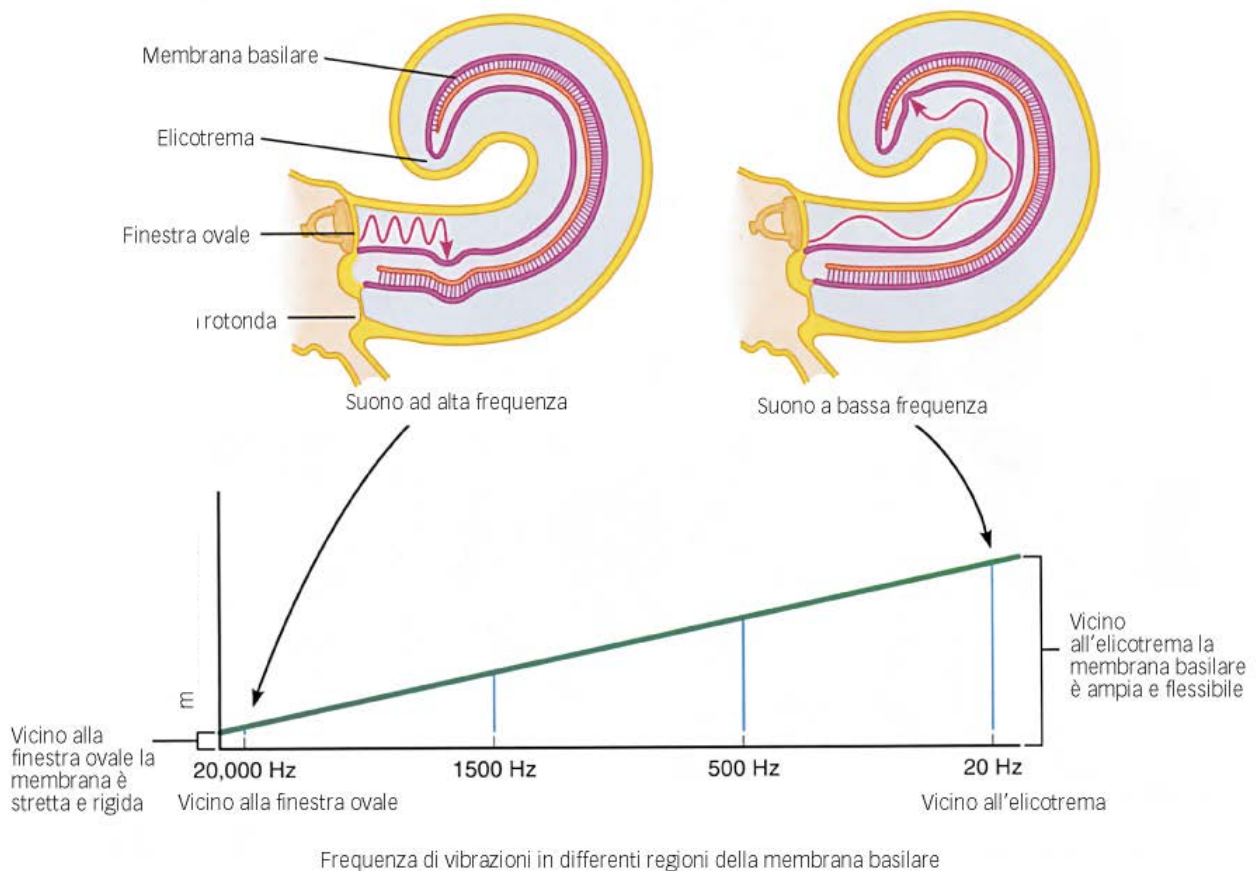


- i **MET** (*MEchano Trasducer*) sono canali TRPA1 permeabili al **K<sup>+</sup>**
- **collegati tra loro da ponti proteici** tra le stereociglia, i *MET* si aprono e si chiudono in funzione del grado di piegamento delle stereociglia
- la parte apicale delle c. ciliate è immersa nell'*endolinfa*
- l'*endolinfa* possiede un alta [K<sup>+</sup>] (160 mM) e una bassa di [Na<sup>+</sup>] (1 mM)
- il K<sup>+</sup> (che entra attraverso i MET aperti) *depolarizza* la cellula e ed apre i canali del Ca<sup>2+</sup> (Cav1.3)
- l'apertura dei *canali del Ca<sup>2+</sup>* stimola la *secrezione* e rilascio di neurotrasmettitore (*glutammato*) che depolarizza il terminale postsinaptico del neurone sensitivo e crea un *treno di AP*



# Codificazione della frequenza del suono

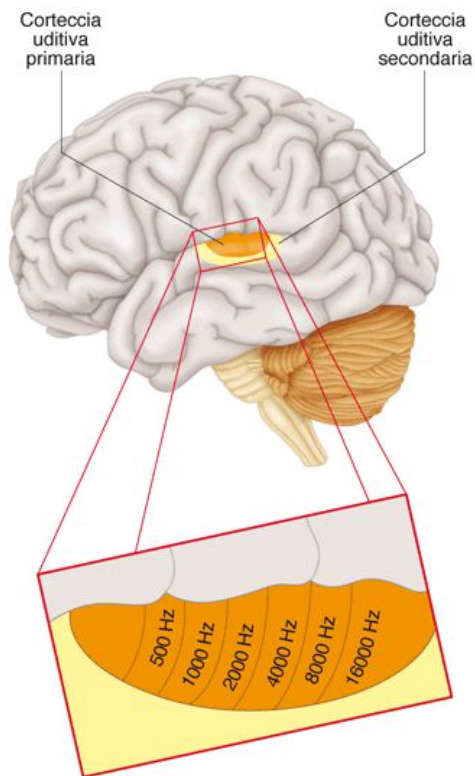
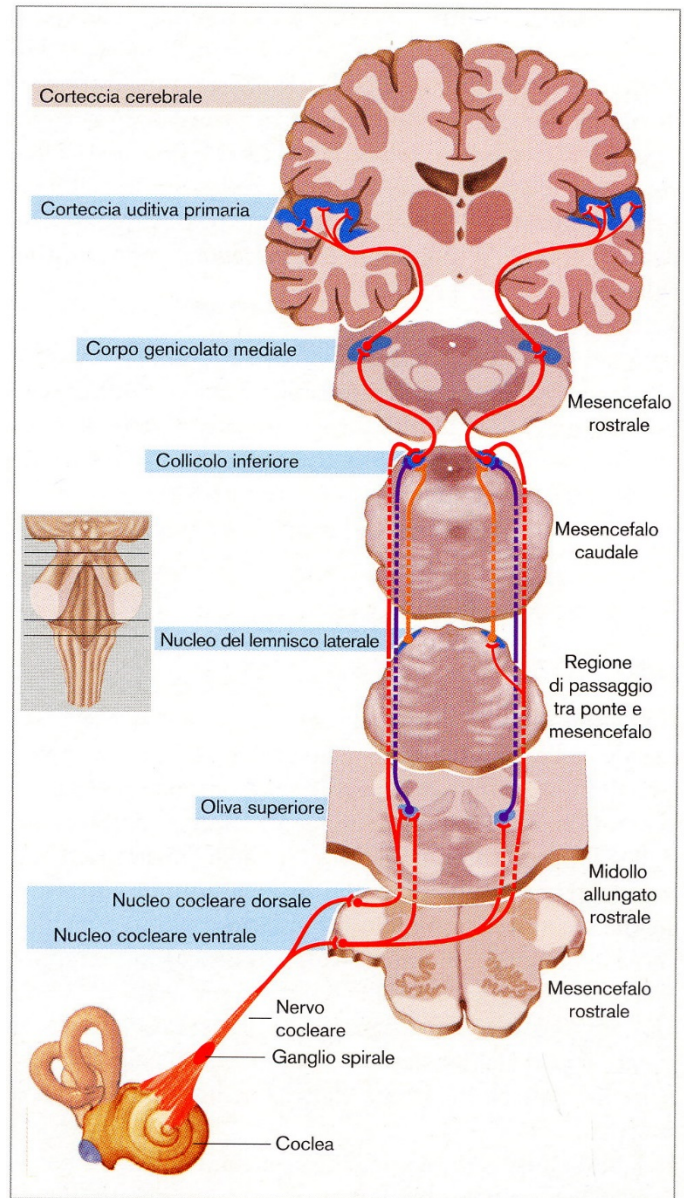
- la porzione di membrana basilare vicino alla finestra ovale è più rigida e stretta; è più ampia e flessibile in prossimità dell'elicotrema
- le onde ad **alta frequenza** determinano una **maggiore vibrazione** della membrana basilare nella regione **vicino alla finestra ovale**
- le **onde a bassa frequenza** vibrano maggiormente nella regione vicino all'**elicotrema** (*organizzazione tonotopica*)



La frequenza dell'onda sonora è codificata in termini di topografia delle cellule ciliate maggiormente attivate

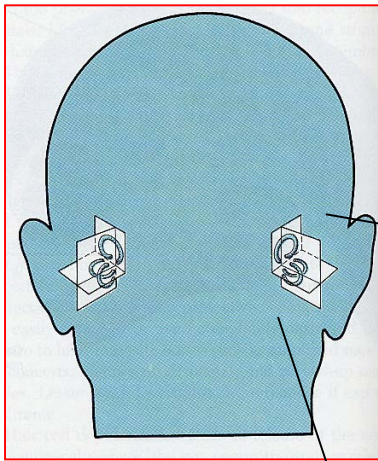
# • Principali vie uditive centrali

- il *nervo acustico* o *cocleare* proietta ai **nuclei cocleari dorsali e ventrali del bulbo**
- le vie uditive *ipsi-* e *contro-* laterali raggiungono i **nuclei olivari superiori**, i **nuclei del lemnisco laterale**, il **collicolo inferiore**, il **corpo genicolato mediale del talamo** e infine la **corteccia uditiva primaria** di entrambi i lati del cervello



- *organizzazione tonotopica* lungo le vie uditive centrali (*distribuzione spaziale in funzione della frequenza sonora*)
- 3 diverse distribuzioni nel *nucleo cocleare*, 2 nei *collicoli inferiori* e 6 nella *corteccia primaria*

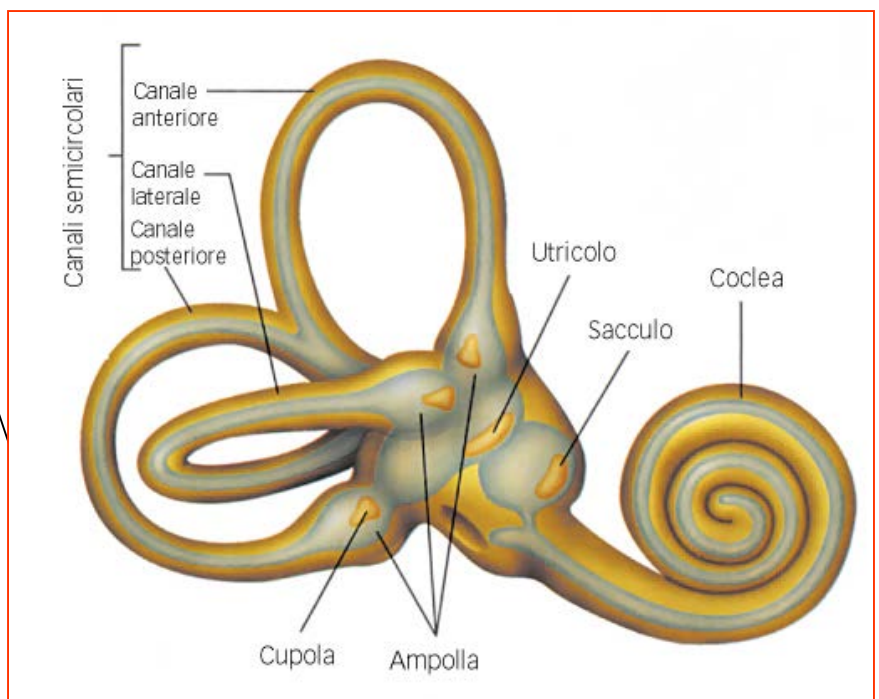
## • Il sistema vestibolare e le sue funzioni



- Costituito da 3 canali semicircolari e 2 organi otolitici: **sacculo**, **utricolo**

• Localizzato in una cavità dell'osso temporale: costituito da una porzione di labirinto membranoso, nel labirinto osseo.

• Percepisce le accelerazioni del corpo, la posizione del capo, accelerazioni angolari e lineari della testa

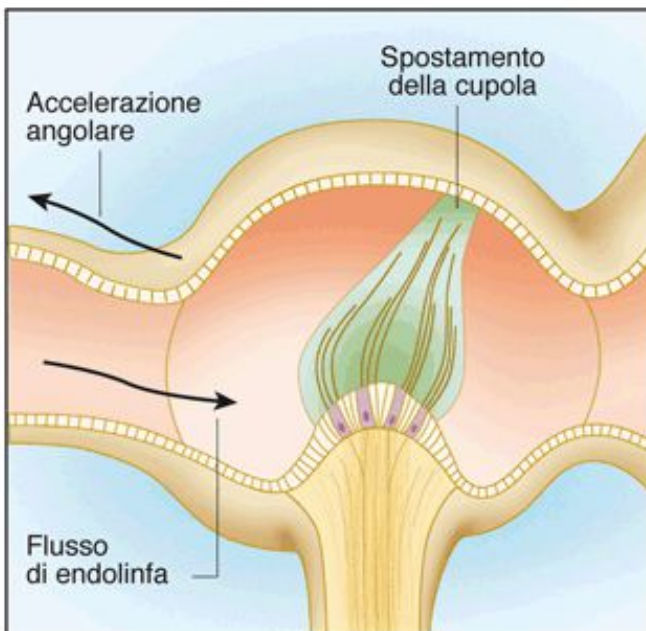
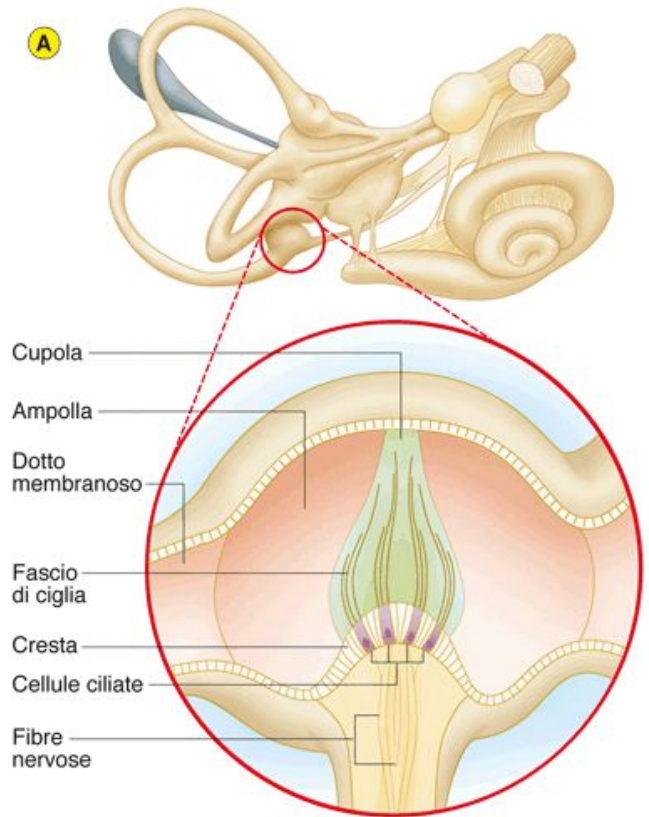


• I canali semicircolari contengono **endolinfa** e sono circondati da **perilinf**.



# Percezione delle accelerazioni angolari del capo

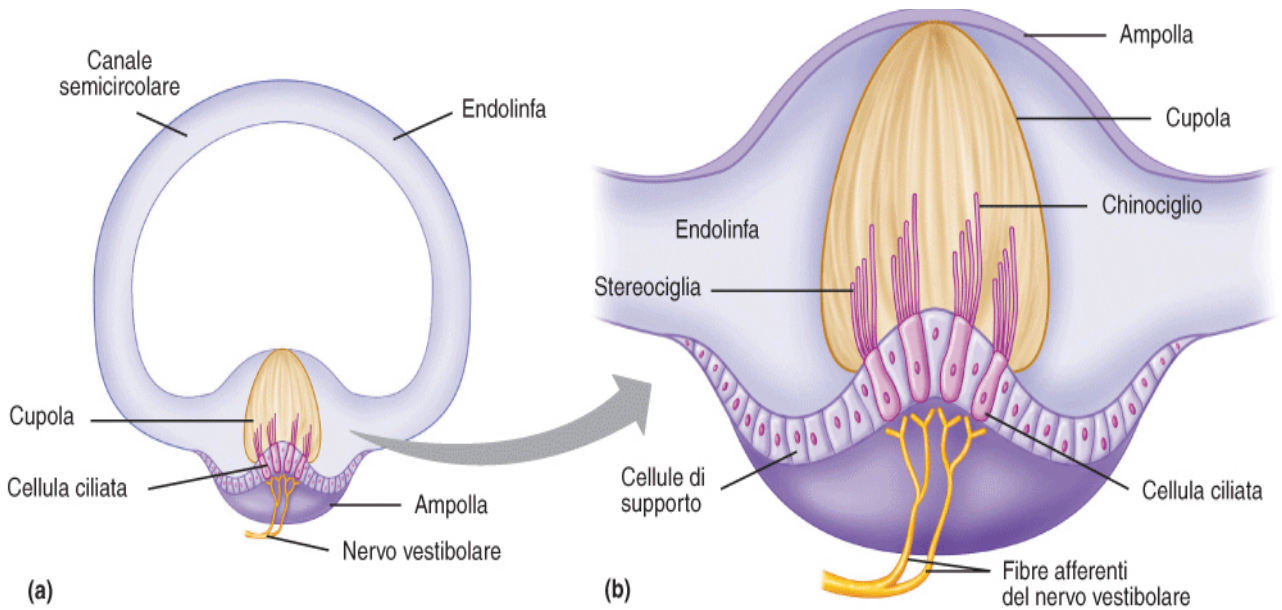
- i tre canali semicircolari sono connessi alle cavità di utricolo e sacco
- sono orientati *perpendicolarmente* uno rispetto all'altro
- alla base di ogni canale semicircolare si trova una dilatazione: *ampolla*
- all'interno dell'ampolla si trova una struttura gelatinosa: *cupola*
- le cellule cigliate sono situate nella *cresta ampollare* con le ciglia proiettate verso la cupola



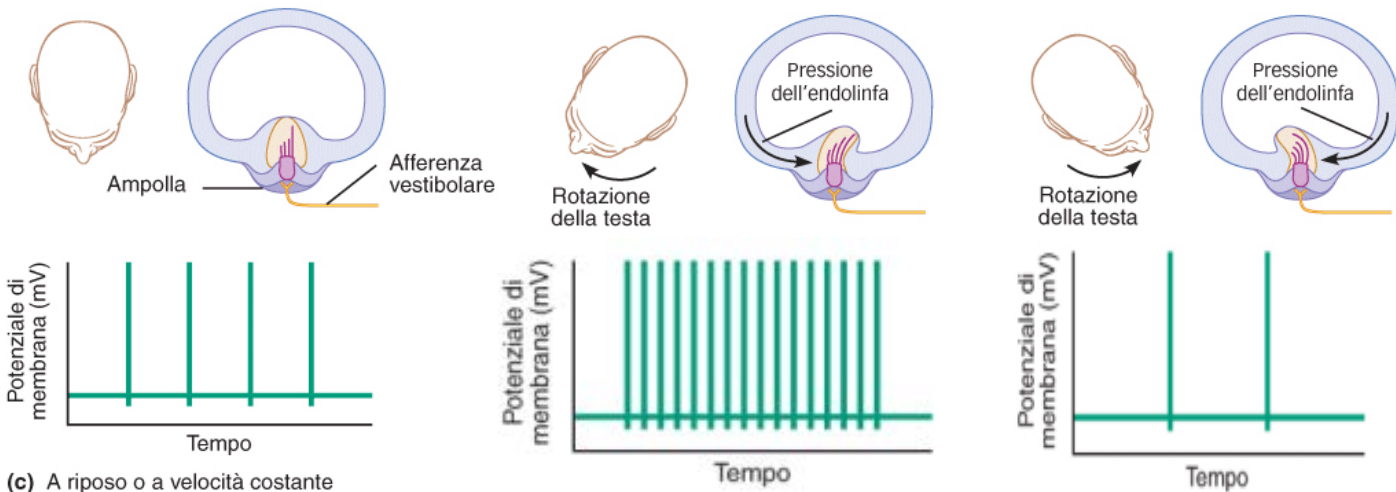
- la rotazione del capo determina un movimento dell'*endolinfa* nel canale semicircolare in direzione opposta alla rotazione del capo, causando una distorsione della cupola e la *flessione* delle stereocilia
- il movimento meccanico viene trasformato in segnale elettrico in seguito all'apertura (o chiusura) dei *canali MET* del  $K^+$  presenti sulle stereocilia



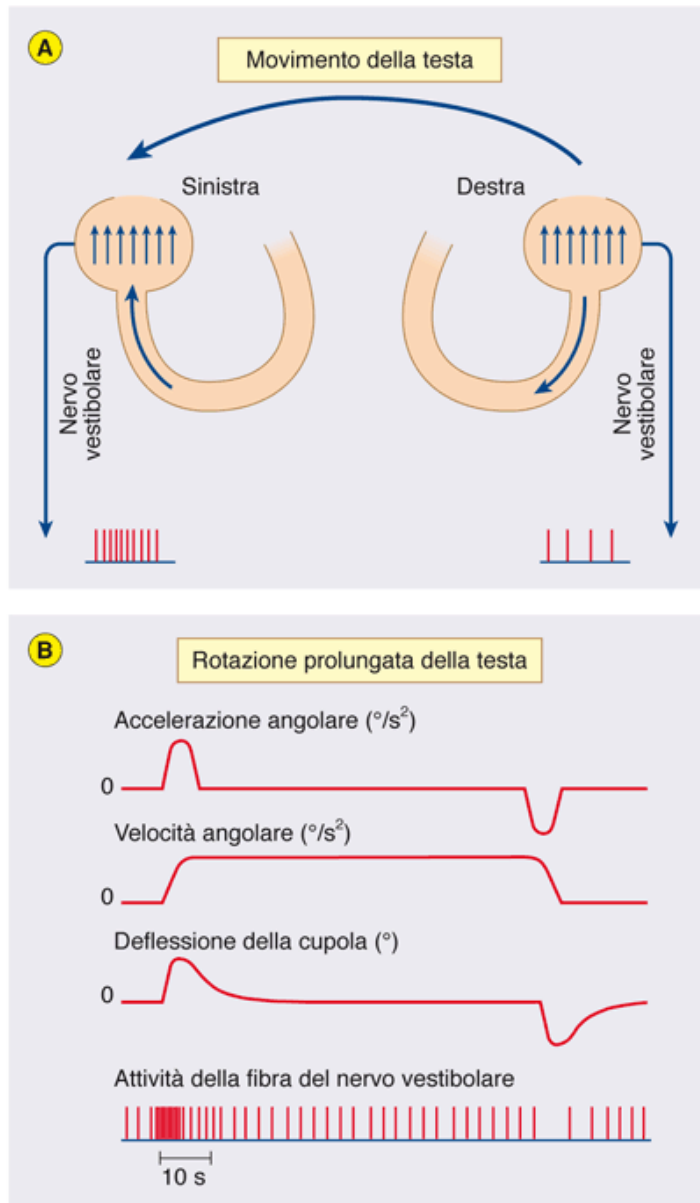
# Percezione dei movimenti rotatori del capo



La rotazione del capo determina un movimento dell'endolinfa nel canale semicircolare, causando una distorsione della cupola e la flessione delle stereociglia. Il movimento meccanico viene trasformato in segnale elettrico in seguito all'apertura (o chiusura) dei canali del  $K^+$  presenti sulle stereociglia.

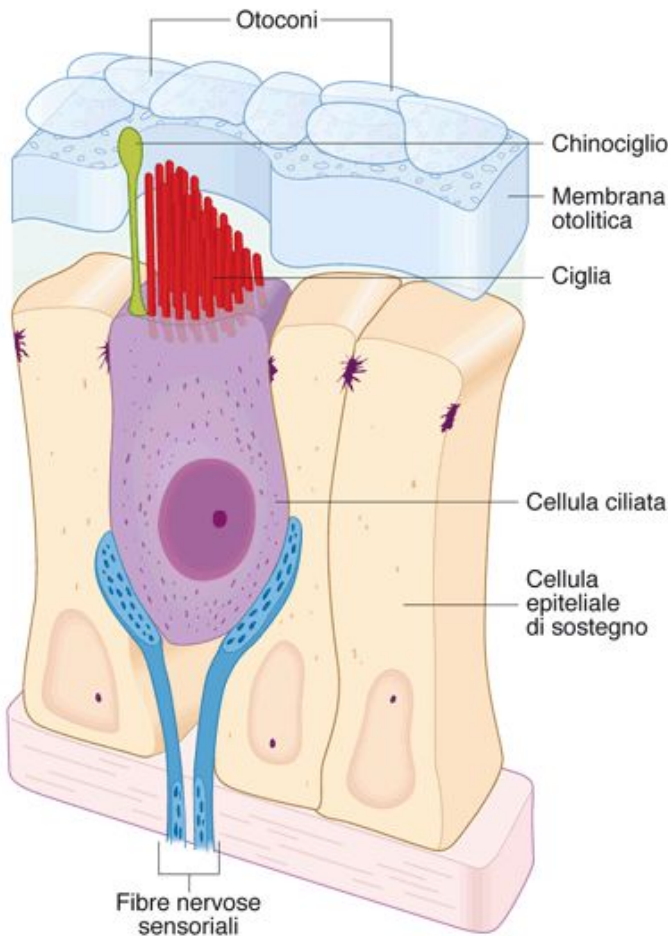


(c) A riposo o a velocità costante



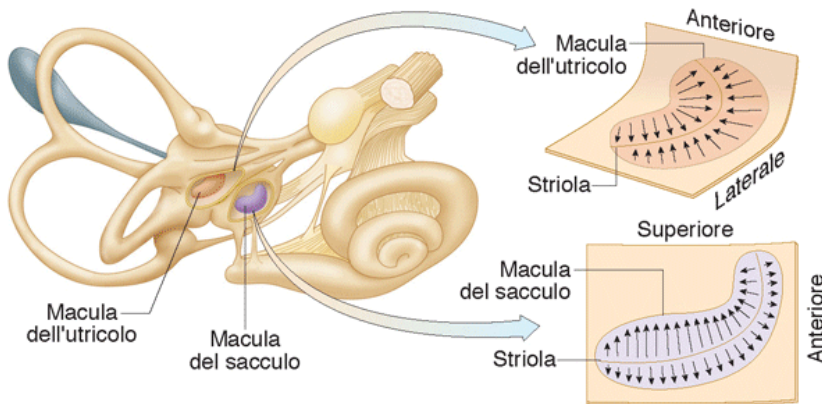
**Figura 11.7** Rotazione della testa sul piano orizzontale. (A) All'inizio della rotazione (accelerazione) si verifica uno spostamento in senso opposto dell'endolinfa (corrente endolinfatica, frecce grandi) all'interno dei canali semicirculari laterali dei due lati. Si attiva l'apparato recettoriale di un lato e contemporaneamente viene inibito quello controlaterale (l'orientamento di depolarizzazione delle cellule ciliate delle creste ampollari è indicato dalle frecce piccole). (B) I tracciati si riferiscono all'emisfero sinistro. Se il movimento rotatorio si mantiene a velocità costante, la corrente endolinfatica rallenta progressivamente fino a fermarsi: a questo punto cessa la risposta recettoriale. Al termine della rotazione della testa (decelerazione) l'endolinfa continua a muoversi per un breve periodo nella stessa direzione della rotazione e genera una risposta recettoriale opposta rispetto a quella iniziale.

## Organi otolitici: sacco e utricolo

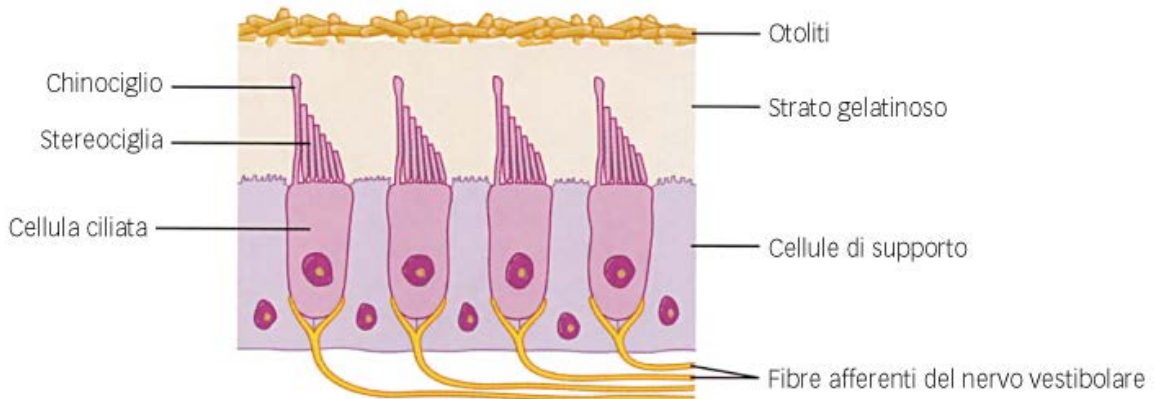


- *sacculo e utricolo* contengono *cellule ciliate*
  - la cellula ciliata si trova nella *macula* degli organi otolitici, circondata da cellule epiteliali di sostegno
  - nella parte apicale la cellula ciliata possiede un ciuffo di *stereociglia* a canna d'organo e un *chinociglio*
  - sulla sommità delle cellule ciliate si trova uno strato gelatinoso. Sulla membrana otolitica sono dispersi gli *otoliti* (*otoconi*, cristalli di carbonato di calcio)
  - movimenti del capo muovono gli otoliti rispetto alle ciglia e inducono segnali elettrici
- 
- a causa della disposizione delle cellule ciliate nei due organi e della direzione in cui proiettano le ciglia, il *sacculo* percepisce movimenti “alto e basso”, l’*utricolo* percepisce movimenti “avanti e indietro”.

# Polarizzazione delle cellule cigliate in sacco ed utricolo



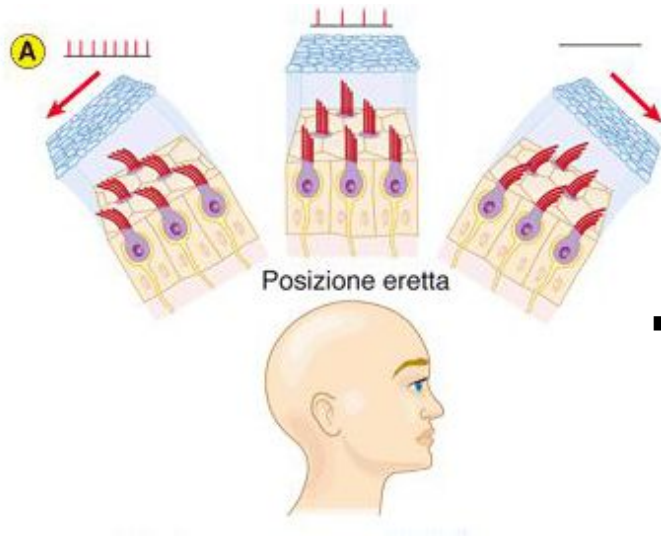
- quando la testa è in posizione eretta la macula dell'*utricolo* è orientata sul *piano orizzontale*.
- la macula del *sacculo* è orientata sul *piano verticale*



- le cilia delle cellule dell'*utricolo* si spostano in seguito ad *accelerazioni lineari in avanti*, indietro e di lato
- le cilia del *sacculo* rispondono ad *accelerazioni* e *decelerazioni lineari in verticale* (salita e discesa con l'ascensore)

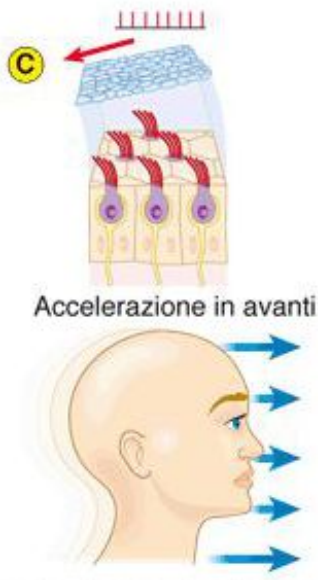


# Percezione delle accelerazioni lineari del capo



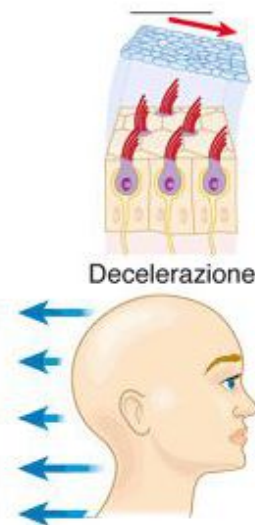
- a riposo le stereocilia rimangono erette e la cellula ciliata è solo parzialmente depolarizzata. Il neurone afferente scarica potenziali d'azione ad una frequenza moderata
- inclinando il capo in avanti o indietro cambia la posizione degli otoliti, le ciglia si flettono e la frequenza cambia
- in questo modo determiniamo la posizione del capo

## Accelerazione del capo in avanti



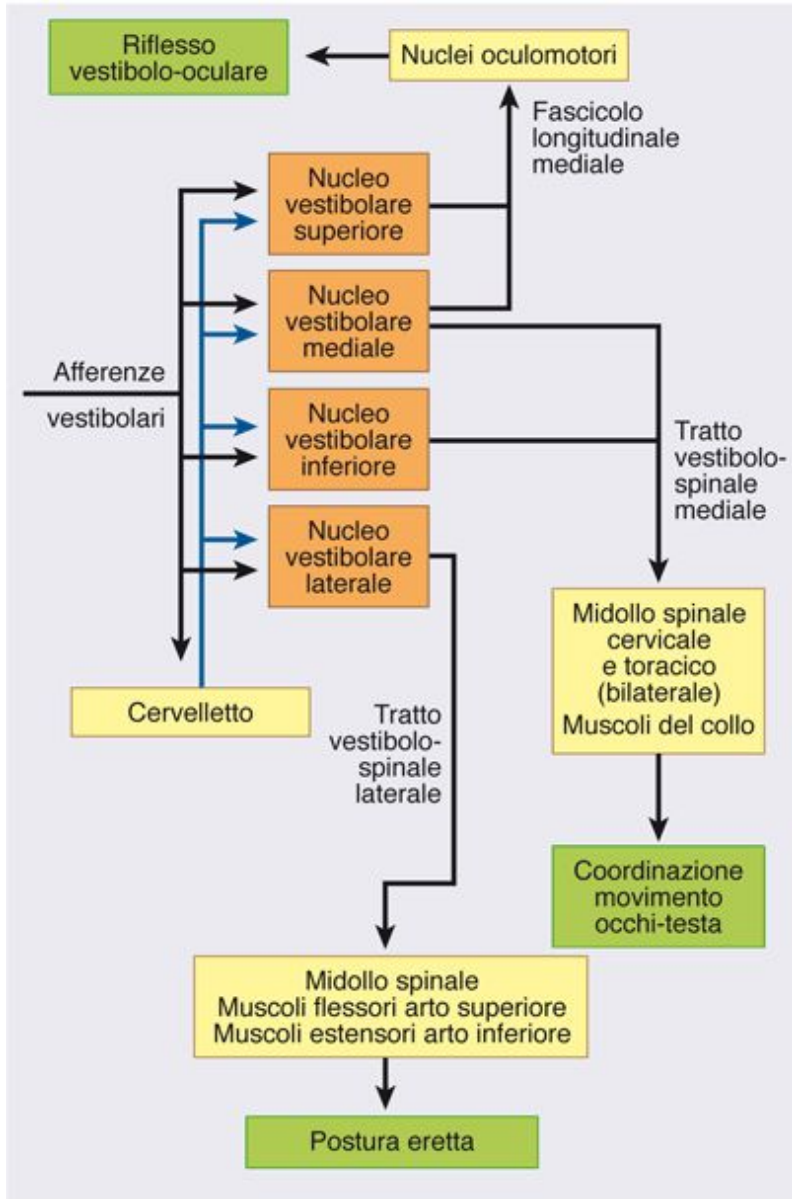
- depolarizzazione cellula ciliata: aumento della frequenza dei PA

## Accelerazione del capo indietro



- iperpolarizzazione cellula ciliata: riduzione della frequenza dei PA

# Le vie vestibolari centrali



- il sistema vestibolare svolge due funzioni complementari
- *funzione dinamica*: accelerazioni della testa, mantenimento dell'equilibrio durante il movimento
- *funzione statica*: posizione del capo ad ogni istante e controllo della postura

- le afferenze vestibolari (neuroni del *ganglio di Scarpa*) proiettano al *cervelletto* e ai *nuclei vestibolari*
- i n. vestibolari proiettano a loro volta al *midollo spinale* attraverso il *tratto vestibolo-spinale* e ai *nuclei oculomotori* attraverso il *fascicolo longitudinale spaziale*