

4. Anatomia e fisiologia dell'apparato uditivo

La funzione dell'orecchio è talmente nota che non sembra necessario precisarne il compito senza cadere in considerazioni banali: l'orecchio è l'organo di senso che ci permette di sentire; sono però necessarie alcune precisazioni:

- con il termine orecchio non intendiamo solo la parte esterna (padiglione auricolare), ma tutto un complesso sistema di apparati che permette di trasformare una variazione della pressione dell'aria, indotta da una sorgente vibrante (una persona che parla, uno strumento musicale, un petardo che esplode,...), in un impulso elettrico capace di generare, a livello cerebrale, la sensazione sonora;
- tecnicamente si dice che l'orecchio è un trasduttore, cioè un dispositivo in grado di trasportare energia da un punto all'altro dello spazio trasformando l'energia stessa nelle sue varie forme;
- meccanismi evolutivi hanno probabilmente agito per aumentare l'efficienza di tale trasporto e a determinare una struttura dell'orecchio molto simile in tutti i mammiferi.

Passiamo ora alla descrizione dell'anatomia delle varie parti da cui è costituito l'orecchio: esterno, medio e interno, e una breve descrizione delle loro funzionalità (Fig. 12).

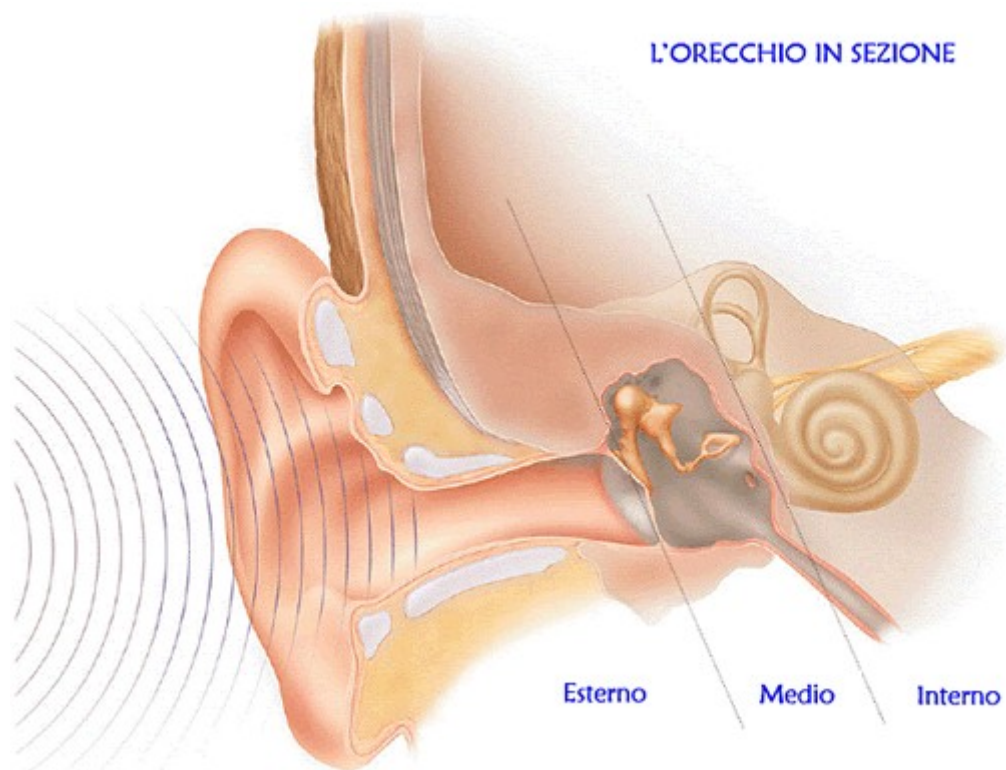


Figura 12: Divisione strutturale dell'orecchio; Zannoni 2009.

L'orecchio esterno è costituito dal padiglione auricolare e dal condotto uditivo esterno, un sottile canale che termina in una membrana detta timpano. Le funzioni del padiglione auricolare sono di

- raccogliere una porzione significativa delle onde acustiche (proporzionale all'area del padiglione) e di convogliarle, tramite il condotto uditivo, alla membrana timpanica;
- determinare tramite un affinato sistema basato sulla presenza dei due padiglioni auricolari, la posizione spaziale della sorgente sonora;
- proteggere la membrana timpanica da lesioni meccaniche ed il mantenimento di tale delicata membrana a condizioni di temperatura ed umidità costanti, in modo da preservarne le preziose caratteristiche elastiche.

Il condotto uditivo esterno ha un diametro di 7,5 mm e una lunghezza di 22-

25 mm, non sembra avere altra funzione che non sia quella di convogliare l'onda sonora verso la membrana timpanica. In realtà la lunghezza di tale condotto gioca un ruolo fondamentale nel determinare la regione in frequenza, di massima sensibilità uditiva. Con un rapido calcolo è facile dimostrare che se si tratta il condotto come un tubo con una estremità aperta, esso entra in risonanza alla frequenza di circa 2.700 Hz; anche se poi, per la concomitanza di altri processi, la regione di massima sensibilità uditiva si colloca attorno ai 3.800 Hz, “tarata” per la voce umana (Fig. 13) (Unimore 2008).

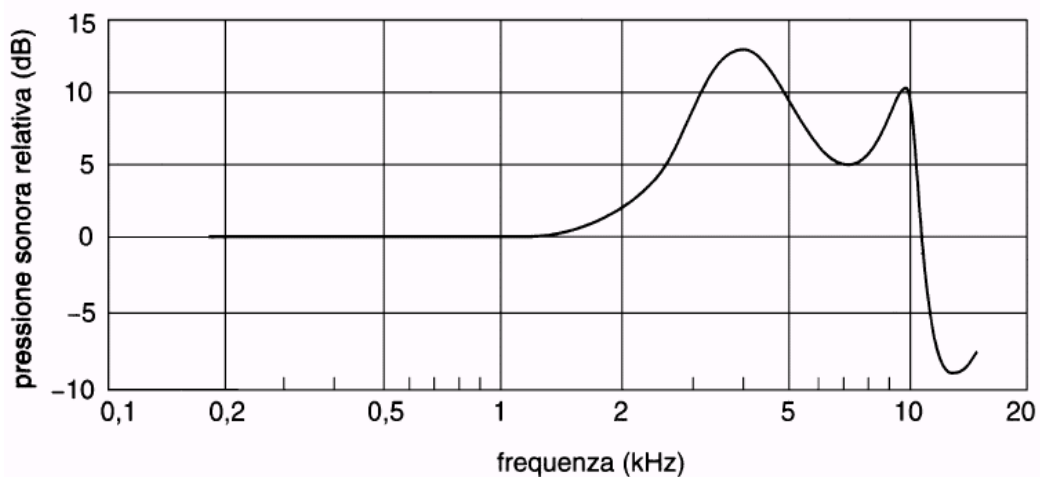


Figura 13: Risposta in frequenza del condotto uditivo esterno; Cananzi 2009.

Dopo aver esaminato l'orecchio esterno prendiamo adesso in considerazione l'orecchio medio, formato da una cavità piena d'aria, scavata all'interno dell'osso temporale, ed è così sottile da poter contenere a malapena 5-6 gocce d'acqua. E' costituito dalla membrana timpanica, da una struttura formata da tre ossicini (martello, incudine, staffa), e da una seconda membrana che costituisce la finestra ovale, porta di accesso all'orecchio interno (Zannoni 2009).

- Il **timpano** è una sottilissima membrana, tenuta in tensione dal

muscolo timpanico, e capace di entrare in vibrazione, se investita dall'onda sonora convogliata dall'esterno tramite il condotto uditivo (Fig. 14).

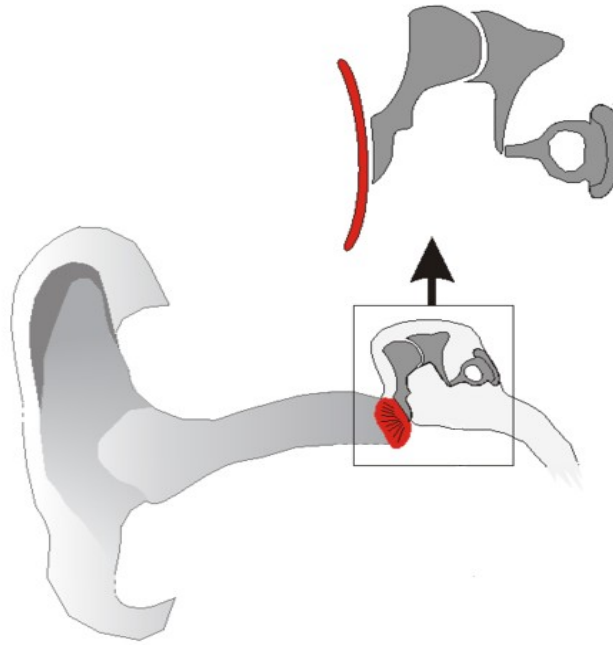


Figura 14: Membrana timpanica e sua collocazione;
<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/32/Trommelfell.png/529px-Trommelfell.png>

Grazie alle proprietà elastiche di tale membrana la sensibilità del timpano (o meglio la capacità che l'intero apparato denominato orecchio, ha di convertire un'onda di pressione in un impulso nervoso capace di generare la sensazione) è straordinaria, e questi dati ce ne danno un'idea:

- per attivare la sensazione sonora è sufficiente un livello di pressione pari a 0,2 miliardesimi della pressione atmosferica;
- lo spostamento della membrana timpanica a questi livelli di pressione è dell'ordine di 10^{-9} cm (circa un decimo del raggio dell'atomo di idrogeno) (Unimore 2008).

La membrana timpanica è uno degli organi più stupefacenti del nostro corpo; ancora oggi non si è in grado di riprodurla artificialmente, in quanto vi troviamo due caratteristiche, che non presenta nessun altro materiale, importantissime per la trasmissione dei suoni al cervello: l'aperiodicità e lo smorzamento. L'aperiodicità indica che non ha una frequenza propria di vibrazione, ma assume tutte le caratteristiche dello stimolo fisico che la eccita; lo smorzamento, quasi critico, fa sì che la membrana non continui a vibrare per proprio conto cessato lo stimolo (Fig. 15) (Cananzi 2009: 12).



Figura 15: Membrana timpanica; Cananzi 2009: 12.

- La **catena degli ossicini** trasferisce la vibrazione dalla membrana timpanica alla **finestra ovale**. Il martello è, con un'estremità, a diretto contatto con il timpano e, incernierato dall'altra estremità all'incudine, la quale, a sua volta, spinge la staffa contro la membrana della finestra ovale (Fig. 16) (Unimore 2008).

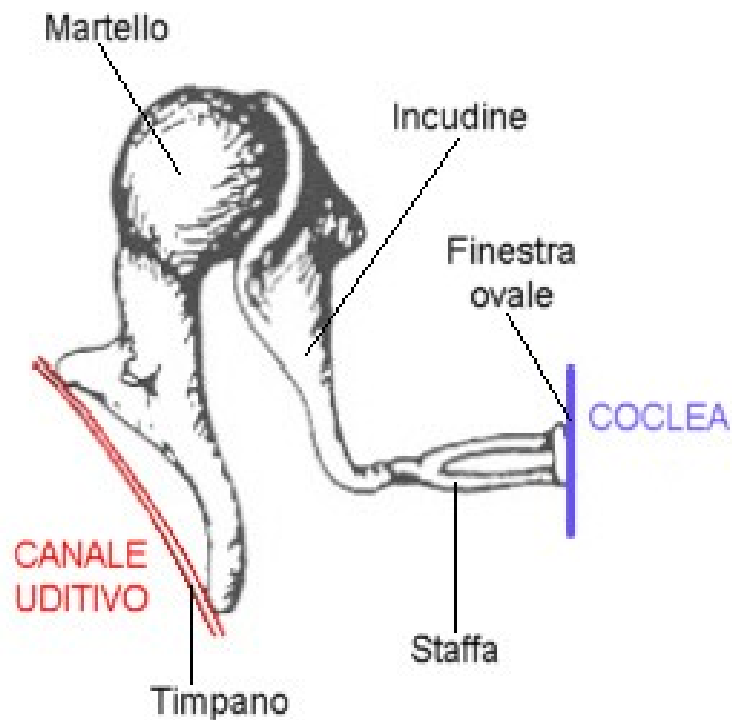


Figura 16: Schema fisiologico della membrana del timpano e della catena degli ossicini;
<http://www.asselda.it/wp-content/uploads/2009/01/orecchio-medio.jpg>

Dalla finestra ovale la vibrazione viene trasmessa all'orecchio interno, costituito dalla coclea, uno strumento di alta ingegneria biologica il cui funzionamento non è ancora perfettamente chiaro. È la coclea che deve trasformare gli impulsi di pressione provenienti dall'orecchio medio in impulsi nervosi (elettrici) destinati al cervello, conservando tutte le informazioni (frequenza, intensità, durata) relative al suono. E' dotata di tre piccoli canali circolari orientati secondo le tre direzioni dello spazio che vengono utilizzati dal cervello per la percezione dell'equilibrio (dunque questa funzionalità esula completamente dalla nostra trattazione); forma la parte anteriore del labirinto osseo, assomiglia al guscio di una lumaca e figura come un canale a spirale che svolge due giri e mezzo circa, attorno ad un cono osseo centrale. Al suo interno abbiamo il condotto cocleare che

suddivide lo spazio interno alla coclea in due parti, una sovrastante ed una sottostante il condotto cocleare stesso. All'interno del condotto cocleare, lungo tutta la sua lunghezza è appoggiato l'organo del Corti. (Fig. 17).

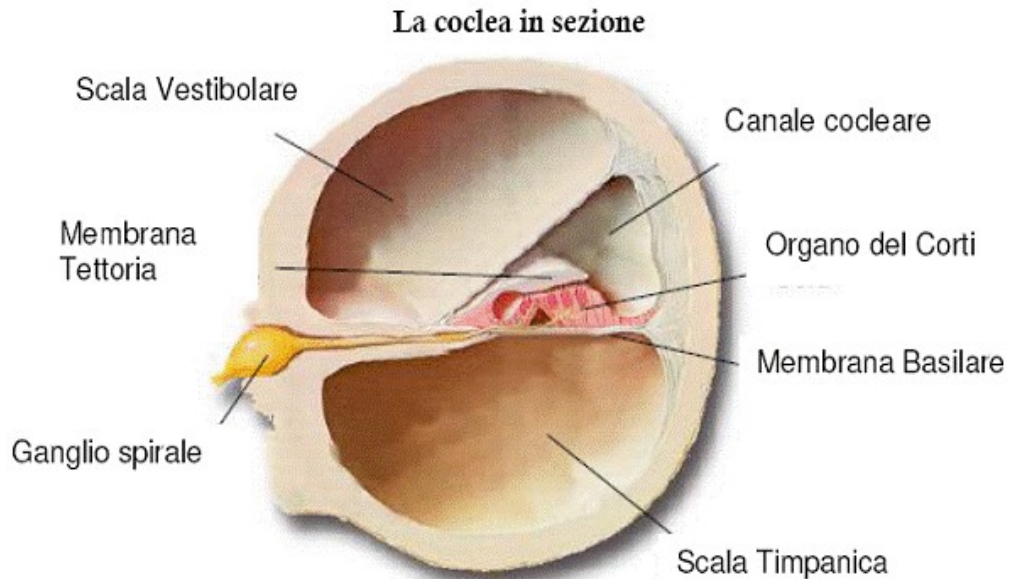


Figura 17: Coclea in sezione; Zannoni 2009.

Nella coclea è contenuto un liquido incompressibile chiamato endolinfa. Questo fluido vibra ogni volta che la staffa, solidale alla finestra ovale, preme su quest'ultima. Ogni volta quindi che un suono raggiunge gli ossicini, la finestra ovale genera una pressione sul fluido interno della chiocciola; quest'ultimo trasmette la pressione al suo interno attorno alla membrana basilare, e la sfoga infine sulla finestra circolare, la quale viene spinta verso l'esterno. La pressione che si genera all'interno del fluido crea delle onde stazionarie sulla membrana basilare. L'onda stazionaria di una particolare frequenza avrà un picco in una particolare posizione sulla membrana: se il suono è a bassa frequenza, in un punto lontano della membrana, se il suono è ad alta frequenza, in vicinanza della finestra ovale (Izzo 2005).

La parte sensoriale (vale a dire quella che analizza le onde sonore) della

coclea è rappresentata dall'organo del Corti; tale organo è appoggiato sulla membrana basilare e si estende per tutta la lunghezza della coclea stessa (Fig. 18).

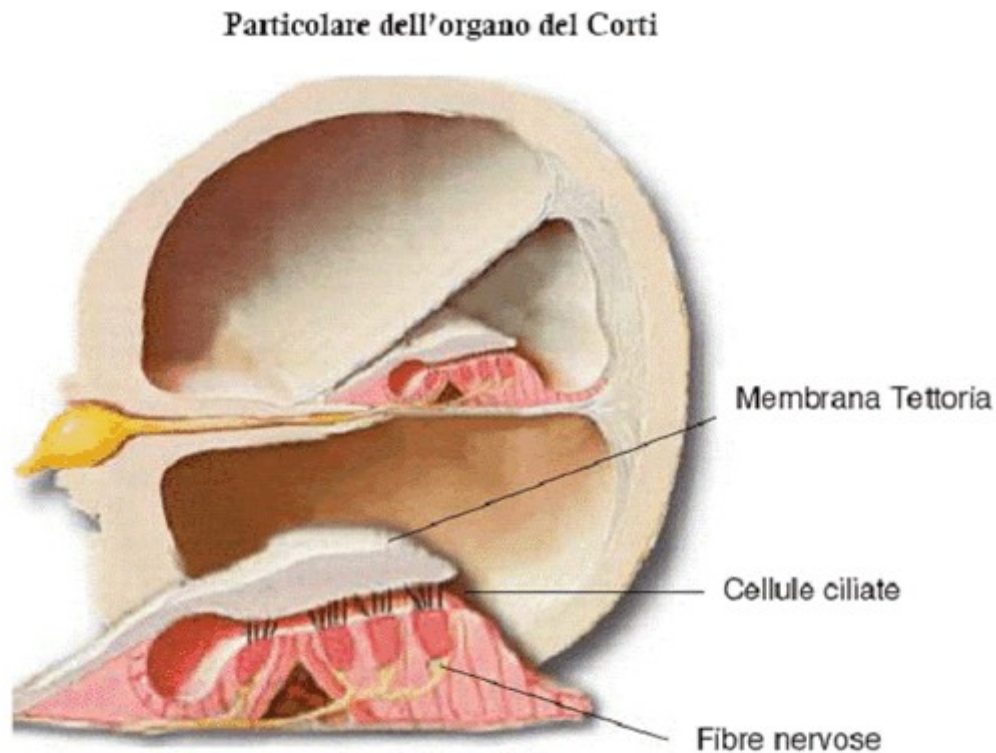


Figura 18: Particolare dell'organo del Corti; Zannoni 2009.

L'Organo del Corti è costituito da cellule di sostegno e da cellule sensitive acustiche che rappresentano i recettori uditivi. Esse sono dotate di ciglia le quali si bagnano nell'endolinfa. Sopra l'organo del Corti è posta la membrana tectoria che sovrasta i peli delle cellule acustiche. Quando la base del condotto cocleare vibra (membrana basilare), determina un avvicinamento dei peli alla membrana tectoria che causa l'attivazione delle cellule acustiche. Lo stato di eccitazione viene trasmesso ai centri acustici del cervello tramite le fibre nervose del nervo acustico cocleare (Fig. 19) (Zannoni 2009).

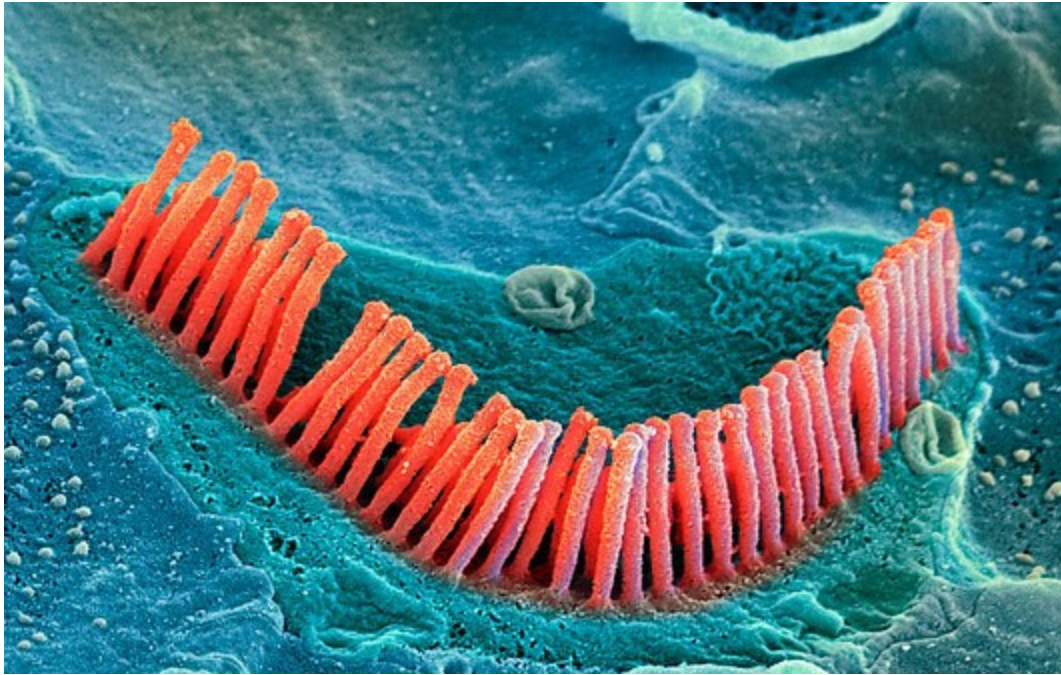


Figura 19: Cellule ciliate al microscopio elettronico; Cananzi 2009.

Ricapitolando la membrana timpanica trasforma la vibrazione in energia meccanica che, attraverso la catena degli ossicini viene trasmessa alla coclea e, a sua volta, trasformata in impulso nervoso.

Adesso esamineremo come il cervello codifica le frequenze inviate dal nervo acustico cocleare.

“Nel caso dei suoni puri, non formati da più frequenze, il meccanismo di assegnazione del pitch da parte del cervello è di carattere posizionale. La membrana basilare, ossia il filamento interno alla coclea che entra in oscillazione quando, attraverso la catena degli ossicini, riceve la perturbazione timpanica e si deforma in modo diverso a seconda della frequenza dell'onda acustica ricevuta: più alta è la frequenza in arrivo, più il massimo di deformazione della membrana basilare si trova sul lato degli ossicini.

Lungo la membrana basilare corrono delle terminazioni nervose, le cellule ciliate: la loro configurazione di eccitazione risulta quindi caratteristica per

ciascuna frequenza, ed è questo il tipo di informazione che il cervello utilizza per individuare l'altezza della nota.

Quanto all'intensità del suono, le terminazioni nervose attivate inviano al cervello un treno di impulsi che è tanto più fitto nel tempo quanto più il suono è forte (questo è il primo e più ovvio aspetto della funzione di conteggio svolta dal cervello) (Fig. 20).

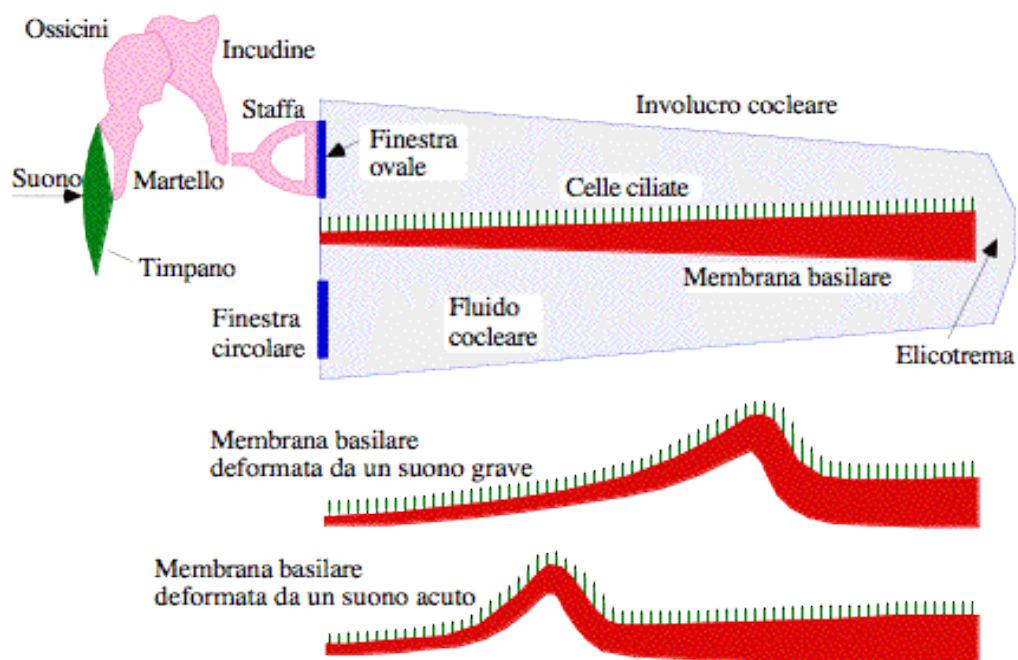


Figura 20: In alto, schema in assetto lineare della catena timpano-ossicini-coclea, in centro e in basso, rappresentazione schematica della deformazione della membrana basilare: il punto di massima eccitazione si colloca tanto più lontano dalla finestra ovale quanto minore è la frequenza (altezza) del suono; Frova 2001.

Nel caso dei suoni reali, costituiti da molte frequenze, le cose non sono così semplici, perché sulla membrana basilare si hanno simultaneamente molteplici siti di elevata eccitazione. Eppure il cervello giunge egualmente ad assegnare un solo pitch, che per lo più corrisponde al tono fondamentale dell'insieme di parziali. Attenzione, ciò è vero quand'anche, nell'insieme di frequenze, quella fondamentale si trovasse a mancare (nel qual caso il pitch sarebbe del tutto virtuale).

Sono stati formulati svariati modelli psicoacustici per spiegare come il cervello può interpretare i dati forniti dalla coclea, che tuttavia si riducono essenzialmente a due punti di vista: il cervello estrae il pitch analizzando la configurazione complessiva di deformazione della membrana basilare (modelli posizionali o tonotopici), in sostanza operando, per quanto detto sopra, un'analisi spettrale del suono; oppure analizza e giudica la successione nel tempo del treno di impulsi evocati sulla membrana basilare (modelli temporali o di periodicità).

Nessuno dei due tipi di modelli, da solo, spiega appieno i dati sperimentali, ma il secondo gode oggi di maggior credito; tuttavia è assai probabile che esso non operi mai disgiunto dal primo, altrimenti non si spiegherebbe l'indipendenza della percezione dei caratteri essenziali del suono, timbro, altezza, intensità, dalla fase delle parziali, circostanza che lascia supporre un'analisi spettrale del segnale globale.

In conclusione, si potrebbe dire che i segnali classicamente consonanti sono preferiti perché più facili da elaborare per il sistema orecchio-cervello. Il conteggio è tanto più agevole quanto più il suono presenta una strutturazione armonica, sia quando è costituito da una nota isolata, sia quando risulta da un insieme di note.

Taluni più recenti tentativi di innovazione, di fronte ai quali le platee si mostrano riluttanti, potrebbero non aver tenuto nel debito conto le oggettive esigenze, le capacità e soprattutto gli eventuali limiti del sistema della percezione uditiva: vale a dire le condizioni imposte dai meccanismi fisici e fisiologici delle parti vibranti, le limitazioni dettate dai processi di decifrazione a livello psichico, e infine i problemi di assuefazione a suoni o a loro insiemi che non hanno un corrispettivo nella natura.” (Frova 2001)