



INFORMATICA MUSICALE

*UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CATANIA
DIPARTIMENTO DI MATEMATICA E INFORMATICA
LAUREA TRIENNALE IN INFORMATICA
A.A. 2018/19
Prof. Filippo L.M. Milotta*

ID PROGETTO: 2F

TITOLO PROGETTO: Inquinamento Acustico

AUTORE: Saitta Nunzio

Indice

1. Obiettivi del progetto	2
2. Riferimenti Bibliografici	8
3. Argomenti Teorici Trattati	9

1. Obiettivi del progetto

Cos'è l'inquinamento acustico?

L'inquinamento acustico è causato soprattutto da un'eccessiva esposizione a suoni e rumori di elevata intensità. I suoi effetti negativi sulla salute umana e sulla qualità della vita sono ormai noti: l'inquinamento acustico rappresenta uno dei più gravi (e sottovalutati) problemi ambientali, a causa dell'elevato e diffuso impatto sulla popolazione.

La legge n. 447/1995 art. 2 fornisce la definizione di inquinamento acustico: "l'introduzione di rumore nell'ambiente abitativo o nell'ambiente esterno tale da provocare fastidio o disturbo al riposo e alle attività umane, pericolo per la salute umana, deterioramento degli ecosistemi, dei beni materiali, dei monumenti, dell'ambiente abitativo o dell'ambiente esterno o tale da interferire con le normali funzioni degli ambienti stessi".

Da cosa è provocato?

Il rumore, che si configura come una sensazione uditiva sgradevole e fastidiosa o intollerabile, può essere di vari tipi e provenire da varie sorgenti (traffico stradale, ferroviario e aereo; attività artigianali, commerciali e industriali; fenomeni meteorologici; elettrodomestici o altre apparecchiature presenti in casa).

Il traffico veicolare rappresenta la principale forma di disagio per i cittadini, poiché coinvolge gran parte della popolazione. Le segnalazioni acustiche, l'attrito degli pneumatici sulla strada o delle ruote dei tram sulle rotaie, i rumori dei motori, lo scarico dei gas combusti, le mutue azioni dinamiche tra carrozzeria e aria circostante rappresentano purtroppo la nostra colonna sonora quotidiana.

Più sopportabile risulta il **traffico ferroviario**, che disturba un numero inferiore di persone e produce un rumore di debole impulsività e dalla traccia acustica stabile, provocato dal motore e dall'attrito ruota-rotaia.

Il rumore da **traffico aereo** sta invece acquisendo una crescente rilevanza in ambito territoriale, anche se per fortuna interessa solamente le aree in prossimità degli aeroporti e i cosiddetti "corridoi di sorvolo". In questo caso, i fastidi al nostro udito sono provocati dai motori dei velivoli e dalle fragorose fasi di atterraggio e decollo.

Per quanto riguarda **le attività industriali e artigianali**, il rumore connesso agli impianti è prodotto da una sorgente puntiforme ed origina un'area di esposizione circolare. L'intensità dipende dalla potenza sonora della sorgente, mentre la traccia acustica risulta piuttosto stabile nel tempo.

Altri esempi di rumore ambientale sono poi quelli connessi alle varie **attività commerciali** (avrete sicuramente presenti gli alti volumi di officine, bar, pub, discoteche ecc.), ai **fenomeni meteorologici** e alla **vita domestica** (in questo caso entrano in campo televisori, stereo e radio tenuti a volumi alti, così come i rumori eccessivi prodotti dagli strumenti musicali o da lavoro o da altri elettrodomestici quali l'aspirapolvere, l'asciugacapelli o la lavatrice).

Cosa provoca?

La sensibilità dell'orecchio umano rispetto al suono è compresa tra 16 e 20 000 Hz, ma non tutte le frequenze sono percepite con la stessa intensità: infatti, l'orecchio umano esibisce una migliore sensibilità alle frequenze medie, mentre essa peggiora per i suoni acuti (alte frequenze) e per i suoni gravi (basse frequenze). La misura viene eseguita con strumenti atti a misurare il suono (fonometri); questi rilevano l'intensità del suono come pressione sonora sulla base della quale è possibile valutare il grado di disturbo o l'eventuale danno. Quando, in una certa area, la variazione di pressione sonora si aggira intorno ai 10-100 Pa, si dice che l'area è inquinata acusticamente.

Gli effetti del rumore sull'uomo sono molteplici e possono essere distinti in:

- effetti di danno (alterazione non reversibile o solo parzialmente reversibile di un organo o di un sistema), ne esistono due forme:
 - danno specifico: causato ai soggetti che si espongono per periodi prolungati recando la perdita irreversibile dell'udito (ipoacusia). Si riscontra soprattutto in ambiente lavorativo;
 - danno non specifico: causato da un'esposizione sonora non sufficientemente elevata da recare danni specifici, però può, col tempo, apportare danni al sistema uditivo e causare malesseri di tipo psicofisico. Si riscontra in ambito urbano;
- effetti di disturbo (alterazione temporanea di un organo o di un sistema).
- annoyance (sensazione di scontento o di fastidio generico).

Come combatterlo?

A livello comunitario, la direttiva 49/2002/CE relativa alla determinazione e gestione del rumore ambientale ha cercato di uniformare le definizioni e i criteri di valutazione dell'inquinamento acustico. Questa norma è stata recepita a livello nazionale col decreto legislativo n. 194/2005, che ha adottato il ricorso a specifici indicatori acustici e precise metodologie di calcolo, prevedendo anche la valutazione del grado di esposizione al rumore mediante mappature acustiche, la maggiore attenzione all'informazione della popolazione, nonché l'identificazione e la conservazione di aree di quiete. Nel decreto sono inoltre indicate le competenze e procedure per l'elaborazione e l'adozione dei piani d'azioni per evitare o ridurre il rumore ambientale.

In base all'articolo 190 del suddetto Decreto Legislativo il datore di lavoro deve valutare l'esposizione professionale quotidiana personale di ogni singolo lavoratore. Al calcolo di tale parametro si può pervenire attraverso la misura della rumorosità delle macchine ed attrezzature presenti in azienda rapportate poi al tempo di permanenza del lavoratore sul posto di lavoro. I parametri da valutare sono il livello equivalente in dB(A) ed il livello di picco in dB(C):

- Livello Equivalente ≤ 80 dB(A) e ≤ 135 dB(C): non vi è nessun obbligo.
- Livello Equivalente compreso tra 80 e 85 dB(A) e tra 135 e 137 dB(C):
 - Valutazione del rischio.
 - Formazione (informazione ed educazione) a tutti i lavoratori.
 - Fornitura di dispositivi di protezione individuale.
 - Controllo sanitario su richiesta del lavoratore o se ritenuto opportuno dal medico competente.
- Livello Equivalente compreso tra 85 e 87 dB(A) e tra 137 e 140 dB(C):
 - Programma di bonifica ambientale.
 - Obbligo all'uso di DPI auricolari (tappi o cuffie).
 - Controllo sanitario obbligatorio.
- Livello Equivalente > 87 dB(A) e > 140 dB(C) (considerare questo parametro con dispositivo di protezione individuale indossato):
 - Questi parametri non devono essere mai superati e nel caso contrario fanno scattare l'obbligo di misure immediate.

Oltre la normativa: come fare la lotta al rumore

Al di là delle norme di buona convivenza civile e rispetto degli altri, sono numerose le azioni che possono essere intraprese per la lotta al rumore. L'Istituto nazionale per l'assicurazione contro gli infortuni sul lavoro ne segnala alcune:

- l'abbattimento del rumore alla fonte,
- l'uso di macchine, attrezzature e strumenti con basse emissioni rumorose,
- la manutenzione periodica e l'eventuale sostituzione di macchine, apparecchiature e strumenti,
- l'utilizzo dei dispositivi di protezione collettiva (insonorizzazione degli ambienti) e individuale (otoprotettori),
- la sorveglianza sanitaria degli esposti,
- la vigilanza sul rispetto della normativa vigente.

Per quanto riguarda il traffico stradale, la limitazione dell'inquinamento acustico passa per l'incentivazione all'utilizzo dei veicoli elettrici e allo svecchiamento dei mezzi di trasporto pubblici e privati, la riduzione dei limiti di velocità, l'introduzione di alcuni accorgimenti tecnici sulle automobili (marmitte elettroniche, pneumatici silenziosi ecc.), il finanziamento delle attività di ricerca per lo sviluppo di veicoli a basse emissioni inquinanti, e l'applicazione di asfalti fonoassorbenti.

Molti sono gli interventi possibili nell'ambito della progettazione architettonica. I cortili alberati e le barriere di siepi sono per esempio dei fonoassorbenti naturali, che oltre a ridurre i rumori migliorano la nostra qualità di vita, regalandoci un po' di verde e di pace. Vi sono inoltre specifiche modalità di orientamento, isolamento e costruzione degli edifici che possono contribuire a rendere più silenziose le nostre città. Il design può quindi fare la differenza!

I Lavoratori nel settore aeronautico e metalmeccanico

La costante esposizione al rumore può essere pericolosa per i lavoratori del trasporto aereo. Piloti, assistenti di volo, meccanici, addetti ai bagagli trascorrono molto del loro tempo in ambienti rumorosi. La maggior parte, oggi, ha in dotazione cuffie che offrono un certo grado di protezione dal rombo dei motori a reazione, ma la generazione precedente di dipendenti delle compagnie aeree non le ha mai indossate, e ora ne sta pagando il prezzo. Uno studio condotto dallo US Bureau of Labor Statistics ha annoverato il settore del trasporto aereo tra le professioni più pericolose, in termini di salute uditiva, seconda solo al settore metallurgico.

I ricercatori della Purdue University hanno misurato che il suono di un jet in fase di decollo a 25 metri di distanza genera circa 150 dB – questo impulso rumoroso è capace di sfondare un timpano. Il decollo di un jet a 305 metri di distanza ha un livello acustico decisamente inferiore, pari a 100 dB. Tuttavia, possiede comunque il potenziale di provocare gravi danni all'udito, specie se vi si è esposti per un periodo di 8 ore, una situazione più che comune per gli addetti ai bagagli e per chi lavora sulle piste aeroportuali.

Gli addetti ai bagagli e i meccanici, che lavorano al di fuori del velivolo, sono esposti a livelli di rumore ancora più elevati. Nel 2009, un addetto ai bagagli della Air Canada ha citato in giudizio la compagnia aerea, vincendo la causa, in quanto ha sostenuto e provato che il deficit uditivo di cui soffriva era stato causato dall'eccessiva esposizione al rumore durante le mansioni relative alla gestione dei bagagli, che si svolgevano di prassi mentre i motori dell'aereo erano ancora accesi. Ha inoltre potuto dimostrare che anche il rumore dei nastri trasportatori ha contribuito alla sua perdita uditiva.

Oggi, la ricerca ha consentito di dotare gli aerei con una tecnologia per il "controllo attivo del rumore" che a bordo e in cabina lo riduce notevolmente. Questa tecnologia funziona producendo un'onda con pressione di uguale ampiezza e opposta al suono indesiderato. Grazie a tale onda, come risultato si ottiene una cabina più silenziosa. È la stessa tecnologia che viene utilizzata nella produzione delle cuffie dotate di eliminazione del rumore, e può essere usata anche in grandi spazi come la cabina di un velivolo.

Parlando di comparto metalmeccanico si indica che generalmente il rumore è presente in modo generalizzato e in alcune fasi è presente con intensità molto elevata. Nelle lavorazioni di allestimento, assemblaggio e rifinitura, si hanno operazioni che prevedono momenti di attrito tra il pezzo in lavorazione e l'utensile, vedi ad esempio la molatura, la martellatura, la punzonatura, la piallatura, ecc. Inoltre, alcune attrezzature complementari, quali la pistola ad aria compressa o la sparachiodi per le casse di spedizione, possono essere molto rumorose.

Inoltre, spesso è presente anche un'esposizione impropria al rumore che può essere dovuta a:

- carente manutenzione degli organi meccanici in movimento delle macchine utensili;
- disposizione e organizzazione di macchine e postazioni lavoro, che fanno sì che alcuni lavoratori siano esposti al rumore provocato da altri;
- caratteristiche strutturali dell'edificio, che possono provocare riverberi e/o amplificazione del suono.

DPI (Dispositivi di Protezione Individuale)

Sono tre i tipi di dispositivi che attenuano gli effetti del rumore sull'apparato uditivo:

- cuffie;
- inserti auricolari;
- caschi.

Tuttavia, il lavoro in condizioni di rumore estreme a volte può richiedere una protezione maggiore rispetto a quella fornita da una cuffia o da un inserto auricolare indossati separatamente. E l'attenuazione fornita dall'utilizzo congiunto dei due protettori non corrisponde alla somma di quella che caratterizza i singoli protettori. Alcune combinazioni possono addirittura ridurre la protezione. È opportuno seguire il consiglio di persone competenti per quanto concerne la capacità di una combinazione di protettori a fornire una maggiore attenuazione. Se fossero disponibili dati sull'attenuazione per le combinazioni, sarebbe preferibile utilizzare questi prodotti.

Cuffie

- conchiglie che coprono le orecchie e creano un contatto ermetico con la testa per mezzo di cuscinetti morbidi solitamente riempiti con liquido o espanso; sono solitamente rivestite con materiale fonoassorbente;
- fascia di tensione o archetti di sostegno;
- cinghia di sostegno flessibile su ciascuna conchiglia o sull'archetto di sostegno in prossimità delle conchiglie che serve a sostenere le conchiglie stesse quando l'archetto di sostegno è indossato dietro alla testa o sotto il mento.

In particolare, le cuffie con archetto di sostegno dietro alla nuca e sotto il mento consentono di indossare contemporaneamente un elmetto di sicurezza. Gli archetti universali, gli archetti di sostegno dietro alla nuca e sotto il mento possono essere integrati da cinghie di sostegno che assicurino un adattamento affidabile della cuffia.

- le cuffie per comunicazione: sono un tipo speciale di protettore auricolare, sono associate a dispositivi di comunicazione e necessitano di un sistema aereo o via cavo attraverso il quale possono essere trasmessi segnali, allarmi, messaggi di lavoro o programmi di intrattenimento;
- i protettori per la riduzione attiva del rumore (ANR): sono protettori auricolari che incorporano dispositivi elettroacustici concepiti per sopprimere parzialmente il suono in arrivo al fine di migliorare ulteriormente la protezione del portatore. Infatti, i rumori pericolosi non raggiungono l'orecchio grazie all'elettronica, per cui non vi sono pericoli per l'udito in caso di permanenza in ambienti di alta e media rumorosità.

Inserti Auricolari

Gli inserti auricolari, chiamati anche "tappi", sono invece protettori auricolari che vengono inseriti nel meato acustico esterno oppure posti nella conca del padiglione auricolare per chiudere a tenuta l'imbocco del meato acustico esterno. Talvolta sono provvisti di un cordone o di un archetto di interconnessione.

Sono da indossare sollevando il padiglione auricolare in modo da raddrizzare il condotto uditivo, favorendo l'introduzione del tappo che va leggermente ruotato. Al momento dell'uso vanno maneggiati con mani pulite, e si deve essere sicuri delle loro condizioni igieniche.

I tappi si suddividono in due categorie:

- inserti monouso: destinati ad essere utilizzati una sola volta;
- inserti riutilizzabili: destinati ad essere utilizzati più volte.

Inserti auricolari particolari sono gli inserti sospesi su un archetto di sostegno; vengono inseriti o posti all'imbocco del meato acustico esterno in modo da chiuderlo a tenuta.

Elmetti Acustici

Gli elmetti acustici coprono sia gran parte della testa sia l'orecchio esterno. Ciò può ridurre ulteriormente la trasmissione dei suoni per via aerea alla scatola cranica e quindi ridurre la conduzione ossea del suono all'orecchio interno

Speranze per il futuro

Gli ingegneri quantici dell'Istituto federale svizzero di tecnologia di Zurigo stanno sviluppando materiali di concezione radicale che un giorno potrebbero garantire livelli inusitati d'isolamento acustico. Sembrerà fantascienza, ma questi materiali potrebbero lasciar passare i rumori solo in una direzione, invece di risuonare nell'ambiente.

Andando ad agire a livello subatomico, si sfruttano i cosiddetti 'stati di edge', grazie ai quali le particelle si limitano a scorrere sul materiale senza penetrarlo. In pratica significa che ciò potrebbe offrire livelli incredibili d'isolamento dalle vibrazioni sonore — oltre a concentrarle, analogamente a ciò che fa una lente con la luce.

Questo genere di tecnologia potrà anche essere lontano dal trovare applicazione pratica, ma segna un cambio di passo nel modo in cui si affronta l'inquinamento acustico, e insieme all'impegno civile, all'uso dei motori elettrici e a una maggiore consapevolezza di quanto i suoni tutto intorno ci influenzano, sta portando la vita metropolitana sull'orlo di una 'rivoluzione silenziosa'.

2. Riferimenti Bibliografici

- https://it.wikipedia.org/wiki/Inquinamento_acustico#Misura_del_rumore
 - Gli effetti del rumore sull'uomo
 - Valutazione del rischio in ambienti di lavoro
 - Misura del rumore
- http://fisicaondemusica.unimore.it/Inquinamento_acustico.html
 - Cosa si può fare a riguardo
 - Come preservare l'udito
- https://www.huffingtonpost.it/2017/05/23/linquinamento-acustico-puo-invecchiarti-di-10-anni-ma-la-tecno_a_22094915/
 - Studio tecnologico per la riduzione del rumore in futuro

3. Argomenti Teorici Trattati

Differenza tra suono e rumore

Suono: Insieme di onde meccaniche longitudinali. L'oggetto che genera il suono produce una vibrazione che si propaga attraverso un mezzo modificando nel tempo la pressione locale delle particelle che lo costituiscono.

Rumore: differisce dal suono perché le vibrazioni, in questo caso, sono irregolari. La fisica acustica precisa che ciò che sembra caratterizzare il suono rispetto al rumore è la sua descrizione in termini di un'onda periodica. Ovvero il suono è intonato, mentre il rumore non lo è.

Decibel e soglia di tolleranza

Decibel: Il decibel (simbolo dB) è la decima parte del bel ed è un'unità di misura logaritmica del rapporto fra due grandezze omogenee (es. due potenze, due pressioni, due potenziali elettrici). Il valore ottenuto da un logaritmo è per definizione un numero puro (adimensionale), ma vi può essere associata un'unità di misura per indicare la base del logaritmo utilizzato. In acustica vengono usati i dB_{SPL} per indicare il livello di pressione sonora. La sigla SPL, infatti, sta a indicare Sound Pressure Level.

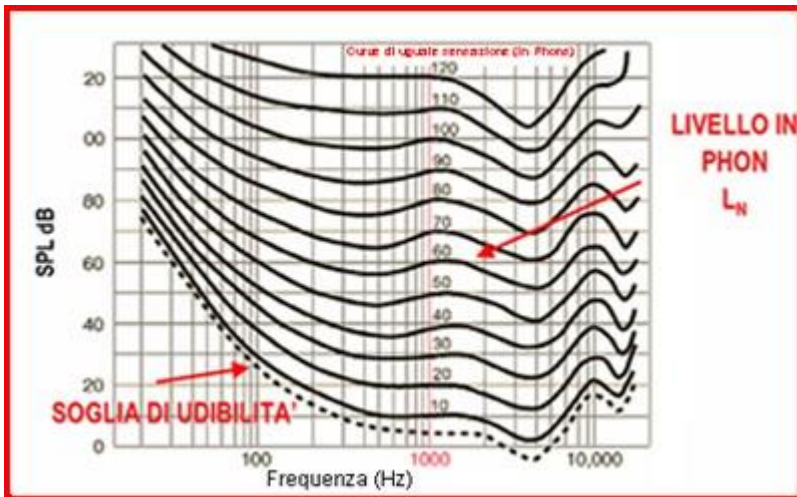
Pressione Sonora: Il livello di pressione sonora (SPL = sound pressure level) è la misura in dB della deviazione dalla pressione ambientale dell'aria provocata da un'onda sonora. Un'onda sonora produce variazioni di pressione che cambiano da luogo a luogo, e di istante in istante. Per questo motivo, più spesso ci si riferisce ad un livello efficace, che è lo scarto quadratico medio del livello di pressione in un certo intervallo di tempo. Si ricordi comunque che le variazioni di pressione indotte anche dal suono più forte che è possibile tollerare sono mille volte inferiori al valore della pressione atmosferica al livello del mare. Le variazioni di pressione sonora sono quindi da considerarsi delle piccole "increspature" rispetto al valore della pressione atmosferica.

Sorgente sonora	Pressione sonora	Livello di pressione sonora
	Pa	dB(SPL)
Soglia del dolore	100	134
Danni all'udito per breve esposizione	20	ca. 120
Jet a 100 m	6 - 200	110 - 140
Martello pneumatico a 1 m / Discoteca	2	ca. 100
Danni all'udito per lunga esposizione	6×10^{-1}	ca. 90
strada trafficata a 10 m	2×10^{-1} - 6×10^{-1}	80 - 90
automobile a 10 m	2×10^{-2} - 2×10^{-1}	60 - 80
TV ad 1 m	2×10^{-2}	ca. 60
Parlato a 1 m	2×10^{-3} - 2×10^{-2}	40 - 60
Stanza molto silenziosa	2×10^{-4} - 6×10^{-4}	20 - 30
Respiro	6×10^{-5}	10
Soglia di udibilità a 2 kHz	2×10^{-5}	0

Diagramma di Fletcher-Munson

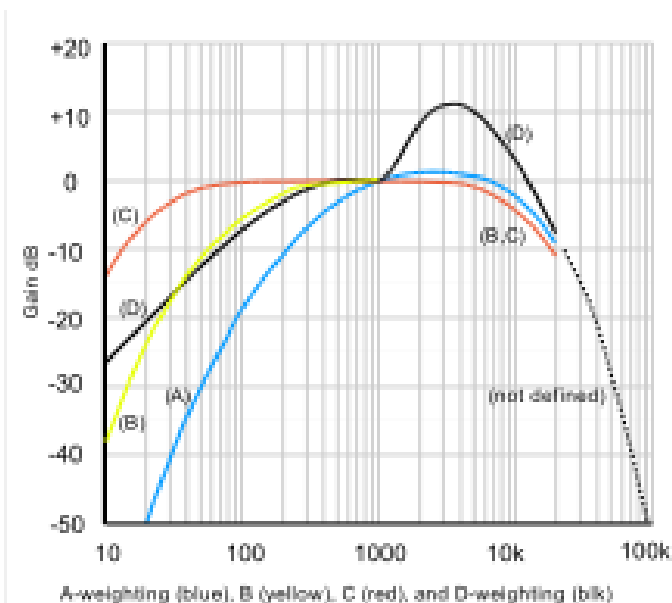
L'orecchio umano non ha una sensibilità lineare al rumore, né per quanto riguarda l'intensità né per la frequenza dello stesso. Per questo Fletcher e Munson idearono le curve isofoniche, che descrivono l'andamento della sensibilità umana per i suoni di diversa intensità e frequenza. L'unità di misura di queste curve è il phon, che corrisponde a un decibel riscaldato secondo la scala di sensibilità dell'orecchio umano.

Da queste curve è possibile vedere come la soglia d'udibilità minima sia più alta per le basse frequenze (sotto i 400 Hz) rispetto alle medie frequenze, soglia che aumenta superati i 4 000 Hz, valore cui si ha la maggiore sensibilità rispetto alle altre frequenze.



Da queste curve di sensibilità sono state ricavate le curve di ponderazione (o compensazione), le quali descrivono l'andamento dell'intensità sonora in funzione della frequenza del suono, e ogni qual volta che si vuole verificare la sensibilità di un orecchio, bisogna sommare l'intensità di pressione (non in dB) tra la curva di e il suono, poi riconvertire in dB, in questo modo si conoscerà il valore dB che l'orecchio sente realmente o che dovrebbe sentire.

Le curve di compensazione in origine erano 3 A, B e C (di cui le ultime due in disuso) e le rispettive scale dB a seconda della curva di compensazione usata prendono il nome di dBa, dBb e dBc, più recentemente è stata introdotta anche la curva D, studiata espressamente per il traffico aereo.



Fisiologia dell'udito

Orecchio esterno

L'orecchio esterno è composto dal padiglione auricolare che comprende la pinna, la conca e il meato uditivo. Il padiglione auricolare è l'unica parte visibile dell'orecchio, è costituito da cartilagine rivestita dalla pelle e presenta vari solchi e rilievi. La sua funzione è quella di raccogliere i suoni per convogliarli nel condotto uditivo. Le onde sonore vengono riflesse e attenuate quando colpiscono il padiglione auricolare, e questi cambiamenti forniscono ulteriori informazioni che aiuteranno il cervello a determinare la direzione da cui provenivano i suoni. Le onde sonore entrano nel canale uditivo che ha la funzione di mettere in comunicazione la conca del padiglione auricolare con l'orecchio medio. Il condotto uditivo amplifica i suoni che si collocano tra i 3 e i 12 kHz. Al fondo del condotto uditivo è posizionata la membrana timpanica, che segna l'inizio dell'orecchio medio.

Orecchio medio

L'orecchio medio misura appena un centimetro cubo di spazio e la sua funzione è quella di risolvere un problema fisico. Le onde sonore liberate nell'aria viaggiano ad una bassa impedenza mentre nell'orecchio interno vi è del liquido. Dal momento che l'impedenza dell'acqua è maggiore di quella dell'aria il suono rischia di non arrivare a destinazione (in questo caso per impedenza si intende un mezzo che rallenta/impedisce il movimento). La soluzione a questo problema è data dunque dall'orecchio medio, il quale amplifica il suono di circa 20 volte e lo convoglia all'orecchio interno. Le onde sonore che viaggiano attraverso il canale uditivo vanno infatti a colpire la membrana timpanica o timpano e la mettono in vibrazione. Questa informazione onda viaggia attraverso la cavità dell'orecchio medio piena d'aria attraverso una serie di ossa delicate: il martello, l'incudine e la staffa. Il martello è intimamente collegato alla membrana timpanica, mentre la staffa, l'ultimo degli ossicini, è articolato direttamente con la finestra ovale dell'orecchio interno. Questa serie di ossicini agisce come una leva, convertendo le vibrazioni sonore del timpano (a bassa pressione) in vibrazioni sonore ad alta pressione che vengono proprio trasmesse alla piccola membrana rappresentata dalla finestra ovale (o ellittica). La necessità di una maggiore pressione in corrispondenza della finestra ovale rispetto alla membrana timpanica si spiega con il fatto che nell'orecchio interno (al di là della finestra ovale) è contenuto del liquido e non più semplicemente aria. Grazie all'azione di leva degli ossicini, i movimenti della membrana timpanica, provocati dal suono, vengono così amplificati e trasmessi all'orecchio interno in tutta la sofisticata ricchezza dei suoni, da quelli singoli a quelli di un'intera orchestra. Il riflesso stapediale dei muscoli dell'orecchio medio aiuta a proteggere l'orecchio interno da possibili danni, riducendo la trasmissione di energia sonora quando il muscolo stapedio viene attivato in risposta al suono. Evidentemente nell'orecchio medio le informazioni audio sono ancora contenute in forma d'onda: la conversione in impulsi nervosi avviene nell'orecchio interno, grazie alla coclea.

Orecchio interno

L'orecchio interno è costituito dal labirinto osseo, un complicato sistema di cavità che risultano scavate nello spessore dell'osso temporale, e dal labirinto membranoso, un insieme di organi cavi delimitati da pareti connettivali che contengono del liquido (endolinfa) e che comunicano fra loro. Il labirinto è rivestito internamente da epitelio. La coclea (chiocciola ossea) si compone di tre sezioni piene di liquido (scala vestibolare, scala media con il condotto cocleare, e la scala timpanica) divise da membrane e supporta un'onda di fluido dovuta alla pressione che si scarica attraverso la membrana basilare, interposta tra la lamina spirale e la superficie interna del canale cocleare osseo. L'orecchio interno si divide dall'orecchio medio tramite la finestra ovale e quella rotonda, che si trovano all'inizio della coclea. La coclea è alta circa 10 mm e lunga 35. Questa struttura viene definita anche "chiocciola" o "chioccia", poiché si avvolge per due

giri e mezzo attorno al modiollo, il suo centro. All'interno della coclea si trova l'organo del Corti collocato su questo condotto sulla membrana basilare. Si tratta di una particolare struttura caratterizzata dalla presenza di numerose cellule ciliate, deputata a trasformare le onde meccaniche in segnali elettrici di tipo neuronale.