

ACUSTICA FISIOLOGICA

La sensibilità dell'orecchio umano varia con la frequenza entro limiti, determinabili sperimentalmente, molto diversi da individuo a individuo, e per lo stesso individuo, variabili con l'età e lo stato fisico.

Fletcher e Munson rilevarono sperimentalmente, in ambiente di perfetto silenzio, delle curve di uguale sensazione dell'orecchio medio, mostrate in figura: sulle ascisse è riportata la frequenza e sulle ordinate l'intensità sonora, entrambe in scala logaritmica.

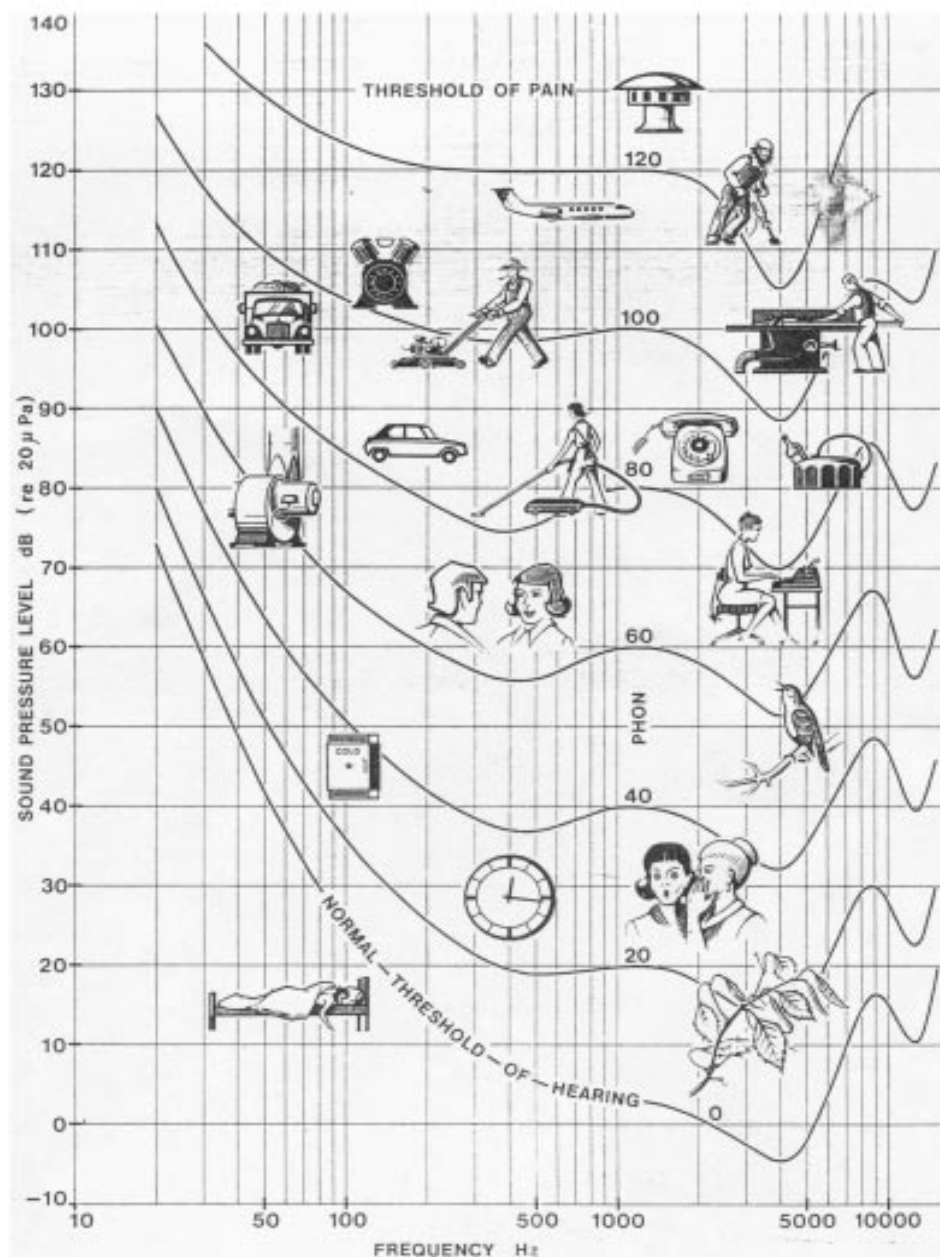


Figura 1: Audiogrammi medi di segnali comuni

La curva inferiore rappresenta la potenza minima, al variare della frequenza, necessaria affinché l'orecchio possa iniziare ad avere sensazione dell'esistenza del suono.

Le altre curve corrispondono a sensazioni via via crescenti linearmente; la curva superiore rappresenta il luogo dei valori delle potenze oltre le quali l'orecchio medio incomincia ad avere una sensazione dolorosa, più che uditiva. Questa curva rappresenta la soglia del dolore e, come si rileva dalla figura, è quasi indipendente dalla frequenza.

Sempre dalla stessa figura si nota che in corrispondenza della frequenza di 1000Hz la sensazione, con buona approssimazione, varia linearmente con il logaritmo della potenza sonora: ciò permette di esprimere in decibel la sensazione auditiva S alla suddetta frequenza come 10 volte il logaritmo decimale del rapporto tra la potenza specifica P del suono in esame e la potenza P_s relativa alla soglia di udibilità, o anche come 20 volte il logaritmo decimale tra il valore efficace della pressione p esercitata dal suono in esame e la pressione p_s relativa alla soglia di udibilità. Per frequenze diverse la sensazione uditiva si definisce nello stesso modo e si esprime in phon poiché la coincidenza con i decibel si verifica solo in corrispondenza di $f=1000\text{Hz}$. In conclusione, per valori di frequenza diversi si dirà che un suono produce un'intensità di n ph quando dà luogo alla stessa sensazione di un suono a 1000Hz, di intensità n dB.

$$S = 10 \log \frac{P}{P_s} = 20 \log \frac{p}{p_s}$$

Dall'audiogramma di figura si rileva ad esempio, che un suono alla frequenza di 200Hz per produrre una sensazione $S=20\text{ph}$, deve avere un livello di 25dB.

Per dare un'idea dell'ordine di grandezza delle sensazioni auditive, si riportano nella tabella seguente i valori medi di alcuni rumori.

RUMORI TIPICI	SENSAZIONE
Stormire di foglie	10ph
Tic-tac dell'orologio a m 0.90 di distanza	20ph
Rumore di una via tranquilla	40ph
Conversazione tranquilla	60ph
Rumore di un treno sotterraneo	90ph
Piallatrice a legno a metri 1 di distanza	105ph
Motore d'aereo	120ph
Soglia di dolore	130ph

I valori riportati si riferiscono ad un ambiente nel quale esiste la sola perturbazione sonora in esame, evento che si verifica molto di rado.

Si nota che la potenza corrispondente a 120ph è 10^{12} volte più grande di quella minima che l'orecchio può percepire.

Le curve dell'audiogramma medio possono discostarsi rispetto a quelle ricavate da un particolare individuo anche di 10-20dB.

Il campo di udibilità è compreso tra 20Hz e 16.000Hz, ma l'orecchio risulta più sensibile alle frequenze che vanno da 2.000 a 5.000Hz.

Quindi se si desiderasse riprodurre esattamente l'andamento di un certo fenomeno acustico, le apparecchiature dovrebbero trattare allo stesso modo tutte le frequenze che vanno da 20Hz a 16KHz, ma in pratica non si ha questa esigenza, più che la fedeltà ha interesse la comprensibilità della parola.

Per quello che riguarda l'effetto che l'intensità sonora ha sul sistema uditivo umano, da risultati sperimentali possiamo affermare che un suono:

- provoca dolore se raggiunge intensità di 100-140dB
- provoca danni permanenti se ha intensità superiore a 160dB
- provoca un danno cumulativo se ha intensità superiore a 90dB ed è ripetuto.

Inoltre prendendo come riferimento la soglia di udibilità di un individuo sano, possiamo distinguere i diversi livelli di sordità ed individuare gli interventi necessari a correggerla.

Se la soglia di udibilità del soggetto è oltre 90dB al di sopra di quella normale, si provvede con impianti di protesi cocleari, se la perdita è compresa tra 35 e 50dB è sufficiente una protesi auricolare, mentre se è compresa tra 21 e 35dB l'individuo avrà problemi di ascolto a basso volume.

Il segnale vocale

Poiché come rileveremo più volte anche in seguito, i maggiori problemi del sordo, protesizzato o meno, sono la comunicazione e comprensione vocale, è conveniente aprire una breve parentesi sul segnale voce.

La voce umana viene prodotta dal getto di aria uscente dai polmoni che causa la vibrazione delle corde vocali, le quali emettono suoni più o meno acuti a seconda della pressione esercitata da muscoli regolatori. Il suono che deriva, ricco di armoniche, è modificato dalla cavità orale e nasale che, funzionando da risuonatori, esaltano alcune componenti spettrali mentre ne attenuano altre. Questo avviene in particolare per le vocali, perché a generare le consonanti contribuiscono marcatamente le labbra, i denti, la lingua e il palato. La distinzione della voce di una persona rispetto alle altre è dovuta essenzialmente al contenuto più o meno elevato di armoniche.

Lo spettro vocale varia naturalmente a seconda delle persone e dei suoni emessi, ma mediamente lo spettro di potenza ha l'andamento indicato in figura 2. Il massimo si

verifica tra 150 e 500Hz circa; l'andamento mostra altri due massimi relativi, molto meno accentuati del primo, approssimativamente intorno a 1.500 e 3.000Hz.

La potenza media della voce umana è dell'ordine di 10^{-5} W/m^2 ed è contenuta per il 90% tra 40 e 1.500Hz.

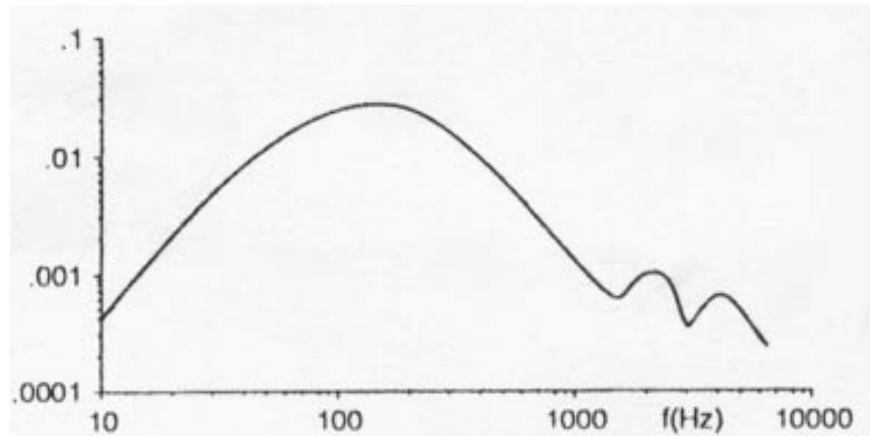


Figura 2: Andamento dello spettro medio di potenza della voce umana