

Segnali audio

Le onde sonore ed il suono

→ Quando parliamo, si producono delle **onde sonore** che si propagano attraverso l'aria che ci circonda. Le molecole d'aria, a partire da quelle immediatamente vicine alle corde vocali, acquistano un moto oscillatorio attorno ad una posizione di equilibrio, determinando un'onda di pressione, cioè una successione di compressioni e rarefazioni rispetto alla pressione normale che, a partire dalle molecole d'aria a contatto con la sorgente sonora, si trasmettono via via alle molecole vicine.

Le onde sonore sono onde longitudinali, ed in assenza di ostacoli si diffondono sfericamente tutto attorno alla sorgente, con una velocità v che dipende dalla natura del mezzo in cui si propagano.

Il **suono** è la sensazione percepita dall'orecchio umano e dovuta alle onde sonore, le quali sono generate dalle vibrazioni, di frequenza compresa entro certi limiti, di un corpo immerso in un mezzo fisico.

→ Quando un'onda sonora giunge all'orecchio umano, mette in vibrazione il timpano, che traduce le vibrazioni in impulsi nervosi, permettendo così di percepire la sensazione indicata col nome di **suono**. Perché ciò avvenga è però necessario che il suono abbia frequenza all'incirca compresa tra i 20Hz ed i 20kHz (**banda delle frequenze acustiche**).

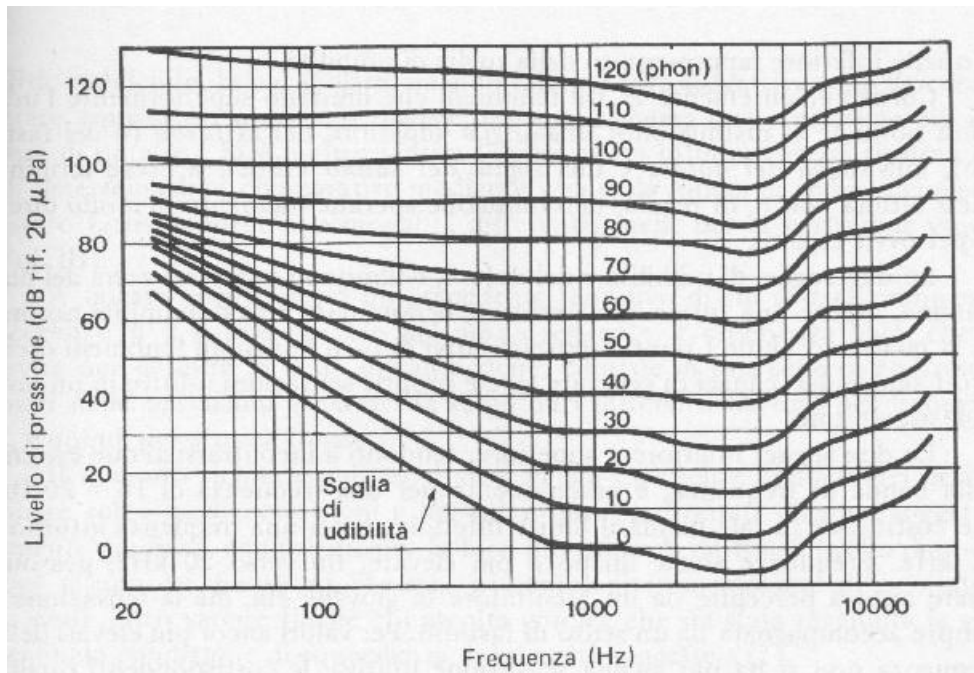
Con il termine suono si dovrebbe quindi indicare soltanto la sensazione uditiva

Caratteristiche soggettive del suono

→ La **sensazione sonora** è una caratteristica soggettiva che non dipende solo dal livello di pressione sonora efficace, poiché il suono percepito viene ponderato dall'apparato uditivo in base al contenuto di frequenze (ampiezze, timbro) che lo compongono.

→ Affinché un'onda sonora di determinata frequenza sia effettivamente udibile è necessario che la sua intensità energetica sia compresa fra un limite inferiore (detto **soglia di udibilità**) ed un limite superiore (detto **soglia del dolore**). Naturalmente tali limiti variano da individuo a individuo, per cui sono definibili soltanto statisticamente come valori medi.

Riportando in un diagramma cartesiano le soglie di udibilità e del dolore per le varie frequenze acustiche, si ottengono le curve limite del cosiddetto **audiogramma normale medio** (vedi figura).



→ Considerando un suono udibile di determinata frequenza, si è osservato sperimentalmente che, al variare della sua intensità energetica, l'intensità della sensazione sonora (detta **intensità soggettiva** o **intensità fisiologica**) non varia proporzionalmente ma secondo la **legge psico-fisica di Fechner**:

$$J_1 - J_2 = 10 \log \frac{I_1}{I_2} \quad [dB]$$

dove J_1 e J_2 sono le intensità soggettive corrispondenti alle intensità energetiche I_1 e I_2 .

Da questa legge si deduce che l'orecchio umano, in presenza di suono, riduce sempre più la propria sensibilità all'aumentare dell'intensità energetica del suono¹. Questa desensibilizzazione dell'orecchio all'aumentare del livello sonoro spiega il **fenomeno del "mascheramento"** (suoni deboli vengono poco percepiti quando sono sovrapposti a suoni forti) e la grande adattabilità dell'orecchio, dai suoni debolissimi a quelli di elevata intensità energetica.

→ Sull'audiogramma è possibile tracciare le **curve isofoniche**, luogo dei punti cui corrisponde una medesima intensità soggettiva di un segnale acustico al variare della sua frequenza. Ciascuna curva è individuata dal numero di **phon**, unità di misura logaritmica dell'intensità soggettiva, definita in modo che alla frequenza di 1000Hz il valori di phon e decibel coincidano.

La figura mostra una famiglia di tali curve, tracciate per valori di phon variabili di 10 in 10 tra 0 e 120 phon (soglie di udibilità e del dolore a 1000Hz). L'andamento di tali curve mostra che, per frequenze lontane da 1000Hz, le differenze tra i phon non corrispondono affatto alle differenze tra i decibel, a causa della variazione di sensibilità dell'orecchio al variare della frequenza dei suoni.

Si nota inoltre la maggiore sensibilità tra i 500 ed i 5000Hz, con un picco intorno ai 3500Hz, mentre rapidi cali di sensibilità si presentano alle basse ed alle alte frequenze.

→ Il rilievo sperimentale delle curve isofoniche va eseguito in **camera anecoide** (ambiente acusticamente assorbente e quindi privo di effetti eco), sottoponendo a confronto auditivo, da parte

¹ Ad esempio un suono di $10 \mu W/cm^2$ deve passare a $20 \mu W/cm^2$ (ovvero deve aumentare la sua intensità energetica di $10 \mu W/cm^2$) per produrre lo stesso aumento di intensità soggettiva che si ha quando un suono di $1 \mu W/cm^2$ passa a $2 \mu W/cm^2$ (aumentando quindi di un solo $\mu W/cm^2$). In entrambi i casi infatti si ha $I_1/I_2=2$ e quindi si ottiene lo stesso valore di J_1-J_2 .

di un opportuno campione di persone, i suoni a varie frequenze con il suono a 1000Hz, ed elaborando statisticamente i risultati.

Banda fonica e banda telefonica

→La banda delle frequenze costituenti la **voce umana** si estende mediamente **tra un centinaio di Hz e circa 9000Hz**. Nelle comunicazioni telefoniche però non è necessario trasmettere l'intero spettro acustico della voce per assicurare una buona intellegibilità della parola; per tale ragione il CCITT (ora ITU-T), sulla base anche di considerazioni di carattere tecnico-economico, ha stabilito di limitare la **banda fonica** alle frequenze comprese fra **300Hz e 3400Hz**.

→Tale banda può essere determinata sperimentalmente mediante le cosiddette **prove di intellegibilità**, il cui scopo è quello di verificare la corretta ricezione dell'informazione trasmessa. Le prove si eseguono tra due operatori di cui uno parla al microfono e l'altro ascolta da un altoparlante. I due dispositivi sono separati da un filtro passa-basso ed uno passa-alto con frequenze di taglio variabili (**vedi figura**). Per eliminare l'influenza psicologica sulla comprensione del ricevente, l'operatore al microfono pronuncia una serie di sillabe senza senso (**logatomi**). Il rapporto tra il numero di logatomi ricevuti correttamente ed il numero totale di quelli trasmessi, al variare delle frequenze di taglio, definisce il **grado di intellegibilità** del collegamento considerato. Lo studio ha evidenziato che si può limitare la **banda fonica netta** fra 300Hz e 3400Hz senza perdere quantità apprezzabili dell'informazione.

→La **banda telefonica** risulta però più larga rispetto a quella fonica, in quanto occorre lasciare dello spazio tra un canale ed il successivo per evitare filtri con fianchi troppo ripidi e assicurare così un corretto filtraggio (**vedi figura**). Il canale telefonico, comprese le due bande di guardia, ha quindi una larghezza complessiva di 4kHz.

→Per i circuiti di filodiffusione, destinati alla trasmissione di programmi musicali, dove il requisito della intellegibilità va sostituito con quello della **fedeltà**, è prescritta invece una larghezza di banda sensibilmente più larga, compresa tra 50Hz e 10kHz.

Ricordiamo infine che nella **radiodiffusione commerciale** la banda audio dei ricevitori AM è limitata a 4,5kHz, mentre nei ricevitori FM si estende fino a 15kHz.