

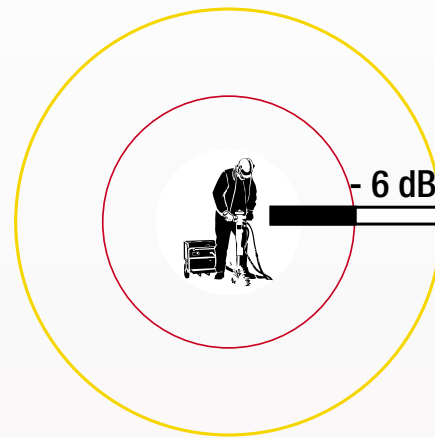
Propagazione del suono all'aperto

Più ci si allontana da una sorgente sonora, più diminuisce la pressione sonora. Per calcolare la diminuzione della pressione sonora all'aperto, valgono le seguenti regole di base:

Sorgente sonora puntiforme

(p.es. sirena dei pompieri, ventilatore)

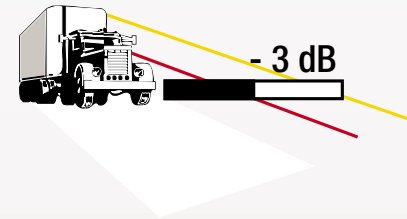
Raddoppiando la distanza dalla sorgente, la pressione del suono diminuisce di 6 dB. Dimezzando la distanza dalla sorgente, la pressione aumenta di 6 dB.



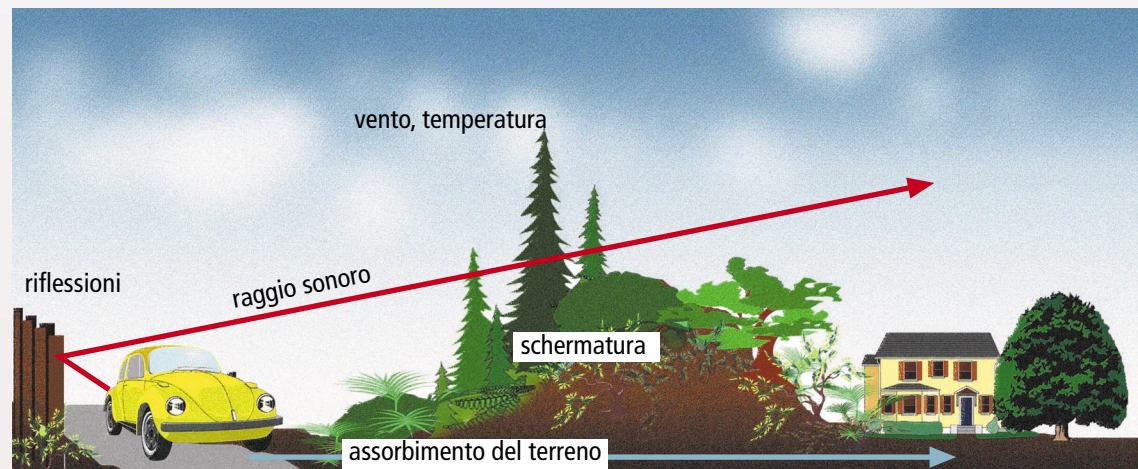
Sorgente sonora lineare

(p.es. strada, binari)

Raddoppiando la distanza dalla sorgente, la pressione del suono diminuisce di 3 dB. Dimezzando la distanza dalla sorgente, la pressione aumenta di 3 dB.

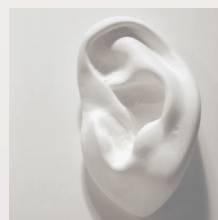


In realtà però, la propagazione del suono è influenzata anche da altri fattori, come dimostra il grafico qui sotto.



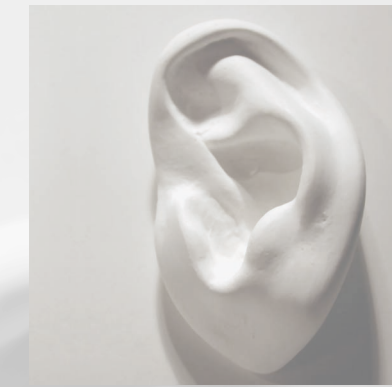
Fattori di assorbimento della pressione sonora nella propagazione del suono

09-2001



Informazioni

Ufficio aria e rumore
Via Amba Alagi 35, 39100 Bolzano
Tel. 0471 411820
e-mail: all@provinz.bz.it



Un po' di fisica del suono

Affinché il suono possa generarsi e propagarsi, c'è bisogno di una sorgente sonora e di un mezzo elastico nel quale il suono possa riprodursi.

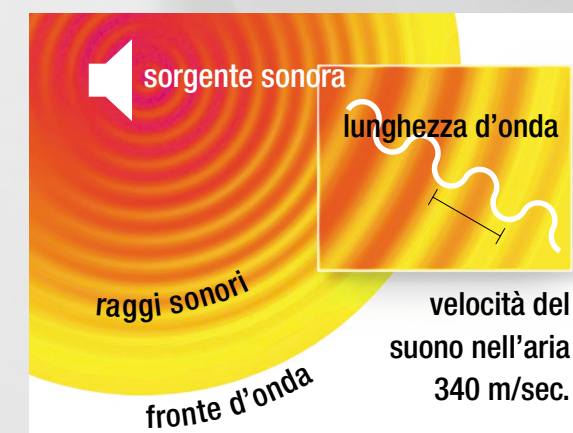
Quando una sorgente sonora (l'esempio più classico è la membrana di un altoparlante) entra in contatto con un mezzo elastico, p.es. l'aria, le oscillazioni prodotte dalla sorgente vengono trasmesse alle molecole dell'aria.

Le particelle così sollecitate trasmettono poi le oscillazioni alle molecole vicine e così via: in questo modo lo stimolo che parte dalla sorgente viene propagato in tutto l'ambiente circostante.

Grazie alla sollecitazione delle molecole dell'aria, si creano delle zone di maggiore e di minore densità, le quali si susseguono in modo ondulatorio, propagandosi nell'ambiente. La maggiore densità delle molecole crea un aumento della pressione dell'aria rispetto alla pressione atmosferica presente.



In modo analogo, la minore densità delle particelle comporta una riduzione della pressione dell'aria: si creano così delle oscillazioni di pressione che vengono contrapposte alla pressione atmosferica e che si definiscono pressione sonora (p). Poiché questo processo avviene in modo ondulatorio, per valutare il suono si studiano le caratteristiche fisiche delle onde sonore.



Si chiama suono il cambiamento ondulare e spazio-temporale della pressione di un mezzo elastico.

Le variazioni della pressione sonora nell'aria per ogni secondo vengono definite "frequenza", che viene misurata in Hertz (Hz):

$$1 \text{ oscillazione al secondo} = 1 \text{ Hz}$$

$$1.000 \text{ Hz} = 1 \text{ kHz}$$

Una singola frequenza rappresenta un tono puro, l'insieme di più frequenze un suono. La frequenza definisce l'altezza del suono.

Come si misura il suono?

La pressione sonora

La pressione sonora è un rapporto tra forza e superficie che si misura in Newton per metro quadro (N/m²). Però l'unità di misura convenzionalmente utilizzata per esprimerla è il Pascal (Pa).

$$1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Pa} \quad 1 \text{ atm} = 1,013 \text{ bar} = 100.000 \text{ Pa}$$

Le frequenze dei suoni udibili dall'orecchio umano spaziano tra i 20 Hz ed i 16.000 Hz. L'udito è capace di elaborare una gamma di pressioni sonore che varia dai 0,0002 Pa (0,00000002 atm) fino ai 20 Pa (0,002 atm). Questo corrisponde ad un rapporto di 1:1.000.000. Le oscillazioni della pressione dell'aria si contrappongono alla pressione atmosferica, che ha un valore di 100.000 Pa (cioè 1 atm). L'orecchio umano è perciò uno strumento di misurazione altamente sensibile. Nella tecnica, il suono si misura con il fonometro, che è uno strumento attraverso il quale, grazie ad un microfono, le oscillazioni della pressione dell'aria vengono trasformate in segnali elettrici.



Livello di pressione sonora

La gamma delle pressioni sonore che si incontrano nello studio del controllo del rumore è così ampia, che è utile impiegare una scala logaritmica in grado di comprenderne l'intera gamma. Essa è rappresentata dal livello di pressione sonora, che viene espresso in decibel (dB) ed è il rapporto logaritmico tra la pressione sonora misurata e la pressione sonora di riferimento. Con tale espressione il campo dei valori di pressione si riduce ad una gamma che va tra 0 dB e 120 dB ottenendo così una scala molto più leggibile. L'espressione logaritmica della pressione sonora attraverso il livello rispecchia inoltre in maniera più fedele il sistema di elaborazione sonora dell'orecchio umano.

L'equazione del livello di pressione sonora è:

$$L_p = 20 \times \log\left(\frac{p}{p_0}\right)$$

p_0 = pressione sonora di riferimento = la più bassa pressione sonora udibile ad 1 kHz = 0,00002 Pa

p = pressione sonora misurata, espressa in Pa

Guardando il grafico qui a fianco, si può capire il rapporto che c'è tra la pressione sonora esercitata dalle varie sorgenti e la relativa percezione uditiva. L'orecchio umano è in grado di percepire pressioni esercitate in un campo di valori che va dai 0 dB ai 120 dB



Calcolare con il suono

Somma dei livelli di pressione sonora

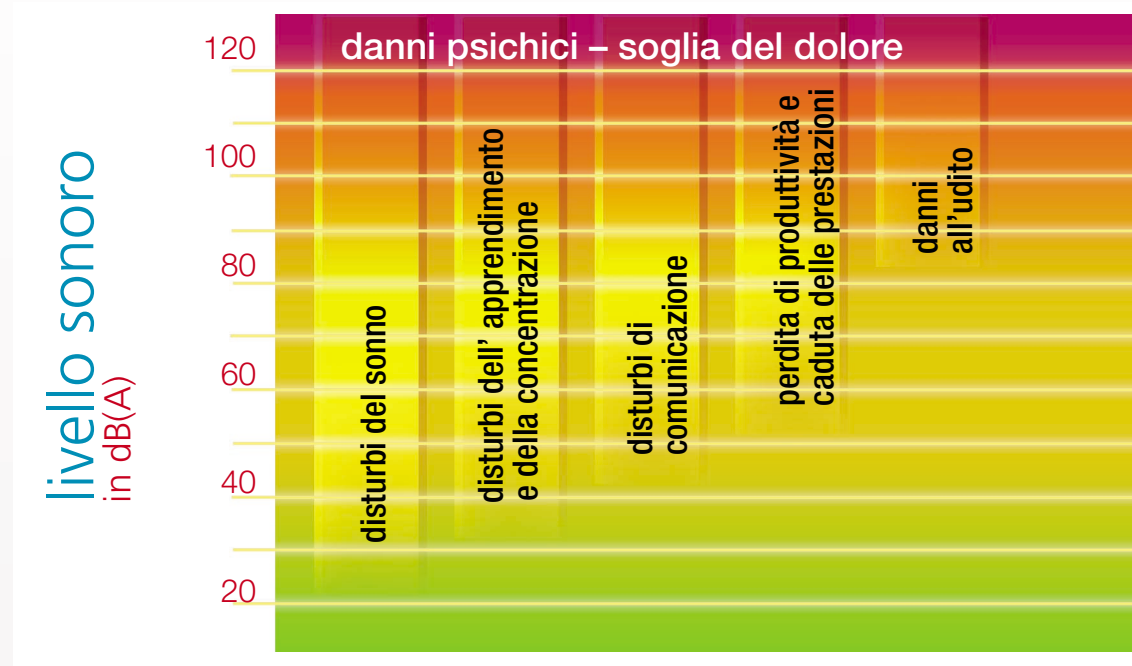
La pressione sonora è una grandezza logaritmica e per fare i calcoli vengono applicate delle regole algebriche un po' inusuali. La somma di due sorgenti sonore aventi uguale pressione, dà un livello di pressione sonora maggiore di "soli" 3 dB rispetto alle singole sorgenti e non il doppio. La somma di 10 sorgenti di rumore uguali tra loro è di 10 dB più alta rispetto alla pressione di una singola sorgente.

Aumentando il numero delle sorgenti di rumore uguali tra loro, il livello di pressione sonora ed il volume percepito dall'orecchio non aumentano nello stesso modo.

Scenario	Se invece di una macchina sola sentiamo...	il livello di pressione sonora aumenta di....	e si percepisce il volume....
	una macchina sola		si percepisce il volume...
	2 macchine	+3 dB	notevolmente più forte
	10 macchine	+10 dB	il doppio
	100 macchine	+20 dB	quattro volte tanto
	1.000 macchine	+30 dB	otto volte tanto

Al contrario, riducendo della metà il traffico stradale, il livello di pressione sonora diminuisce di 3 dB; ma soltanto una riduzione di 10 dB viene percepita come una diminuzione del 50% del volume.

Le reazioni fisiche al rumore. L'uomo reagisce agli stimoli prodotti dal rumore: l'esposizione fino a ca. 85 dB(A) per breve tempo provoca delle reazioni che rientrano tra le normali capacità di adattamento dell'uomo.



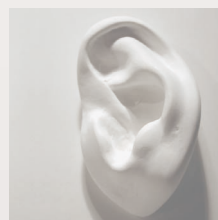
Conseguenze psico-fisiche

- 🚑 stress e nervosismo che sono fattori di rischio per malattie cardio-circolatorie, p.es. infarto
- 🚑 disturbi della qualità del sonno, cattivo umore, rabbia, sensazione di impotenza
- 🚑 diminuzione della gioia di vivere
- 🚑 aumento del consumo di farmaci
- 🚑 aumento della quota di errori commessi
- 🚑 diminuzione della capacità di apprendimento

Conseguenze economiche

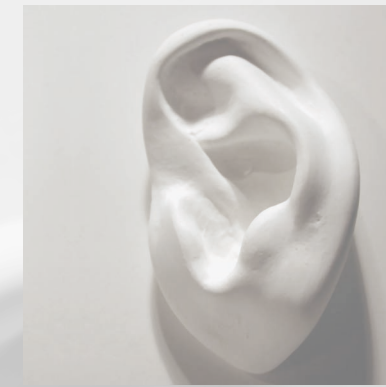
- 💰 costi legati alla malattia e pensioni di invalidità dovute alla sordità.
La sordità è la malattia professionale più frequente e sempre maggiormente colpisce bambini e giovani
- 💰 costi legati al consumo di sonniferi, visite mediche, ecc.
- 💰 diminuzione del valore di terreni ed edifici

09-2001



Informazioni

Ufficio aria e rumore
Via Amba Alagi 35, 39100 Bolzano
Tel. 0471 411820
e-mail: all@provinz.bz.it



Rumore

“Il rumore è un suono che si sente nel posto sbagliato ed al momento sbagliato”
(secondo Palmerston).



Due suoni simili possono essere percepiti in modo completamente diverso nonostante abbiano lo stesso livello sonoro. Il rumore di una cascata d'acqua in un ambiente montano idilliaco viene generalmente considerato riposante, mentre il rumore di un'autostrada trafficata costituisce un fattore di affaticamento.

Cos'è il suono?

Il suono è una variazione di pressione prodotta dall'oscillazione di un corpo (p.es. una campana) che si propaga con moto ondulatorio attraverso un mezzo elastico (p.es. aria).

Volume

Il volume del suono che viene percepito dall'udito è rappresentato dal livello di pressione sonora, che si esprime in decibel (dB). La scala dei dB è una scala logaritmica, nella quale il livello inferiore – la soglia dell'udito - è 0 dB, mentre la soglia del dolore è ca. 120 dB.

- 0 dB ⇨ soglia dell'udito
- 30 dB ⇨ fruscio di foglie
- 70 dB ⇨ traffico stradale
- >90 dB ⇨ discoteca

Il suono è definito da grandezze fisiche e valutato oggettivamente. Il concetto di “disturbo da rumore” invece non può essere descritto tramite la fisica. Solo nel cervello il suono si trasforma in disturbo.

Sono molti i fattori
che influenzano il modo in cui il cervello elabora le informazioni acustiche

Gli effetti del rumore: il rumore è più che solo suono

Rumori molti forti vengono percepiti da tutte le persone colpite come sgradevoli o addirittura dolorosi: dopo un breve o lungo periodo di esposizione essi possono comportare danni all’udito più o meno gravi, fino ad arrivare a danni irreversibili.

Per volumi molto alti, il livello di gradimento o di sgradevolezza di un evento sonoro dipende da diversi altri fattori.

L’effetto di un rumore dipende:

- ❖ dalle caratteristiche acustiche del rumore: volume, andamento nel tempo, differenza tra il rumore disturbante e i rumori di sottofondo
- ❖ dal tipo di rumore: rumori naturali quali vento, acqua, cinguettio di uccelli; musica amplificata o non; rumore del traffico; rumore dei locali pubblici, dei cantieri, ...
- ❖ dall’ora in cui viene percepito il rumore: di giorno, di notte, ...
- ❖ dalla zona del territorio nella quale ci colpisce il rumore: zona abitativa, zona artigianale,...
- ❖ dal contenuto informativo e dal significato del rumore: musica come suono gradevole oppure come disturbo alla quiete, urla di un neonato per la madre o per un estraneo, ...
- ❖ dalla sensibilità al rumore della persona interessata: si tratta di un rumore a cui si è abituati o no; la persona è rilassata e tranquilla oppure tesa, nervosa o stanca, ...
- ❖ dalla relazione con la fonte di rumore: il rumore è evitabile o inevitabile

Il grafico mostra come il suono diventi “disturbo da rumore” solo nel cervello, indipendentemente dalle conseguenze fisiche.



Il rumore agisce su corpo, mente e spirito

Il fatto che l’esposizione intensiva e prolungata al rumore comporti dei danni, conducendo a malattie sia fisiche che psichiche, è ormai una certezza medico-scientifica. L’esposizione eccessiva può comportare sia patologie uditive che compromettere l’intero organismo. Spesso ci si lamenta del rumore sottovalutandone comunque le sue conseguenze per la salute. Rispetto ad altre problematiche ambientali, quali ad es. l’inquinamento atmosferico o la tutela delle acque, ci sono ancora molti miglioramenti da affrontare per quanto riguarda l’inquinamento acustico.

L’inquinamento acustico aggredisce le funzioni vitali dell’uomo
più di quanto egli stesso percepisca.



La musica ad alto volume nel tempo libero
viene troppo spesso sottovalutata!

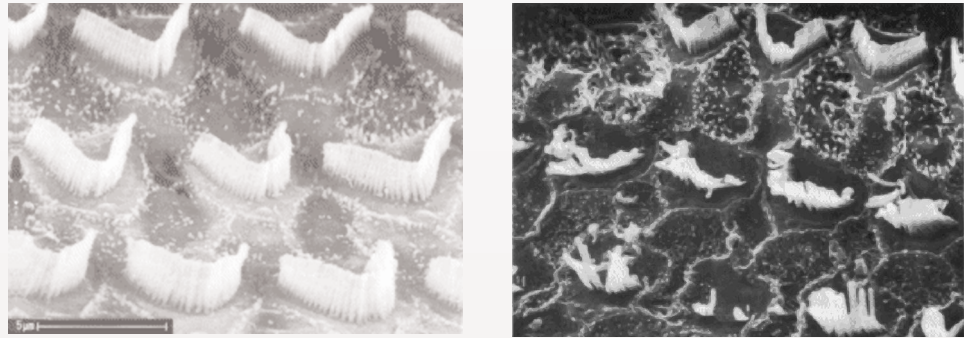
Conseguenze fisiche

La ricerca sulle conseguenze dell’esposizione al rumore considera oggi come pregiudicante per la salute un rumore costante a partire dai 60 – 65 dB(A). Di norma si ha però una diminuzione della capacità uditiva solo con picchi sopra gli 85 dB(A). In questo caso i possibili danni possono essere:

- ❖ aumento temporaneo della soglia uditiva: conseguenza che può comparire dopo rumori molto forti e di breve durata (p.es.: battere di un martello)
- ❖ aumento persistente della soglia uditiva: compare dopo rumori molto forti di breve o lunga durata (p.es.: walkman, discoteca, attrezzi da lavoro di vario genere, scoppi oltre i 120 dB(A))

Patologia da rumore

La sordità da rumore si sviluppa lentamente, nel giro di anni e decenni, spesso senza che la persona colpita se ne accorga. Il primo segnale di pericolo per l'udito è dato dalla modifica della soglia uditiva. L'aumento di questa soglia si manifesta con un fischio (tinnitus aurium - acufeni) o con una sensazione di sordità all'orecchio: tale aumento è dovuto alla stanchezza delle cellule sensoriali dell'orecchio interno. In questo caso stanchezza significa che le cellule sensoriali sono insufficientemente provviste di sostanze nutritive. Se al sovraccarico per l'udito segue un riposo acustico di alcune ore, l'approvvigionamento di sostanze nutritive alle cellule sensoriali si normalizza e la persona colpita riacquista la sua normale capacità uditiva. L'udito è invece in pericolo se tra un sovraccarico e l'altro non vi è sufficiente tempo per far concludere il processo di rigenerazione dell'orecchio interno. A lungo termine il mancato rispetto delle pause rigenerative comporta il costante sottoapprovvigionamento delle cellule ciliate e la loro conseguente distruzione quindi la perdita irreversibile dell'udito.

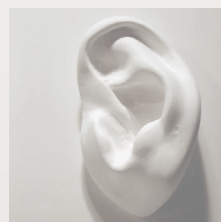


L'immagine mostra le cellule ciliate nel labirinto. Nell'immagine a destra, le cellule sensoriali sono ormai ampiamente degenerate a causa delle sollecitazioni acustiche. Poiché le cellule ciliate non sono in grado di riprodursi, la sordità da rumore è una patologia incurabile.

Tinnitus aurium (acufeni)

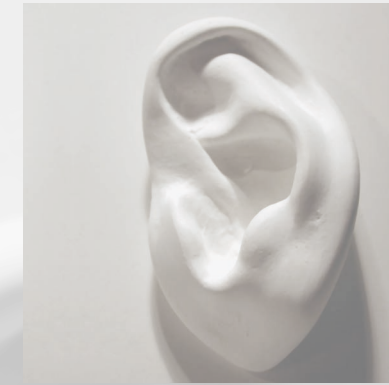
Nel caso di tinnitus aurium (tintinnio alle orecchie) le cellule ciliate inviano impulsi neurali senza che vi sia uno stimolo acustico: la persona colpita sente rumori quali fischi, ronzii, scrosci, tintinnii, ecc. Succede abbastanza frequentemente di avere dei fischi alle orecchie: compaiono per esempio dopo un applauso, dopo aver ascoltato musica ad alto volume o in caso di stress ed esaurimento. Si tratta di ronzii che vengono spesso imputati a fattori esterni quali il fischio del televisore o il rumore del frigorifero. In caso di tinnitus aurium questi fischi arrivano però ad un'intensità tale da essere percepiti in continuazione e fare quasi impazzire la persona colpita.

09-2001



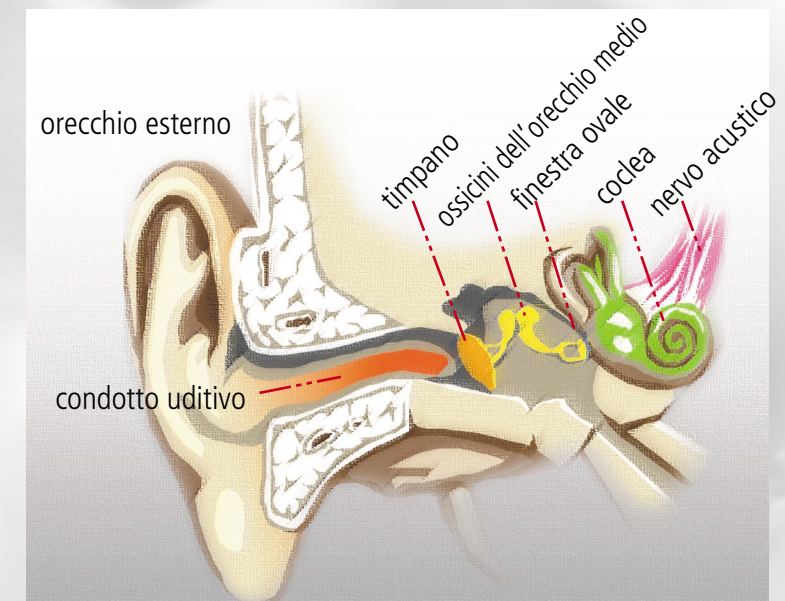
Informazioni

Ufficio aria e rumore
Via Amba Alagi 35, 39100 Bolzano
Tel. 0471 411820
e-mail: all@provinz.bz.it



L'orecchio

Il nostro orecchio è sempre in ascolto per trasmettere al cervello tutte le informazioni che arrivano dall'ambiente esterno. L'orecchio non smette mai di ascoltare: è il cervello che codifica poi i messaggi ricevuti distinguendo quelli importanti da quelli non importanti.

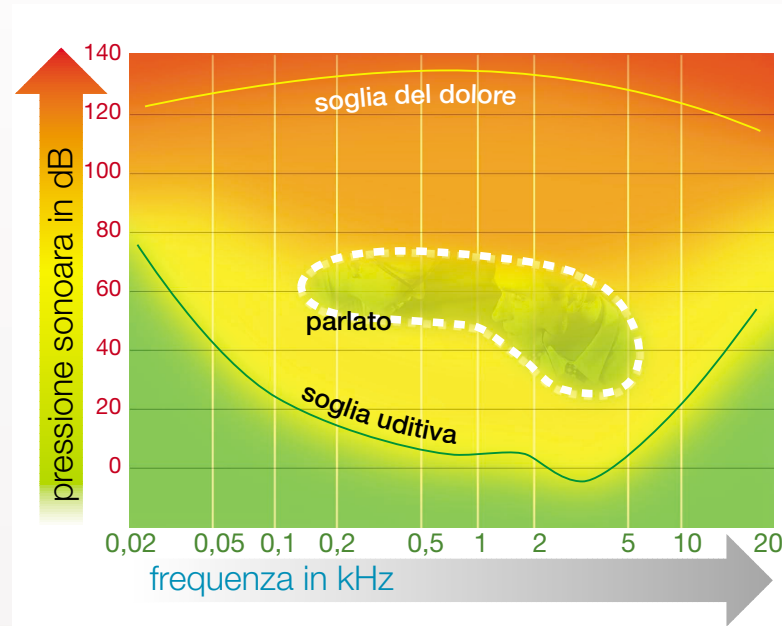


Noi sentiamo così

1. Il padiglione auricolare raccoglie il suono, che attraversa il condotto uditivo e fa vibrare il timpano.
2. Gli ossicini dell'orecchio medio (martello, incudine e staffa) raccolgono a loro volta la vibrazione del timpano. La staffa è l'osso più piccolo dell'uomo: le sue dimensioni sono pari a quelle di mezzo chicco di riso.
3. La staffa trasmette la vibrazione alla finestra ovale, porta di entrata dell'orecchio interno, dove c'è la coclea che contiene dei liquidi che a loro volta trasmettono il suono per la scala vestibolare da dove ritorna per la scala del timpano: la finestra rotonda, muovendosi con moto ondulatorio opposto alla finestra ovale, garantisce il bilanciamento di pressione.
4. Nell'orecchio interno la vibrazione, a seconda della frequenza del suono, mette in movimento le ciglia delle cellule acustiche disposte in diverse file sulla membrana basale del labirinto. In questo modo vengono attivati degli impulsi neurali (piccole correnti ioniche). Le circa 20.000 cellule sensitive compongono, insieme alle ciglia ed alla loro collocazione sulla membrana apicale, l'organo del Corti: è proprio qui che il suono viene trasformato in impulso neuroelettrico.
5. Il nervo uditivo conduce tale impulso alla corteccia cerebrale: sentiamo.

L'orecchio di un bambino comincia a percepire i rumori al più tardi dal quarto mese di gravidanza, nell'utero, e sente soprattutto il battito cardiaco della madre. Dal sesto mese di gravidanza, l'orecchio è anatomicamente completo e funzionante e, come è stato dimostrato grazie agli ECG, il battito cardiaco del bambino viene già influenzato anche dagli stimoli sonori esterni all'utero.

Soglia uditiva e gamma udibile



La soglia dell'udito è la percezione minima del suono da parte dell'orecchio: essa è in funzione della pressione del suono e delle sue frequenze caratteristiche.

Aumentando la pressione sonora si arriva ad un livello oltre il quale si percepisce dolore ascoltando quel suono: tale livello rappresenta la soglia del dolore. La pressione sonora arriva a circa 20 Pa. L'area compresa tra la soglia uditiva e la soglia del dolore viene denominata gamma udibile.

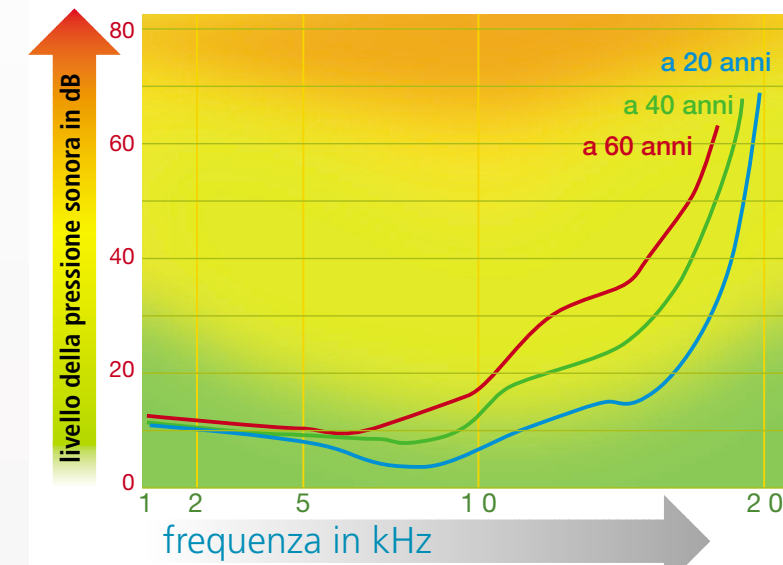
Comparando le soglie uditive maschili e femminili si può dire che:

"le donne sentono meglio"



Dal confronto delle soglie dell'udito medie delle donne con quelle degli uomini, emergono delle differenze fondamentali: il condotto uditivo delle donne ha una forma diversa rispetto a quello degli uomini per cui i suoni provenienti dall'esterno vengono amplificati in modo più "efficace". La forma diversa del condotto uditivo femminile permette infatti una maggiore risonanza dei suoni aumentando percentualmente la capacità uditiva. La soglia uditiva nelle donne è inoltre di molto inferiore a quella negli uomini, soprattutto per quanto riguarda le alte frequenze. Infine anche la perdita d'udito dovuta all'età nelle donne avviene più lentamente.

Cambiamenti della soglia dell'udito con l'avanzare dell'età ed in conseguenza all'esposizione al rumore



La soglia dell'udito si modifica nel corso degli anni: questo è un processo naturale dovuto all'età e che si manifesta con la graduale diminuzione della capacità uditiva, denominata sordità senile. Nel grafico qui a fianco è rappresentato il processo di innalzamento della soglia uditiva dovuto all'avanzare dell'età.

Un innalzamento della soglia di udibilità può però presentarsi già molto presto a causa di una eccessiva esposizione all'inquinamento acustico. Questo effetto viene chiamato sordità da rumore.

Nello stadio iniziale la sordità da rumore spesso non è riconoscibile, poiché l'abbassamento della capacità uditiva interessa in un primo momento delle frequenze diverse da quelle che caratterizzano il "parlato" cioè che non svolgono un ruolo importante nella percezione quotidiana.

Con ulteriori sovraccarichi acustici, l'area danneggiata inizia a coprire sempre maggiormente anche le frequenze usate per la comunicazione verbale fino a comportare gravi riduzioni della capacità uditiva. La sordità da rumore deriva da un danneggiamento irreversibile delle cellule nervose nell'orecchio interno. Si tratta di un danno incurabile poiché le cellule sensoriali non sono in grado di rigenerarsi.

La perdita dell'udito può derivare anche da un evento sonoro improvviso, un'esplosione o un colpo, e possono raggiungere, a seconda di come vengono prodotti, valori massimi tra i 140 dB ed i 200 dB. Tali eventi comportano prevalentemente danni meccanici nell'orecchio interno che vengono definiti traumi da esplosione.



Il microfono, a differenza dell'orecchio umano, percepisce la gamma di frequenze caratteristiche di un suono in maniera uguale, dando una risposta "piatta". Grazie ad un filtro aggiuntivo (detto "di ponderazione") posto all'interno dello strumento di misurazione, si riesce ad imitare la valutazione delle frequenze del suono in esame tipica dell'orecchio umano.

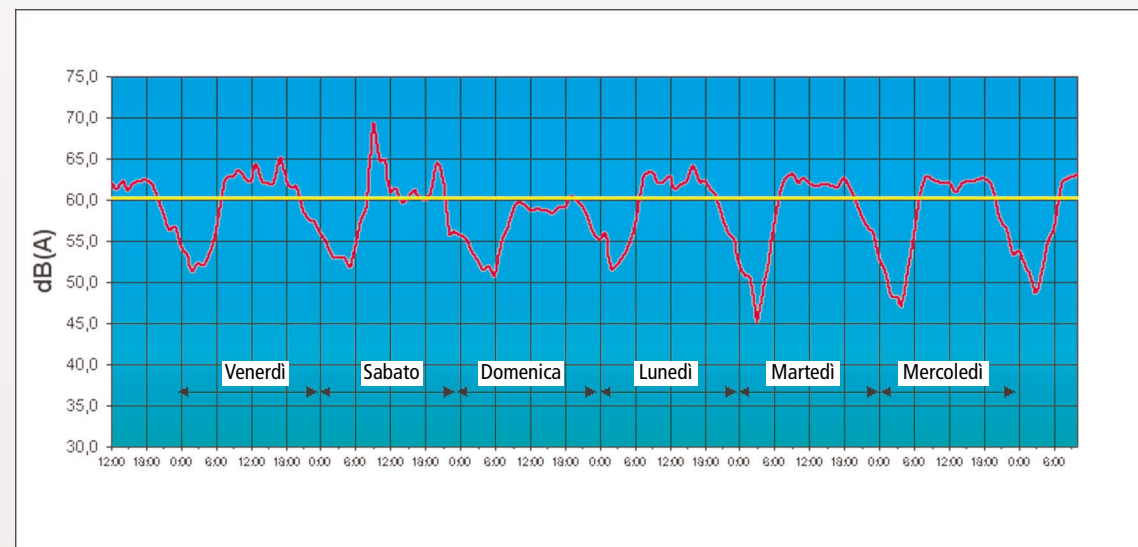
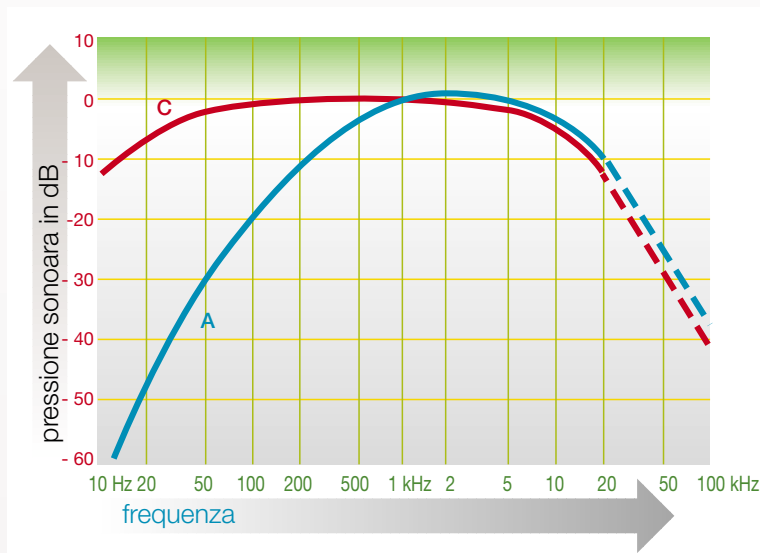
La curva di ponderazione A riesce ad avvicinarsi di molto alla percezione delle frequenze tipica dell'orecchio quando si è in presenza di rumore normale.

In presenza di rumori molto forti caratterizzati da basse frequenze, è invece la curva di ponderazione C che si avvicina meglio alle caratteristiche dell'orecchio umano. Dopo la ponderazione delle frequenze (di solito ponderazione A), il segnale viene raddrizzato e viene calcolato il suo valore efficace.

Grazie ad un interruttore intermittente ad 1/8 di secondo (fast), si imita la capacità percettiva dell'orecchio.

La successiva logaritmicizzazione indica il livello della pressione sonora in LAF.

Nella tecnologia i rumori variabili (causati p.es. da aerei, ferrovia o traffico) vengono solitamente rappresentati con il livello sonoro continuo equivalente Leq (livello di valore medio). Il principio dell'equivalenza energetica presuppone che l'energia sonora media di un rumore discontinuo, dato nel periodo di tempo T, abbia la stessa quantità di energia di un rumore continuo avente la stessa energia.

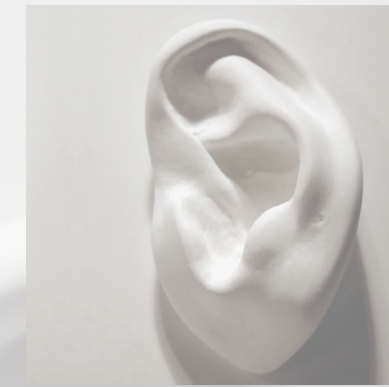


Esempio di una misurazione del rumore da traffico stradale sulla strada statale della Val Pusteria.



Informazioni

Ufficio aria e rumore
Via Amba Alagi 35, 39100 Bolzano
Tel. 0471 411820
e-mail: all@provinz.bz.it



Misurare il suono

Il suono si misura con uno strumento denominato "fonometro". Il microfono del fonometro trasforma le oscillazioni della pressione dell'aria in segnali elettrici.



- microfono
- impedenzometro
- amplificatore
- commutatore
- rivelatore di sovraccarico
- circuiti di ponderazione (A, C, lineare) filtri
- uscita in corrente alternata
- RMS rivelatore RMS
- costanti di tempo (fast, impuls, slow)
- uscita in corrente continua
- log funzione logaritmica
- display

Pascal si trasforma in Volt

In un microfono a condensatore l'onda sonora colpisce una membrana metallica spessa circa 0,002 mm, la quale inizia a muoversi allo stesso ritmo delle oscillazioni della pressione sonora (Pascal). Insieme ad un elettrodo posto dietro la membrana, essa forma un condensatore, che viene caricato grazie ad una corrente continua adiacente.

Modificando la distanza tra gli elettrodi, si modifica anche la capacità del condensatore in modo sincrono alle oscillazioni della pressione sonora. Passando per una resistenza di scarica, si ottiene un segnale di corrente (Volt) proporzionale alla pressione sonora. Questo segnale viene amplificato elettronicamente in modo da poter essere ulteriormente elaborato.

