

VALUTAZIONE DEI LIVELLI DI ESPOSIZIONE AL RUMORE

Fonte: Prof. Giovanni Catenacci, Sig. Daniele Zocchi, Dip. Medicina Preventiva, Occupazionale e di Comunità, II^a Sezione Medicina del Lavoro.

CARATTERI FISICI DEL SUONO E DEL RUMORE

Si definisce **suono** la propagazione di energia meccanica in un fluido per onde generate da un corpo in vibrazione. Il fenomeno fisico elementare è costituito da onde sinusoidali di oscillazione della pressione atmosferica propagantesi in tutte le direzioni alla velocità di 331,8 m/sec (in aria a 0° C).

La velocità di propagazione di un suono in aria dipende da numerosi fattori tra i quali la densità e la temperatura dell'aria (per un aumento di temperatura dell'aria di 1°C aumenta la velocità del suono di circa 0,5 m/sec).

In condizioni normali il suono si propaga attraverso:

mezzo	velocità m/sec
aria (a 0° C)	331,8
acqua	1480
corpo umano	1558
cemento armato	3000
legno	3350
alluminio	5150
vetro	5200

Si definisce **tono** un'oscillazione ritmica regolare e sempre identica di una determinata struttura molecolare. Per produrre un tono puro ci si serve di un diapason. Scarse sono in natura le sorgenti di toni puri. Gli elementi caratteristici di un tono sono la sua altezza e la sua intensità.

L'altezza di un tono dipende dalla frequenza.

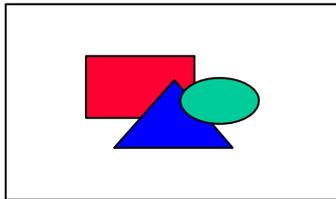
Per **frequenza** si intende un numero di oscillazioni o vibrazioni complete nell'unità di tempo (secondo); è espressa in hertz (Hz) o in cicli per secondo (cps).

Le note più alte sono quelle che hanno frequenza più elevata.

L'orecchio umano può udire frequenze tra 20 e 20000 Hz (le frequenze tra 125 e 2500/3000 Hz sono quelle che interessano particolarmente la comprensione del linguaggio parlato).

Per **intensità** si intende la quantità di energia trasportata dall'onda sonora per unità di superficie perpendicolare alla direzione di propagazione.

Si esprime in watt/m² o in watt/cm².



E' rappresentata dalla relazione

dove:

p_{eff} è la pressione effettiva dell'onda sonora (espressa in dyne/cm² equivalenti a microbar);

ρ è la densità del mezzo di propagazione ;

c è la velocità del suono.

L'intensità sonora assoluta non è facilmente misurabile, si preferisce quindi la misura dell'intensità relativa di un suono o livello sonoro che viene misurato in Bell o in decimi di Bell (dB). Quindi il dB è un 'unità senza dimensioni che indica il logaritmo in base 10 del rapporto tra l'intensità o pressione di un suono e la intensità o pressione di riferimento. Come livello di riferimento della pressione sonora è assunto il valore 0,0002 dyne/cm² corrispondenti alla soglia uditiva media per tono puro di 1000 Hz nel soggetto normale.

L'uso del dB come unità di misura dell'intensità ha i seguenti vantaggi.

- il dB è la più piccola differenza di energia sonora che può venir percepita dall'orecchio umano;
- la notazione logaritmica è giustificata dal fatto che la sensazione acustica (legge di Weber-Fechner) è proporzionale al logaritmo dell'energia di eccitazione;
- i limiti di variabilità delle pressioni acustiche sono molto ampi e l'uso dei logaritmi facilita la notazione dei valori.

Una volta definito un tono, un suono può essere inteso come un insieme di oscillazioni sonore ondulatorie regolari e ritmiche composto da un tono fondamentale e da un certo numero di toni armonici che si aggiungono al tono fondamentale.

E' chiaro che, in natura, le sorgenti dei suoni sono molto più numerose di quelle dei toni puri.

Un altro carattere del suono è il **timbro** legato ai vari toni armonici. A questo punto è possibile definire un **rumore**:

- a. dal punto di vista fisico come una mescolanza non razionale di suoni di frequenza e intensità diverse;
- b. dal punto di vista psicologico come:
 - qualsiasi suono non desiderato (American National Standard Institute - ANSI);
 - fenomeno acustico produttore una sensazione uditiva considerata sgradevole.

Dal punto di vista fisiopatologico, infatti, effetti lesivi sull'organismo umano possono essere provocati da qualsiasi stimolo sonoro di entità sufficientemente elevata.

CLASSIFICAZIONE DEL RUMORE

La classificazione del rumore può essere effettuata in base:

- a. alla sorgente naturale o artificiale (in dipendenza alla civilizzazione o all'industrializzazione);
- b. alla sua intensità e alle sue caratteristiche spettrali;
- c. alle sue variazioni nel tempo. In relazione alle variazioni nel tempo, è possibile avere rumori stabili (o continui o stazionari) e rumori instabili.

Un rumore stabile o continuo può essere continuo a banda larga (presente ad esempio in una officina meccanica) e continuo a banda stretta (prodotto ad esempio da una sega circolare). Un rumore instabile può essere:

- intermittente (ad es. partenze di aerei);
- flutuante (con lievi variazioni del livello sonoro);
- impulsivo (con brusche variazioni di livello sonoro, anche di 40 dB in 0,5 sec).

Un rumore impulsivo può essere caratterizzato da impulsi brevi (ad es. operazioni di martellatura) o impulsi prolungati (ad es. operazioni di molatura).

MISURA DEL RUMORE

La misura dei livelli di rumore si effettua con l'impiego dei **fonometri**. Con tali apparecchi si determina l'intensità del rumore in decibel e i livelli delle bande di frequenza analizzate in ottave.

Tali elementi sono misurati per ogni tipo di rumore.

Un fonometro è composto da un microfono, un attenuatore, un amplificatore elettronico e uno strumento di registrazione.

Il fonometro misura una media ponderata (media geometrica) delle pressioni sonore presenti in una banda di frequenza; tale misura viene poi rapportata alla pressione sonora di riferimento ($0,0002 \text{ dyne/cm}^2$); indi fa il logaritmo di tale rapporto.

La gamma di misura di un fonometro di precisione è compresa fra 24 dB e 140 dB per un intervallo di frequenza situato tra 20 e 20000 Hz.

Prima si considera il livello globale del rumore, quindi si effettua lo studio spettrale analizzando in bande di frequenza comprese tra 20 e 20000 Hz.

Dal 1961 è in uso un filtro soggettivo incluso nel fonometro che fornisce tre curve di risposta alle frequenze: queste tre curve sono indicate con A, B e C.

La curva di risposta "A" è quella che tiene maggior conto dell'impedenza dell'orecchio umano.

E' essenziale sempre una taratura dell'apparecchio con l'aiuto di sorgenti sonore standard.

Per facilitare la misura del rumore, si possono utilizzare dei dosimetri di rumore che rendono possibile la registrazione in un intervallo di tempo determinato, dell'energia sonora accumulata (in percentuale dalla dose permessa).

I dosimetri attualmente in uso non si limitano al calcolo della percentuale di dose, ma permettono, come applicazione del principio di uguale quantità di energia, di calcolare il **Livello Equivalente Sonoro (LEQ)** relativo al periodo di osservazione.

Inoltre, una volta fornito il dosimetro del criterio di valutazione del livello di esposizione al rumore scelto in base alla Normativa corrente (Normativa ISO), esso elabora una proiezione sull'intero turno lavorativo del valore più probabile di LEQ.

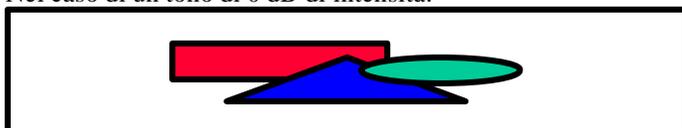
In sintesi, il fonometro permette una raffinata valutazione spaziale dell'energia sonora, con possibilità di scomposizione dei valori dell'energia stessa in bande di frequenza.

Nel caso in cui l'operatore compia una mansione che comporta frequenti spostamenti nell'ambito lavorativo e quindi una variabilità spazio-temporale dell'energia ricevuta dall'apparato uditivo, risulta efficace l'uso del dosimetro come campionario personale di esposizione.

Se si vogliono raggiungere quindi entrambi gli obiettivi di prevenzione e di valutazione del rischio da esposizione al rumore in ambiente lavorativo, è indispensabile l'uso integrato del dosimetro.

UDIBILITA' DI UN SUONO

Nel caso di un tono di 0 dB di intensità:



L'orecchio umano comincia a percepirlo come una sensazione intermittente chiamata **soglia di percettibilità**; aumentando l'intensità di questo tono, e differenti sensazioni sonore brevi si fondono in un solo tono continuo che mostra già caratteristiche determinate (altezza, intensità, durata): si parla in questo caso di **soglia di udibilità**. Tale soglia varia da un individuo all'altro.

Aumentando l'intensità di un suono, aumenta la sensazione sonora fino al punto in cui essa diviene dolorosa e insopportabile (circa 120 dB).

L'intervallo tra 0 e 120 è chiamato **campo uditivo**; in tale campo si svolgono tutti i processi di percezione uditiva il cui spettro di frequenza sonora è compreso tra 20 e 20000 Hz.

Riduzioni di una parte del campo uditivo situata in prossimità della soglia di udibilità e che abbraccia le frequenze della soglia uditiva possono aversi già a cominciare dai 30 anni; simultaneamente si ha un restringimento del campo uditivo soprattutto per le frequenze elevate (es. a 35 anni può esserci difficoltà a percepire i toni sopra i 15000 Hz; a 40 anni i toni sopra 13000 Hz ecc.).

FENOMENO DELL'AUDIZIONE

L'organo dell'udito trasforma un segnale meccanico in un'entità astratta: la **sensazione uditiva**.

A livello dell'orecchio esterno si ha la raccolta delle onde acustiche e il convogliamento delle stesse verso la membrana timpanica, con selezione delle frequenze.

A livello dell'orecchio medio, le vibrazioni meccaniche vengono trasmesse dalla catena degli ossicini alla finestra ovale della coclea e di qui alla perilinfa dell'orecchio interno con effetto di amplificazione.

La membrana timpanica forma, con gli ossicini, un sistema meccanico di trasmissione che ha una propria impedenza.

La rottura dell'equilibrio statico dei liquidi dell'orecchio interno, con formazione di onde della perilinfa, dà origine al processo di percezione (trasformazione del segnale meccanico in segnale elettrico).

L'organo trasduttore dell'energia meccanica in elettrica è l'organo del Corti, ricettore sensoriale specifico, i cui elementi sensoriali, fluttuando con le estremità libere, provocano un influsso elettrico che si propaga lungo le fibre acustiche fino al cervello.

A seconda della frequenza del suono, la membrana basilare dell'organo del Corti entra in vibrazione in punti diversi della coclea, alla base per i suoni acuti, in tratti più estesi (apice) per quelli gravi.

A livello dell'organo del Corti si esplica l'effetto lesivo del rumore.

EFFETTI DEL RUMORE

L'esposizione al rumore è causa di effetti uditivi in dipendenza dell'intensità e della durata.

Può provocare alterazioni funzionali transitorie e reversibili; lesioni permanenti di carattere anatomico a carico dell'orecchio interno e per alti livelli, (oltre 150 dB) lesioni traumatiche a livello dell'orecchio medio interno.

FATICA Uditiva

Per fatica uditiva si intende l'innalzamento temporaneo e reversibile della soglia di percezione che si verifica in soggetti normali dopo occasionale esposizione al rumore (come ad es. la diminuzione temporanea del visus dopo l'abbagliamento).

Tale fenomeno è verosimilmente legato ad esaurimento biochimico funzionale dei recettori specifici, e dovrebbe pertanto considerarsi come un fenomeno di refrattarietà relativa. La base di questo processo è puramente metabolica (dipende dalla mancanza di O_2).

Fenomeni di fatica uditiva prolungata comportano un rischio elevato di sordità professionale.

Lo STS (Spostamento Temporaneo di Soglia) predilige frequenze elevate (4000 Hz) e varia con l'intensità del rumore (è irrilevante a 30 dB, apprezzabile a 60 dB, è significativo e lento a recedere oltre i 90 dB).

Esistono diverse classificazioni di fatica uditiva, ne riportiamo un esempio:

- STS di cortissima durata (meno di 1 sec)
- STS di breve durata (1/2 min)
- STS di lunga durata (fino a 16 h) detto fisiologico o ordinario
- STS di lunghissima durata (oltre 16 h) detto patologico

Secondo alcuni AA lo STS assume anche importanza pratica in quanto permette di valutare, con ragionevole approssimazione il rischio di innalzamento permanente di soglia uditiva.

SPOSTAMENTO PERMANENTE DELLA SOGLIA Uditiva

Si sviluppa in modo lento e graduale nel corso di anni; la perdita inizia a frequenze elevate (3000-6000 Hz), soprattutto sui 4000 Hz, mentre all'inizio rispetta le frequenze più basse (500-1000-2000 Hz).

Interessa la trasmissione per via aerea e per via ossea; è bilaterale, simmetrica e irreversibile.

Solitamente la sua evoluzione comprende tre tappe, una prima fase audiometrica; una seconda fase di instaurazione con inizio della "claudicatio uditiva" per le frequenze del linguaggio; una terza fase di infermità manifesta, che comporta una perdita di 40 dB e più sulle frequenze del linguaggio.

Per ipotizzare una diagnosi di ipoacusia da rumore è necessaria un'esposizione per un certo periodo di tempo a livelli di rumorosità sufficienti a configurare un rischio; un riscontro di deficit percettivo superiore a quello atteso per l'età; un'esclusione di condizioni locali e generali in grado di aver prodotto una ipoacusia dello stesso tipo di quella da rumore.

EFFETTI EXTRAUDITIVI DEL RUMORE

Il rumore può essere causa di effetti extrauditivi a carico dell'apparato respiratorio e circolatorio, dell'apparato digerente, del sistema endocrino, del sistema vestibolare e del sistema nervoso centrale.

CRITERI DI RISCHIO

Criterio di rischio ACGIH Propone limiti intesi a prevenire un innalzamento medio di soglia superiore a 25 dB alle frequenze di 500 - 1000 - 2000 Hz.

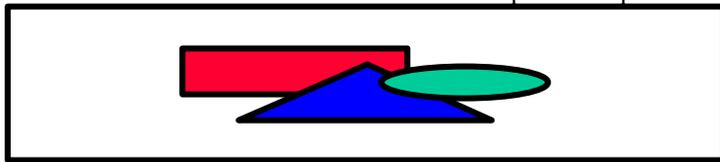
Rumore continuo o intermittente

Sono proposti limiti di intensità variabile in funzione della durata di esposizione.

8 h	85 dB
4 h	88 dB
2 h	91 dB
1 h	94 dB
30 '	97 dB
15 '	100 dB

Quando l'esposizione giornaliera a rumore si compone di due o più periodi di esposizione a livelli differenti, bisogna considerare il loro livello combinato, piuttosto che l'effetto singolo di uno di essi.

Ora, se consideriamo **C** come il tempo di esposizione totale giornaliera a un dato livello di rumorosità e **T** il tempo totale di esposizione permesso a tale livello,



deve essere inferiore a 1

NORMA ISO 1999

Secondo tale normativa, l'udito è considerato menomato se la media aritmetica dello spostamento permanente di soglia uditiva per le tre frequenze 500 - 1000 - 2000 Hz è di 25 dB o più.

Il rischio presente nell'esposizione a rumore è inteso come la probabilità che le persone esposte raggiungano o superino tale grado di perdita di udito.

Tale probabilità è data dalla differenza tra la percentuale di individui che presentano una perdita di udito (come prima definita) in un gruppo di soggetti esposti a rumore e la percentuale di persone presentanti una perdita di udito in un gruppo di non esposti a rumore (ma equivalenti per tutti gli altri aspetti).

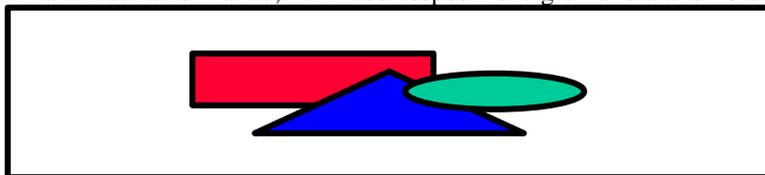
Si calcolano:

1. l'indice parziale di esposizione al rumore, cioè il livello acustico e la sua durata nel corso di una settimana lavorativa.
2. l'indice composto di esposizione al rumore, dato dalla somma degli indici parziali di esposizione per tutti i livelli acustici presenti nel corso di una settimana;
3. il livello acustico continuo equivalente, cioè il livello acustico in dB (A) che se fosse presente durante 40 h di esposizione settimanale, darebbe lo stesso indice composto di esposizione al rumore dei diversi livelli acustici misurati nel corso di una settimana.

DIRETTIVA CEE (12 Maggio 1986)

La direttiva si applica a tutti i lavoratori esposti a rumore con esclusione dei lavoratori della navigazione marittima e aerea.

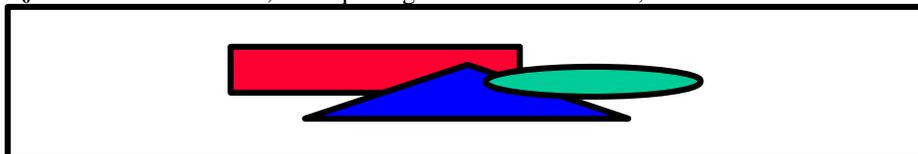
All'art. 2 della normativa, il LEP dell'esposizione giornaliera a rumore viene definito in questo modo:



$L_{EP,d}$ è l'esposizione quotidiana personale di un lavoratore al rumore espresso in dB(A);

T_e è la durata giornaliera dell'esposizione personale di un lavoratore al rumore;

T_0 sono le 8 h lavorative, che equivalgono a 28800 secondi;



dove:

$L_{EP,w}$ è la media settimanale dei valori quotidiani di esposizione.

I metodi e le strumentazioni utilizzate devono permettere di determinare le grandezze definite precedentemente, al fine di stabilire le situazioni nelle quali vengono superati i valori fissati nella presente direttiva.

I valori fissati sono:

85 dB(A) inteso come livello di azione: il superamento di tale valore nei luoghi di lavoro comporta l'informazione dei lavoratori sui rischi derivanti dall'esposizione a rumore per il loro udito, l'uso di dispositivi individuali di protezione e il controllo della funzione uditiva mediante test audiometrico;

90 dB(A) inteso come limite massimo di accettabilità della rumorosità ambientale: il superamento di tale valore comporta l'elaborazione e l'applicazione di programmi atti alla bonifica ambientale.

D.L. 277 AGOSTO 1991

Nell'agosto 1991 è stato pubblicato sulla G. U. il D.L. 277 di attuazione delle direttive CEE n. 80/1107, n. 82/605, n. 83/477, n. 86/188 "in materia di protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti da esposizione ad agenti chimici, fisici e biologici durante il lavoro, a norma dell' art. 7 legge 30 luglio 1991 n. 212".

Il capo IV di tale D.L. "Protezione dei lavoratori contro i rischi di esposizione al rumore durante il lavoro", stabilito come imperativo generale che "il datore di lavoro deve ridurre al minimo, in relazione alle conoscenze acquisite in base al progresso tecnico, i rischi derivanti dall'esposizione a rumore mediante misure tecniche, organizzative e procedurali, concretamente attuabili, privilegiando gli interventi alla fonte (art. 41 comma I) sancisce l'obbligo del datore di lavoro

- per valori di esposizione quotidiana del lavoratore superiori a 80 dBA (ma inferiori a 85 dBA) di mera informazione del personale sui rischi per l' udito derivanti dall'esposizione a rumore e sulle misure di protezione; di provvisione di controlli sanitari a richiesta (audiometrie);
- per valori di esposizione quotidiana dei lavoratori superiori ad 85 dBA (ma inferiori a 90 dBA) di fornitura di mezzi individuali di protezione acustica; di far provvedere obbligatoriamente ai controlli clinici ed audiometrici del personale;
- per valori di esposizione quotidiana dei lavoratori superiori a 90 dBA, oltre agli obblighi precedentemente elencati, di approntare segnaletica appropriata e perimetrazione per le zone a rischio con limitazione di accesso alle stesse; di predisporre misure tecniche ed organizzative atte a ridurre l'esposizione.

Fermi restando quindi gli obblighi di informazione e sorveglianza sanitaria (a richiesta) tra 80 e 85 dBA di esposizione giornaliera, di protezione individuale e sorveglianza sanitaria obbligatoria tra 85 e 90 dBA di esposizione, il limite di rumorosità ambientale espressa in Leq (per esposizione giornaliera e settimanale) al quale automaticamente devono corrispondere misure tecniche di abbattimento alla fonte dell'inquinante rumore risulta quindi di 90 dBA.

Il livello di azione specifica del fattore di rischio sull'apparato uditivo, cioè il livello al di sotto del quale non è ipotizzabile azione dannosa del rumore sull' udito degli esposti appare individuato dal D.L. in 80 dBA, in quanto non sembra ipotizzabile l' erogazione, sia pur a richiesta, di un esame funzionale uditivo per esposizioni inferiori a intensità sonora potenzialmente in grado di agire sull' apparato uditivo.