

*Ing. Giacomo Battipaglia*

# Elementi di ACUSTICA APPLICATA

Corso di Complementi di Fisica  
2014/2015  
Corso di laurea in Ingegneria edile



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DEL MOLISE

# Che cos'è l'Acustica

L'ACUSTICA (dal greco *ἀκούω*, che significa «odo», ovvero «*apprendo per mezzo dell'udito*») è quella branca della Fisica che affronta lo studio del SUONO, e in particolare le cause che lo producono, la sua propagazione e i suoi effetti.

Dal punto di vista storico, l'importanza dell'acustica era stata ben compresa e studiata già dagli antichi greci, i quali ci hanno lasciato molti teatri a dimostrazione dei risultati che avevano raggiunto. In essi, il grado di perfezione sonora raggiunto lascia ancora oggi stupiti (è il caso, ad esempio, del teatro della città di Epidaurò, in Grecia, costruito nel quarto secolo a.C. e oggi patrimonio dell'umanità).

# Che cos'è l'Acustica



Anche i Romani, sulla scia dei Greci, costruirono teatri ben progettati dal punto di vista acustico.

Tra i teatri dell'età moderna, uno che possiede un'acustica eccezionale è il Teatro San Carlo di Napoli, il più antico d'Europa

# Applicazioni dell'Acustica

- Sicurezza sul lavoro (D. Lgs. 81/08)
- Requisiti acustici passivi degli edifici (DPCM 05.12.1997, Legge 88/09)
- Qualità acustica degli ambienti civili e di lavoro (prescrizioni previste dai capitolati di appalto in termini di requisiti acustici)
- Qualità acustica del prodotto e rumorosità emessa dalle macchine (prescrizioni previste dal committente in termini di requisiti acustici, D. Lgs. 262/02, Decreto 24.07.2006).
- Piani di Zonizzazione Acustica comunali
- Piani di Risanamento acustico (bonifica acustica del territorio)
- Progettazione di barriere acustiche
- Progettazioni di sale da concerto, sale da conferenza, cinema, teatri, luoghi di intrattenimento

# Applicazioni dell'Acustica (segue)

- Relazioni previsionali di impatto acustico di fabbriche, attività commerciali...
- Valutazioni di impatto acustico previsionale di fabbriche, attività commerciali...
- Misurazione del rumore provocato dal traffico veicolare e valutazione dei livelli acustici sulle facciate degli edifici
- Misurazione del rumore percepito nell'ambiente abitativo e confronto dei risultati ottenuti con i limiti previsti dalla legge
- Misurazione del rumore provocato dal traffico ferroviario
- Mappature acustiche strategiche
- Requisiti acustici delle discoteche
- Progettazione e costruzione di strumenti musicali
- Registrazioni audiovisive (esiste la figura dell'Ingegnere del suono)
- Acustica non lineare (applicazioni mediche e in altri campi)

--- elenco non esaustivo ---

# Contenuto

- Parte Prima: IL SUONO
- Parte Seconda: IL RUMORE E I SUOI EFFETTI SULL'ORGANISMO UMANO
- Parte Terza: L'ACUSTICA NELLA SICUREZZA SUL LAVORO
- Parte Quarta: L'INQUINAMENTO ACUSTICO AMBIENTALE
- Parte Quinta: I REQUISITI ACUSTICI PASSIVI DEGLI EDIFICI

# Parte Prima – IL SUONO

## ONDA SONORA

In generale, si ha la formazione di un'onda quando in un mezzo continuo in quiete si provoca una perturbazione in un punto.

Esempio: un sassolino lanciato nell'acqua di un laghetto.

Il sassolino altera lo stato di quiete del mezzo. La particolarità dell'onda consiste nel fatto che essa non rimane ferma, ma si propaga con una velocità che è caratteristica della natura dell'onda e del mezzo.





# Parte Prima – IL SUONO

Supponiamo che il mezzo sia l'aria. Lo spostamento che avviene è quello delle compressioni e delle decompressioni e non quello dell'aria, la quale non ha un moto di spostamento. Ciò vuol dire che non si ha un trasporto di materia, ma soltanto di energia. Infatti, a tutti i tipi di propagazione di onda è sempre associata una propagazione di energia. Nel caso della Meccanica, la formazione delle onde è resa possibile grazie alle proprietà **elastiche** del ***materiale*** in cui esse si propagano. Le onde, cioè, non possono propagarsi nel **vuoto**.



# Parte Prima – IL SUONO

Vi sono tuttavia altri tipi di onde (luce, raggi X, segnali radio...) che possono propagarsi anche nel vuoto.

Man mano che un'onda si allontana dalla sorgente vibrante che l'ha prodotta, l'energia che essa porta con sé si distribuisce in uno spazio sempre più grande, per cui si ha una forte attenuazione del fenomeno.

Questo è il motivo per il quale la voce o altri suoni a una certa distanza cominciano a diventare non più udibili.



# Parte Prima – IL SUONO

## GENERAZIONE DEL SUONO

Perché un suono possa generarsi, propagarsi ed essere udito occorre che si verificano determinate condizioni, e in particolare:

- la presenza di una sorgente sonora;
- la presenza di un mezzo elastico (che generalmente è *l'aria*, ma può essere un qualsiasi altro fluido oppure un solido);
- una variazione di pressione nel mezzo elastico intorno a un valore di equilibrio;
- un contenuto energetico superiore a una soglia minima di udibilità (il campo di udibilità varia tra i 20 e i 20.000 Hz di frequenza, mentre la soglia di udibilità riguarda un'ampiezza, cioè un contenuto energetico, superiore a  $2 \times 10^{-5}$  Pa).
- la presenza di un ricevitore.

# Parte Prima – IL SUONO

Quanto detto fa comprendere che un suono (o un rumore) ha origine da una sorgente sonora che produce localmente una successione di compressioni e rarefazioni della pressione, generando delle vere e proprie onde che si propagano nel mezzo elastico.

Occorre tener presente però che:

1) un suono non può propagarsi nel vuoto (se si pone una sorgente sonora in una camera nella quale venga fatto il vuoto, il fenomeno sonoro cesserà). Ciò è dovuto al fatto che nel mezzo elastico (immaginiamo l'aria) le particelle che compongono il mezzo permettono alla perturbazione di trasmettersi con una certa energia generata dalla sorgente nell'unità di tempo (ed espressa quindi in watt).

# Parte Prima – IL SUONO

2) Nei gas e nei liquidi, che sono mezzi attraverso i quali non possono trasmettersi sforzi di taglio, le onde sonore saranno longitudinali, in quanto le vibrazioni emanate dalla sorgente sono sempre parallele alla direzione dell'onda che si sta propagando. Invece in un solido, oltre alle onde longitudinali vi saranno anche onde trasversali, dovute a vibrazioni perpendicolari alla direzione dell'onda longitudinale.

# Parte Prima – IL SUONO

## CARATTERI DEL SUONO

I caratteri di un suono sono 3:

- 1) ALTEZZA:** data dal numero delle vibrazioni, cioè dalla frequenza; più grande è la frequenza di un suono e più esso è alto, cioè acuto.
- 2) INTENSITÀ** data dall'ampiezza delle vibrazioni. L'ampiezza di una vibrazione è il massimo spostamento di una particella dalla sua posizione di equilibrio. Se l'ampiezza diventa molto grande, il suono comincia a dare fastidio e può causare anche rottura dei timpani o sordità.
- 3) TIMBRO:** dato dalla forma delle vibrazioni, cioè dal modo in cui vibrano le varie parti della sorgente sonora, e rappresenta la qualità di un suono. Si pensi alle corde vocali: noi possiamo pronunciare le 5 vocali con la stessa altezza e la stessa intensità, ma la forma è talmente diversa da non lasciare alcun dubbio su quale sia la vocale che abbiamo appena pronunciato.

# Parte Prima – IL SUONO

## **PROPAGAZIONE DEL SUONO**

Un'onda sonora si allontana dalla sorgente che l'ha emessa con una velocità che dipende dalla sua natura e dalle caratteristiche del mezzo elastico in cui si trova. Ciò vuol dire che la velocità di propagazione non dipende né dall'altezza, né dalla intensità e nemmeno dal timbro del suono.

Basti pensare a un'orchestra al completo che stia suonando su un palcoscenico: i suoni emessi dagli strumenti musicali avranno intensità, altezza e timbro molto diversi tra loro, eppure giungeranno tutti contemporaneamente al nostro orecchio.

# Parte Prima – IL SUONO

Per quanto riguarda il mezzo elastico che più ci interessa da vicino, cioè l'**aria**, in essa, alla pressione di 1 Atm e alla temperatura di 0 °C, la velocità del suono è poco meno di 340 m/s. Tale valore, enormemente inferiore a quello della velocità della luce (circa 300.000 km/s), dà origine a particolari fenomeni.

Esempio: un uomo che batte con un martello su un'incudine.

Il suono può propagarsi nei gas, nei liquidi e nei solidi. Nell'acqua la velocità del suono è maggiore che nell'aria, e ancora di più lo è nei solidi.

Se appoggiamo la testa su una rotaia, potremo sentire il rumore di un treno che corre lontano, e ciò è dovuto al fatto che il suono si sta propagando attraverso l'acciaio del binario.



# Parte Prima – IL SUONO

Mezzo	Temperatura (°C)	Velocità (m/s) (valori approssimati)
ARIA	0	340
ACQUA	15	1500
FERRO	20	5100
GRANITO	20	6000

## Velocità del suono in alcuni mezzi elastici

Nella seconda colonna è stata riportata anche la T perché la velocità del suono varia al variare della temperatura del mezzo elastico. In particolare,  $v = 20,5\sqrt{T}$  (con T espressa in K).

# Parte Prima – IL SUONO

Un suono viene prodotto da un **corpo vibrante**. Esso, cioè, è sempre dovuto a **vibrazioni** della sorgente sonora. Tuttavia, occorre tener presente che non tutti i corpi che vibrano emettono necessariamente un suono.

Dato un certo suono, siano:

$v$  = la velocità di propagazione;

$f$  = la frequenza, cioè il numero di vibrazioni al secondo.

Il periodo  $T$  (cioè la durata di una vibrazione) è dato dall'inverso della frequenza:

$$T = \frac{1}{f}$$

# Parte Prima – IL SUONO

Lo spazio  $\lambda$ , percorso da un suono in un tempo uguale al suo periodo, è dato da:

$$\lambda = v \cdot T = \frac{v}{f}$$

Se esprimiamo la velocità del suono in *m/s*, il periodo in *s* e la frequenza in *Hz* (cicli al secondo), possiamo esprimere  $\lambda$  in *metri*.  
Lo spazio  $\lambda$  prende il nome di **lunghezza d'onda**.

La lunghezza d'onda di un suono è data, dunque, dal prodotto tra la velocità e il periodo. Essa rappresenta, cioè, lo spazio percorso dal suono in un periodo ed è, ancora, uguale alla distanza tra due zone compresse o tra due zone depresse dello spazio in cui il suono si propaga.

# Parte Prima – IL SUONO

## LIMITI DI UDIBILITÀ

L'orecchio umano non percepisce tutti i suoni. Esiste una vasta gamma di suoni che giunge comunque al nostro orecchio, ma non provoca in esso alcuna sensazione uditiva, per cui di fatto tali suoni non li sentiamo. Tra questi vi sono gli **ultrasuoni**, che sono dei suoni con frequenze elevatissime (superiori ai 20.000 Hz e che in alcuni casi possono superare il miliardo di Hz) e gli **infrasuoni**.

Le frequenze che il nostro orecchio riesce a captare variano in un intervallo estremamente piccolo, tra i **20** e i **20.000** Hz. Tali valori rappresentano dei limiti, detti **limiti di udibilità**.

A 20 Hz udiamo un suono estremamente basso, mentre a 20.000 Hz udiamo un fischio acutissimo.

Molte specie animali, diversamente dall'uomo, sono in grado di udire gli ultrasuoni. Tra loro ricordiamo i cani, i delfini, le balene, i pipistrelli, i topi e i ratti.

# Parte Prima – IL SUONO

## LUNGHEZZE D'ONDA DELLE ONDE ACUSTICHE ENTRO I LIMITI DI UDIBILITÀ

Ricordando l'espressione della lunghezza d'onda ( $\lambda = v/f$ ), il valore assunto dalla velocità del suono nell'aria (340 m/s circa) e i limiti di udibilità appena visti ( $f = 20$  Hz e  $f = 20.000$  Hz), possiamo facilmente calcolare la lunghezza d'onda dei suoni percepibili dall'orecchio umano:

$$\lambda = 340/20 \approx 17 \text{ m e } \lambda = 340/20.000 \approx 2 \text{ cm.}$$

Con tali calcoli possiamo affermare che:

**I SUONI CHE UN ORECCHIO UMANO RIESCE A PERCEPIRE NELL'ARIA SONO DELLE VIBRAZIONI ELASTICHE LONGITUDINALI CON LUNGHEZZA D'ONDA VARIABILE TRA I 2 CENTIMETRI E I 17 METRI.**

Occorre tenere presente che vi possono essere differenze variabili da persona a persona, dovute a sensibilità diverse: un suono a una determinata frequenza può essere percepito da una persona, mentre da un'altra no.

## IL RUMORE E I SUOI EFFETTI SULL'ORGANISMO UMANO

### SUONO E RUMORE

Che differenza c'è tra un violino che stia suonando le «Suite per orchestra» di Johann Sebastian Bach e un martello pneumatico? Entrambi questi oggetti si comportano da corpi vibranti emettendo onde sonore, ovvero variazioni di pressione rilevate da un ricettore, che in questo caso è rappresentato dal nostro orecchio.

È intuitivo definire:

- **suono** quel complesso di onde sonore che provocano in noi una percezione gradevole
- **rumore** quelle onde sonore che invece provocano percezioni sicuramente sgradevoli.

Più in particolare, si intende per rumore un suono che provochi una sensazione sgradevole, fastidiosa, intollerabile e addirittura nociva per il nostro organismo.

## Parte Seconda – IL RUMORE (effetti)

Queste differenti sensazioni sono dovute al fatto che mentre i suoni si trasmettono nel mezzo elastico con movimenti oscillatori di uguale lunghezza e velocità, facendo giungere al nostro orecchio uno stimolo uditivo continuo avente una *qualità ben definita*, al contrario i rumori si trasmettono con movimenti oscillatori che non hanno uguali né la lunghezza né la velocità, ovvero sono *completamente irregolari*.

Ciò produce in noi uno stimolo uditivo continuo ma con qualità indeterminata. La sensazione immediata che ne deriva è una sensazione di fastidio, che può trasformarsi in vero e proprio dolore.



# Parte Seconda – IL RUMORE (effetti)

140	zona del dolore
120	
110	
100	
90	zona di fatica
80	
75	
70	
60	zona di riposo (giorno)
50	
40	
30	zona di riposo (notte)
20	

Relazione tra INTENSITÀ del suono (espressa in decibel) e percezioni uditive.

# Parte Seconda – IL RUMORE (effetti)

Colore **CELESTE** (tra i 20 e i 30 dB): **ZONA DI RIPOSO (NOTTE)**. Ad esempio una camera da letto, uno studio di registrazione musicale, un bosco.

Colore **VERDE** (tra i 40 e i 60 dB): **ZONA DI RIPOSO (GIORNO)**. Ad esempio un'abitazione, un ufficio, una biblioteca.

Colore **ARANCIONE** (tra i 70 e i 90 dB): **ZONA DI FATICA**. Ad esempio persone che parlano con voci molto forti, officine di lavorazione meccanica, strade molto trafficate, autocarro che passa accanto a noi.

Colore **ROSSO** (tra i 100 e i 140 dB): **ZONA DEL DOLORE** (possibili lesioni all'orecchio). Ad esempio un concerto rock, un treno della metropolitana, un aereo in decollo, un martello pneumatico, un tuono, un colpo di arma da fuoco.

# Parte Seconda – IL RUMORE (effetti)

## PERCHÉ UTILIZZIAMO IL DECIBEL?

Perché la risposta del sistema uditivo non è lineare, ma *logaritmica* (l'intensità delle sensazioni uditive è, in prima approssimazione, proporzionale al *logaritmo* dello stimolo e non al suo valore assoluto), e perché in tal modo si riduce l'errore di lettura su una scala lineare.

Quindi in Acustica le misure di un determinato parametro si esprimono in scala logaritmica nella quale, al valore della grandezza che si sta esaminando, si fa corrispondere il logaritmo del rapporto tra quello stesso valore e un prefissato valore di riferimento.

L'utilizzo di una scala logaritmica comporta la possibilità di valutare dei dati numerici che sono facilmente paragonabili tra loro.

# Parte Seconda – IL RUMORE (effetti)

Esempio:

se consideriamo la **pressione**, i limiti di udibilità variano tra  
20  $\mu\text{Pa}$  e 200 Pa

se invece consideriamo il decibel, i limiti di udibilità variano tra  
0 e 140 dB.

Il **decibel** si esprime come:

$$dB = 10 \cdot \log_{10} \frac{X}{X_0}$$

cioè è 10 volte il logaritmo in base 10 del rapporto tra il valore  $X$  misurato di una grandezza e un valore  $X_0$  assunto come riferimento.

Attenzione, perché dal momento che si sta considerando un rapporto tra grandezze omogenee, si ha che **il decibel è adimensionale**, per cui non va inteso come una unità di misura.

# Parte Seconda – IL RUMORE (effetti)

## EFFETTI DEL RUMORE SULL'ORGANISMO UMANO

Possiamo definire rumore qualsiasi suono che ci risulti sgradito, molesto, insopportabile e addirittura nocivo.

Il danno da rumore più noto è la **ipoacusia**, ovvero la diminuzione dell'udito fino alla perdita completa della capacità uditiva.

Tuttavia il rumore può provocare anche vertigini, nausea, disturbo dell'equilibrio. In particolare, il sistema nervoso centrale, l'apparato cardiovascolare e l'apparato endocrino possono essere danneggiati mediante meccanismi alquanto complessi provocati dal rumore.

# Parte Seconda – IL RUMORE (effetti)

Un altro effetto da considerare è detto *effetto di mascheramento*, che può:

- disturbare la comunicazione verbale tra gli individui;
- coprire totalmente o in parte i suoni che provengono da segnali acustici di sicurezza;
- favorire l'insorgenza di fatica mentale;
- diminuire l'efficienza del rendimento sul luogo di lavoro;
- provocare problemi di apprendimento;
- interferire con il riposo notturno o comunque alterare la quiete.

# Parte Seconda – IL RUMORE (effetti)

Il rumore può causare all'organismo umano diversi effetti che dipendono da numerosi fattori, quali, ad esempio:

- l'intensità;
- la durata;
- la composizione spettrale;
- la ripetitività.

Quelle appena descritte sono delle caratteristiche fisiche del fenomeno.

Esistono, però, anche altri fattori da tenere presenti, quali, ad esempio:

- la sensibilità della persona esposta al rumore;
- il tipo di lavoro svolto;
- l'età.



# Parte Seconda – IL RUMORE (effetti)

## DANNI AL SISTEMA Uditivo

Si considera **dannoso** per l'udito quel rumore che, a causa della sua intensità e della sua composizione spettrale, con il passare del tempo determina un deficit uditivo tale da comportare una notevole difficoltà nella percezione delle frequenze acustiche caratteristiche della voce parlata (500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz).

Rappresenta il **rischio**, invece, la differenza tra la percentuale di persone che, all'interno di un gruppo di persone esposte al rumore, abbiano subito un danno all'udito, e la percentuale di persone che, all'interno di un gruppo di persone *non* esposte al rumore, abbiano subito anch'esse un danno all'udito.

# Parte Seconda – IL RUMORE (effetti)

L'orecchio può essere schematizzato in 3 parti:

- ORECCHIO ESTERNO;
- ORECCHIO MEDIO;
- ORECCHIO INTERNO.

A sua volta, il sistema uditivo può essere distinto in 3 apparati:

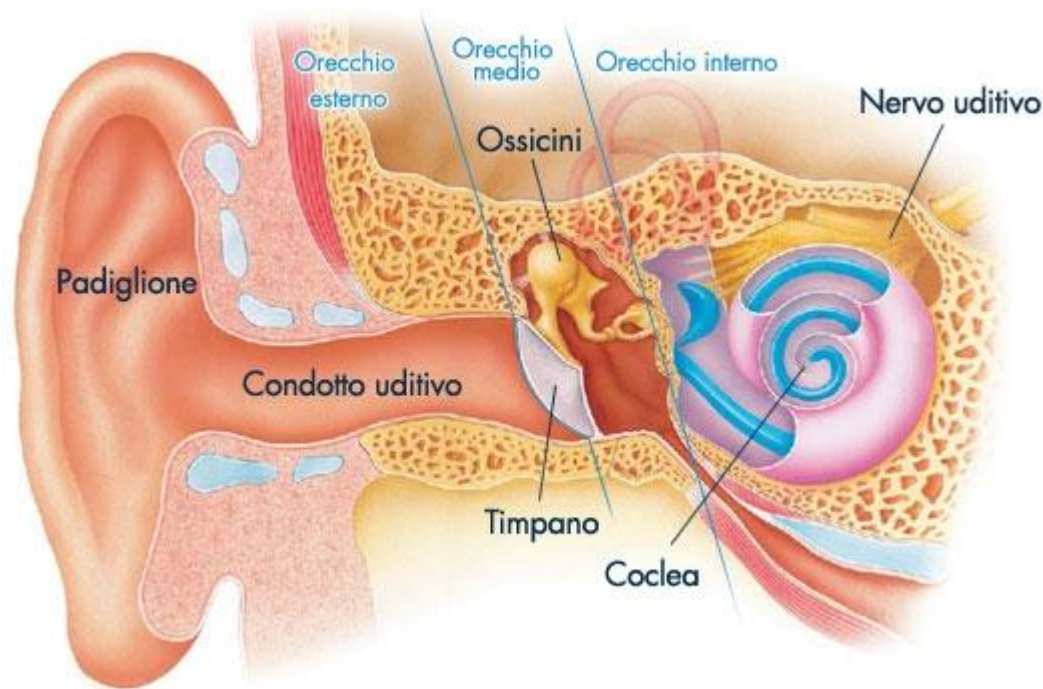
APPARATO DI TRASMISSIONE

APPARATO DI TRASDUZIONE.

APPARATO DI CODIFICAZIONE E DECODIFICAZIONE

# Parte Seconda – IL RUMORE (effetti)

Attraverso il padiglione auricolare, le vibrazioni sonore vengono convogliate nel condotto uditivo esterno (detto meato uditivo), chiuso dalla membrana del timpano. Da qui passano nell'orecchio medio, che contiene una catena di ossicini: *incudine*, *martello* e *staffa*.



# Parte Seconda – IL RUMORE (effetti)

Le informazioni vengono trasmesse dalla staffa alla membrana della coclea, che al suo interno contiene un liquido nel quale cominciano così a formarsi delle onde. Nella coclea ha sede anche il cosiddetto “organo di Corti” e si trovano delle cellule ciliate che hanno il compito di trasformare le onde meccaniche in impulsi elettrici che, attraverso il nervo acustico, giungono al cervello dove vengono poi decodificati nelle aree uditive. Le cellule ciliate si dividono in interne ed esterne.

# Parte Seconda – IL RUMORE (effetti)

Nel caso di esposizione a rumori molto intensi, vi possono essere dei danni irreversibili alle cellule ciliate esterne. Ciò compromette le normali prestazioni del sistema uditivo determinando ipoacusia.

Ben più grave è il caso in cui, a causa del rumore, vengano distrutte le cellule ciliate interne: in tal caso si può giungere alla sordità completa dell'individuo.

## L'ACUSTICA NELLA SICUREZZA SUL LAVORO

### QUADRO NORMATIVO

**Il D. Lgs. n. 81 del 2008 (pubblicato in G. U. n. 101 del 20/04/2008, in vigore dal 15/01/2008)**

Il decreto legislativo n. 81/08, comunemente noto come TESTO UNICO DELLA SICUREZZA SUL LAVORO, è articolato in 13 TITOLI, per complessivi 306 ARTICOLI, e corredato da 51 ALLEGATI.

Esso prescrive le misure per la tutela della sicurezza e della salute dei lavoratori durante il lavoro.

Si applica a tutti i settori di attività, privati e pubblici, e a tutte le tipologie di rischio.

# Parte Terza - SICUREZZA

**Al Titolo VIII, Capo I, II e III il D. Lgs. 81/08 prescrive la prevenzione e protezione dai rischi dovuti all'esposizione di AGENTI FISICI nei luoghi di lavoro.**

Per agenti fisici si intendono:

- **il rumore, gli ultrasuoni, gli infrasuoni;**
- le vibrazioni meccaniche;
- i campi elettromagnetici;
- le radiazioni ottiche di origine artificiale;
- il microclima;
- le atmosfere iperbariche

che possono comportare rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori (art.**180**).

# Parte Terza - SICUREZZA

L'art. **188** del D. Lgs 81/08 definisce:

**Pressione acustica di picco ( $p_{peak}$ ):** valore massimo della pressione acustica istantanea ponderata in frequenza "C". Questo parametro è molto importante nella valutazione del rumore impulsivo. È noto infatti che a parità di contenuto energetico medio, un rumore che presenta caratteristiche di impulsività costituisce un fattore di rischio aggiuntivo per la salute;

**Livello di esposizione giornaliera al rumore ( $L_{EX, 8h}$ ), [dB(A)]:** valore medio, ponderato in funzione del tempo, dei livelli di esposizione al rumore per una giornata lavorativa nominale di otto ore, riferito a tutti i rumori sul lavoro;

**Livello di esposizione settimanale al rumore ( $L_{EX,w}$ ):** valore medio, ponderato in funzione del tempo, dei livelli di esposizione giornaliera al rumore per una settimana nominale di cinque giornate lavorative di otto ore.



# Parte Terza - SICUREZZA

Nel D. Lgs. 81/08, le principali novità legislative che interessano il lavoratore sono:

- 1) il datore di lavoro *deve* adottare una serie specifica di misure per **informare** e **proteggere** il lavoratore da eventuali rischi relativi all'esposizione a rumore;
- 2) il datore di lavoro *deve* valutare il livello di rumorosità a cui è esposto ogni singolo lavoratore nell'arco della giornata o della settimana lavorativa.

# Parte Terza - SICUREZZA

Ai sensi dell'art. 190 del D. Lgs. 81/08, la valutazione del rischio deve essere effettuata durante le effettive attività lavorative, prendendo in considerazione in particolare:

- il livello, il tipo e la durata dell'esposizione, ivi inclusa ogni esposizione a rumore impulsivo;
- i valori limite di esposizione e i valori di azione di cui all'art. 189;
- tutti gli effetti sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori particolarmente sensibili al rumore;
- gli effetti sulla salute e sicurezza dei lavoratori derivanti dalle interazioni tra rumore e sostanze ototossiche connesse all'attività svolta, e tra rumore e vibrazioni, seguendo attentamente l'orientamento della letteratura scientifica e sanitaria ed i suggerimenti del medico competente;
- le informazioni sull'emissione di rumore fornite dai costruttori delle attrezzature impiegate, in conformità alle vigenti disposizioni in materia;

# Parte Terza - SICUREZZA

- l'esistenza di attrezzature di lavoro alternative, progettate per ridurre l'emissione di rumore;
- il prolungamento del periodo di esposizione al rumore oltre l'orario di lavoro normale, in locali di cui è responsabile;
- le informazioni raccolte dalla sorveglianza sanitaria, comprese, per quanto possibile, quelle reperibili nella letteratura scientifica;
- la disponibilità di dispositivi di protezione dell'udito con adeguate caratteristiche di attenuazione.

La legge stabilisce i tre livelli di esposizione e gli adempimenti ai quali sono tenuti i datori di lavoro qualora vengono superati i livelli stessi.

Più precisamente, l'art. **189** definisce 3 livelli di riferimento, in termini di esposizione giornaliera, secondo la seguente tabella:

# Parte Terza - SICUREZZA

VALORE DI RIFERIMENTO	LIVELLO DI ESPOSIZIONE GIORNALIERA ( $L_{EX,8h}$ )	PRESSIONE ACUSTICA DI PICCO ( $P_{peak}$ )
VALORI LIMITE DI ESPOSIZIONE	87 dB(A)	140 dB(C)
VALORI SUPERIORI DI AZIONE	85 dB(A)	137 dB(C)
VALORI INFERIORI DI AZIONE	80 dB(A)	135 dB(C)

Laddove, a causa delle caratteristiche intrinseche della attività lavorativa, l'esposizione giornaliera al rumore varia significativamente da una giornata di lavoro all'altra, è possibile sostituire, ai fini dell'applicazione dei valori limite di esposizione e dei valori di azione, il livello di esposizione giornaliera al rumore con il livello di esposizione settimanale a condizione che:

- il livello di esposizione settimanale al rumore, come dimostrato da un controllo idoneo, non ecceda il valore limite di esposizione di 87 dB(A);
- siano adottate le adeguate misure per ridurre al minimo i rischi associati a tali attività.

# Parte Terza - SICUREZZA

Nel caso di variabilità del livello di esposizione settimanale va considerato il livello settimanale massimo ricorrente.

**Al di sotto di 80 dB(A)** non sono previste disposizioni particolari; il datore di lavoro deve però sempre e in ogni caso ridurre al minimo i rischi derivanti dall'esposizione al rumore. In effetti il valore limite di 80 dB(A) stabilisce le condizioni entro le quali si ritiene possano essere esposti ripetutamente, e tutti i giorni, lavoratori sani senza che si riscontrino effetti nocivi su di essi dal punto di vista acustico.

Nel caso in cui il Livello di esposizione sia **pari a 80 dB(A)**, verrà effettuata la Formazione ed Informazione in relazione ai rischi provenienti dall'esposizione al rumore.

Ad ogni livello corrispondono una serie di adempimenti che possono essere così sintetizzati:

# Parte Terza - SICUREZZA

FASCIA	MISURE DI SICUREZZA DA ADOTTARE (sintesi)
Lex, 8h ≤ 80 dB(A) ppeak ≤ 135 dB(C)	Nessuna azione specifica (*)
80 < Lex, 8h < 85 dB(A) 135 < ppeak < 137 dB(C)	<p><b>INFORMAZIONE E FORMAZIONE DEI LAVORATORI</b> in relazione ai rischi provenienti dall'esposizione al rumore.</p> <p><b>DPI</b> messa a disposizione dei lavoratori dei dispositivi di protezione individuale dell'udito (art. 193 D. Lgs. 81/08, comma 1, lettera a).</p> <p><b>VISITE MEDICHE</b> solo su richiesta del lavoratore o qualora il medico competente ne confermi l'opportunità.</p>

segue

# Parte Terza - SICUREZZA

FASCIA	MISURE DI SICUREZZA DA ADOTTARE (sintesi)
$85 \leq Lex, 8h \leq 87 \text{ dB(A)}$ $137 \leq p_{peak} \leq 140 \text{ dB(C)}$	<p data-bbox="784 368 1657 404"><b>INFORMAZIONE E FORMAZIONE DEI LAVORATORI</b></p> <ul data-bbox="595 429 1850 582" style="list-style-type: none"><li>- In relazione ai rischi provenienti dall'esposizione al rumore;</li><li>- sull'uso corretto delle attrezzature di lavoro in modo da ridurre al minimo la loro esposizione al rumore.</li></ul> <p data-bbox="1193 661 1251 696"><b>DPI</b></p> <ul data-bbox="595 722 1850 1053" style="list-style-type: none"><li>- Scelta di DPI dell'udito che consentano di eliminare il rischio per l'udito o di ridurlo al minimo, previa consultazione dei lavoratori o dei loro rappresentanti (Art. 193, comma 1, lettera c, del D. Lgs. 81/08;</li><li>- il Datore di Lavoro esige che vengano indossati i DPI dell'udito (art. 193 D. Lgs. 81/08, comma 1, lettera b).</li></ul> <p data-bbox="1078 1132 1367 1168"><b>VISITE MEDICHE</b></p> <p data-bbox="1107 1189 1338 1225"><u>Obbligatorie.</u></p> <p data-bbox="755 1303 1696 1339"><b>PROGRAMMA DI MISURE TECNICHE ORGANIZZATIVE</b></p>

# Parte Terza – SICUREZZA

FASCIA	MISURE DI SICUREZZA DA ADOTTARE (sintesi)
<b>Lex, 8h &gt; 87 dB(A) ppeak &gt; 140 dB(C)</b>	<p style="text-align: center;"><b>INFORMAZIONE E FORMAZIONE DEI LAVORATORI</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- In relazione ai rischi provenienti dall'esposizione al rumore;</li><li>- sull'uso corretto delle attrezzature di lavoro in modo da ridurre al minimo la loro esposizione al rumore.</li></ul> <p style="text-align: center;"><b>DPI</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- imposizione dell'obbligo di indossare DPI dell'udito in grado di abbassare l'esposizione al di sotto del valore limite, salvo richiesta e concessione di deroga da parte dell'organo di vigilanza competente (art. 197, comma 1, D. Lgs. 81/08).</li><li>- verifica dell'efficacia dei DPI e che gli stessi mantengano un livello di rischio uguale od inferiore ai livelli inferiori di azione.</li></ul> <p style="text-align: center;"><b>VISITE MEDICHE</b> <u>Obbligatorie.</u></p> <p><b>PROGRAMMA DI MISURE TECNICHE ORGANIZZATIVE.</b> <b>INTRAPRENDERE TUTTE LE MISURE PER ABBASSARE IL LIVELLO DI ESPOSIZIONE SOTTO GLI 87 dB(A).</b></p>



# Parte Terza – SICUREZZA

## LA STRUMENTAZIONE DI MISURA



Fonometro

Lo strumento utilizzato per la misura del rumore si chiama **FONOMETRO**.

La *taratura* del fonometro non deve essere antecedente di più di 2 anni dalla data nella quale si stanno effettuando le misure (limite previsto dalla legge). Essa va fatta in un centro accreditato.

Prima e dopo l'effettuazione delle misure il fonometro deve essere opportunamente *calibrato*, mediante le procedure previste dal costruttore dello stesso strumento. La calibrazione viene di norma effettuata dallo stesso professionista che esegue la misura.

## INCERTEZZA NELLE MISURE

Il D. Lgs. 81/08 stabilisce che, nell'effettuazione della valutazione del rischio, il datore di lavoro debba tener conto dell'incertezza delle misure determinate secondo la prassi metrologica (art. 190, comma 4).

In accordo con la norme Uni 9432 e ISO 9612 del 2011, nella valutazione del livello di esposizione Lex si può tener dei seguenti tipi di incertezze, che influenzano il livello di esposizione giornaliero o settimanale:

- 1) incertezza da campionamento (altresì nota come "ambientale"),  $\mu_{1a}$ ;
- 2) incertezza sui tempi di esposizione (durata dei compiti),  $\mu_{1b}$ ;
- 3) incertezza strumentale,  $u_2$ ;
- 4) incertezza da posizionamento dello strumento,  $\mu_3$ .

# Parte Terza – SICUREZZA

## CURVE ISOFONICHE

La sensibilità dell'orecchio umano è differente alle diverse frequenze dello spettro: infatti, essa è massima per le frequenze centrali, comprese tra 1000 e 4000 Hz, e tende a decrescere alle alte frequenze e in misura ancora maggiore a quelle basse (cioè man mano che ci si avvicina agli ultrasuoni e agli infrasuoni).

Le curve isofoniche sono curve di uguale sensazione uditiva e ciascuna di esse rappresenta il livello della pressione sonora di un tono puro necessario per produrre, in un ascoltatore, la stessa sensazione uditiva alle diverse frequenze. La pressione sonora  $p(t)$  è definita come la differenza tra la pressione totale dell'aria  $P(t)$  in presenza di disturbo acustico, e la pressione statica dell'aria  $P_0$  in assenza di disturbo acustico.

Le curve isofoniche sono riportate in letteratura scientifica su opportuni diagrammi.

# Parte Terza – SICUREZZA

## CURVE DI PESATURA

Dal momento che la risposta dell'orecchio umano a uno stimolo sonoro proveniente dall'esterno varia al variare della **frequenza**, sono state introdotte delle cosiddette **curve di ponderazione** codificate, le quali hanno la “funzione” di filtrare il rumore alle varie frequenze. Le possibili ponderazioni sono A, B, C, D.

La pesatura “A” è basata sulla curva isofonica a 40 phon. In psicoacustica il **phon** rappresenta il livello di sensazione sonora. La curva A risulta essere quella che approssima meglio la risposta dell'orecchio umano. Tutti i valori, espressi in dB, determinati utilizzando il filtro A, devono riportare la lettera A dopo il simbolo del decibel, cioè devono essere espressi nel modo seguente: dB(A).

La pesatura “D” si usa in ambito aerospaziale (rumore dei motori).

## **EFFETTUAZIONE DELLE MISURE DEI LIVELLI DI ESPOSIZIONE AL RUMORE DEI LAVORATORI**

Per ognuno dei macchinari presenti sul luogo di lavoro e per ogni mansione dei lavoratori devono essere effettuate misure fonometriche, avendo cura di posizionare il microfono a un'altezza dal suolo pari a quella dell'orecchio del lavoratore addetto a quel macchinario.

Nel documento redatto deve essere ovviamente indicato il giorno in cui sono state effettuate le misurazioni, e allo stesso documento devono essere allegati i certificati di taratura della strumentazione utilizzata (cioè del fonometro e del calibratore).

Esistono anche dei criteri di valutazione dei dispositivi di protezione auricolare e del valore limite di esposizione.

## **DPI (DISPOSITIVI DI PROTEZIONE INDIVIDUALI)**

L'Allegato VIII del D. Lgs. 81/08, riporta un elenco indicativo e non esauriente delle attrezzature di protezione individuali. Tra queste, sono menzionati i dispositivi di protezione dell'udito. Essi sono:

- palline e tappi per orecchie;
- caschi (comprendenti l'apparato auricolare);
- cuscinetti adattabili ai caschi di protezione per l'industria;
- cuffie con attacco per ricezione a bassa frequenza;
- dispositivi di protezione contro il rumore con apparecchiature di intercomunicazione.

# Parte Terza – SICUREZZA

## **FIGURE PROFESSIONALI NEL CAMPO DELLA SICUREZZA SUL LAVORO**

Per la redazione del Documento della Valutazione dei Rischi (DVR), il Datore di Lavoro (DL) può organizzare il Servizio di Prevenzione e Protezione (SPP) costituito da un Responsabile (RSPP) e da alcuni Addetti (ASPP), interni o esterni all'azienda, in possesso di attitudini e capacità adeguate.

Il D. Lgs. 195/2003 ha previsto che il RSPP e gli ASPP debbano essere in possesso di un titolo di studio non inferiore al diploma di istruzione secondaria superiore e di un attestato di frequenza a specifici corsi di formazione, con verifica dell'apprendimento.

I percorsi formativi sono strutturati nel modo seguente:

**Modulo A:** costituisce il corso di base per lo svolgimento della funzione di RSPP e di ASPP. La sua durata è di 28 ore. I contenuti delle attività formative sono mirati principalmente alla individuazione ed alla valutazione dei rischi presenti sul luogo di lavoro, unitamente alle misure di prevenzione da adottare.

# Parte Terza – SICUREZZA

**Modulo B:** di specializzazione, è il corso adeguato alla natura dei rischi presenti sul luogo di lavoro e relativi alle attività lavorative. I principali argomenti riguardano i seguenti rischi: rumore, vibrazione, microclima e illuminazione, radiazioni, agenti chimici, elettricità, atmosfere esplosive, movimentazione dei carichi, polveri, agenti cancerogeni. Sono sviluppati, inoltre, argomenti riguardanti la prevenzione incendi e la scelta dei DPI (dispositivi di protezione individuali). La durata di tale modulo varia da 12 a 68 ore, a seconda del macro settore di riferimento.

**Modulo C:** di specializzazione per le sole funzioni di RSPP, è il corso su prevenzione e protezione dei rischi, anche di natura ergonomica e psicosociale, di organizzazione e gestione delle attività tecnico amministrative e di tecniche di comunicazione in azienda e di relazioni sindacali. La sua durata è di 24 ore.



# Parte Terza – SICUREZZA

**Nota:** il 03/08/2009 è stato emanato il D. Lgs. n. 106, entrato immediatamente in vigore, che contiene le *Disposizioni integrative e correttive al D. Lgs. N. 81/08*.

Esso non ha un carattere innovativo, ma ha integrato e corretto alcune parti del D. Lgs. 81/08, mantenendone la struttura.

## QUADRO NORMATIVO

**D.P.C.M. (Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri) del 01/03/1991**

Nei centri abitati sono presenti molteplici sorgenti di rumore che per semplicità possiamo raggruppare schematicamente in tre grosse categorie:

- **rumore da traffico veicolare, ferroviario ed aereo;**
- **rumore industriale;**
- **rumore domestico.**

Il DCPM del 01/03/1991 è stato il primo atto legislativo di carattere nazionale sull'inquinamento acustico, in ambiente esterno ed interno, a introdurre una classificazione del territorio comunale in cosiddette "zone acustiche". Ciò è stato possibile assegnando a tali zone, in funzione della loro destinazione d'uso, dei limiti massimi di accettabilità per il rumore.

Tale Decreto non è applicabile per determinate attività, quali gli aeroporti, i cantieri edili, le manifestazioni pubbliche temporanee.

Il Decreto afferma che in un territorio comunale sono possibili 6 diverse classi in relazione alle diverse componenti inquinanti del rumore:

# Parte Quarta – INQUINAMENTO ACUSTICO

## **CLASSE I**

### **Aree particolarmente protette**

Aree nelle quali la quiete rappresenta un elemento di base per la loro utilizzazione, ovvero aree ospedaliere, scolastiche, aree destinate al riposo ed allo svago, aree residenziali rurali, aree di particolare interesse urbanistico, parchi pubblici, ecc.

## **CLASSE II**

### **Aree destinate ad uso prevalentemente residenziale:**

Aree urbane interessate prevalentemente da traffico veicolare locale, con bassa densità di popolazione, con limitata presenza di attività commerciali ed assenza di attività industriali ed artigianali.

## **CLASSE III**

### **Aree di tipo misto**

Aree urbane interessate da traffico veicolare locale o di attraversamento, con media intensità di popolazione, con presenza di attività commerciali e uffici, con limitata presenza di attività artigianali e con assenza di attività industriali; aree rurali interessate da attività che impiegano macchine operatrici.

**Classificazione del territorio comunale**

# Parte Quarta – INQUINAMENTO ACUSTICO

## **CLASSE IV**

### **Aree di intensa attività umana**

Aree urbane interessate da intenso traffico veicolare, con alta densità di popolazione con elevata presenza di attività commerciali e uffici, con presenza di attività artigianali; le aree in prossimità di strade di grande comunicazione e di linee ferroviarie; le aree portuali, le aree con limitata presenza di piccole industrie.

## **CLASSE V**

### **Aree prevalentemente industriali**

Aree interessate da insediamenti industriali e con scarsità di abitazioni.

## **CLASSE VI**

### **Aree esclusivamente industriali:**

Aree esclusivamente interessate da attività industriali e prive di insediamenti abitativi.

**Classificazione del territorio comunale**

# Parte Quarta – INQUINAMENTO ACUSTICO

Il D.P.C.M. 01/03/1991, poi, individua per ciascuna di tali classi i livelli massimi consentiti di immissione acustica durante i periodi diurno (dalle ore 06:00 alle ore 22:00) e notturno (dalle ore 22:00 alle ore 06:00) e obbliga i comuni a predisporre i Piani di Risanamento secondo le direttive delle Regioni.

CLASSI DI DESTINAZIONE D'USO DEL TERRITORIO	Tempi di Riferimento	
	Diurno	Notturmo
I Aree particolarmente protette	50 dB(A)	40 dB(A)
II Aree prevalentemente residenziali	55 dB(A)	45 dB(A)
III Aree di tipo misto	60 dB(A)	50 dB(A)
IV Aree di intensa attività umana	65 dB(A)	55 dB(A)
V Aree prevalentemente industriali	70 dB(A)	60 dB(A)
VI Aree esclusivamente industriali	70 dB(A)	70 dB(A)

**Valori dei limiti massimi del livello sonoro equivalente LeqA.**

# Parte Quarta – INQUINAMENTO ACUSTICO

## Legge n. 447 del 26/10/1995

Tale legge viene comunemente definita “Legge quadro”.

Essa ha avuto il merito di introdurre le seguenti importanti novità :

- i PZA (piani comunali di zonizzazione acustica) devono tener conto delle preesistenti destinazioni d'uso;
- i comuni con popolazione superiore a 50.000 abitanti devono presentare una relazione biennale sullo stato acustico del Comune;
- nel PZA il contatto diretto di aree, anche se appartengono a Comuni confinanti, i cui valori limite si discostano in misura di 5 dB(A), per quanto possibile, deve essere evitato;
- è vietata la radiodiffusione di messaggi pubblicitari aventi potenza sonora superiore rispetto al programma che precede o segue il messaggio stesso;
- alcune categorie di opere e utilizzazioni soggette ad autorizzazione devono integrare l'iter autorizzativo con una relazione sull'impatto acustico.

Per poter effettuare studi, progetti, controlli e misure acustiche è stata introdotta la figura professionale del **tecnico competente**. L'esercizio di tale professione è subordinato alla presentazione alla Regione di un'apposita istanza, corredata di curriculum.

# Parte Quarta – INQUINAMENTO ACUSTICO

## **D.P.C.M. (Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri) 14/11/1997**

Tale Decreto, in attuazione dell'art. 3 comma 1 lettera A della Legge 26/10/1995 n. 447, ha determinato i valori limite di emissione, i valori limite di immissione, i valori di attenzione e i valori di qualità riferiti alle classi di destinazione d'uso del territorio.

**Valore limite di emissione:** è il valore massimo di rumore che può essere emesso da una sorgente sonora, misurato in prossimità della sorgente stessa.

**Valore limite di immissione:** è il valore massimo di rumore che può essere immesso da una o più sorgenti sonore nell'ambiente abitativo o in ambiente esterno, misurato in prossimità dei ricettori.

**Valore di attenzione:** è il valore di rumore che segnala la presenza di un potenziale rischio per la salute umana o per l'ambiente.

**Valore di qualità:** sono i valori di rumore da conseguire nel breve, nel medio e nel lungo periodo con le tecnologie e le metodiche di risanamento disponibili, per realizzare gli obiettivi di tutela previsti dalla legge.

# Parte Quarta – INQUINAMENTO ACUSTICO

CLASSI DI DESTINAZIONE D'USO DEL TERRITORIO	Tempi di Riferimento	
	Diurno	Notturmo
I Aree particolarmente protette	45 dB(A)	35 dB(A)
II Aree prevalentemente residenziali	50 dB(A)	40 dB(A)
III Aree di tipo misto	55 dB(A)	45 dB(A)
IV Aree di intensa attività umana	60 dB(A)	50 dB(A)
V Aree prevalentemente industriali	65 dB(A)	55 dB(A)
VI Aree esclusivamente industriali	65 dB(A)	65 dB(A)

**Valori limite di emissione - Leq in dB (A) (art.2)**



# Parte Quarta – INQUINAMENTO ACUSTICO

CLASSI DI DESTINAZIONE D'USO DEL TERRITORIO	Tempi di Riferimento	
	Diurno	Notturmo
I Aree particolarmente protette	50 dB(A)	40 dB(A)
II Aree prevalentemente residenziali	55 dB(A)	45 dB(A)
III Aree di tipo misto	60 dB(A)	50 dB(A)
IV Aree di intensa attività umana	65 dB(A)	55 dB(A)
V Aree prevalentemente industriali	70 dB(A)	60 dB(A)
VI Aree esclusivamente industriali	70 dB(A)	70 dB(A)

## Valori limite assoluti di immissione - Leq in dB (A) (art. 3)

**Nota:** i valori limiti di immissione riportati nella tabella soprastante confermano i valori riportati nella tabella 2 definita dal D.P.C.M. 1 Marzo 1991.

# Parte Quarta – INQUINAMENTO ACUSTICO

CLASSI DI DESTINAZIONE D'USO DEL TERRITORIO	Tempi di Riferimento	
	Diurno	Notturmo
I Aree particolarmente protette	47 dB(A)	37 dB(A)
II Aree prevalentemente residenziali	52 dB(A)	42 dB(A)
III Aree di tipo misto	57 dB(A)	47 dB(A)
IV Aree di intensa attività umana	62 dB(A)	52 dB(A)
V Aree prevalentemente industriali	67 dB(A)	57 dB(A)
VI Aree esclusivamente industriali	70 dB(A)	70 dB(A)

**Valori di qualità - Leq in dB (A) (art. 7)**

# Parte Quarta – INQUINAMENTO ACUSTICO

## D.P.R. (Decreto del Presidente della Repubblica) del 18/11/1998 n. 459

L'art. 5 di tale Decreto indica per le infrastrutture *ferroviarie* esistenti, per le loro varianti, per le infrastrutture di nuova realizzazione in affiancamento a infrastrutture esistenti e per le nuove infrastrutture con velocità di progetto non superiori a 200 km/h, i seguenti valori limite:

RICETTORI	Tempi di Riferimento	
	Diurno	Notturmo
Scuole, ospedali, case di cura e case di riposo	50 dB(A)	40 dB(A)
Ricettori in fascia A (fino a 100 metri)	70 dB(A)	60 dB(A)
Ricettori in fascia B (da 100 a 250 metri)	65 dB(A)	55 dB(A)

**Valori limite per le infrastrutture ferroviarie – Leq in dB(A)**

# Parte Quarta – INQUINAMENTO ACUSTICO

Esistono dunque due fasce (A e B) di pertinenza territoriale all'interno delle quali il rumore ferroviario è disciplinato autonomamente dal PZA (Piano di Zonizzazione Acustica) Comunale.

## **D.P.R. (Decreto del Presidente della Repubblica) del 30/03/2004 n. 142**

Tale Decreto contiene disposizioni per il contenimento e la prevenzione dell'inquinamento acustico derivante dal *traffico veicolare*. Ciò a norma dell'articolo 11 della Legge n. 447/95 vista in precedenza, la quale individua due fasce di pertinenza territoriale all'interno delle quali il rumore stradale è disciplinato autonomamente dalla zonizzazione acustica comunale.

## **COMPETENZE DEI COMUNI**

La Legge 447/95 ha fissato la competenza dei Comuni per la redazione dei Piani di Zonizzazione Acustica, cioè la classificazione del territorio comunale in zone. I Comuni devono, dunque, effettuare delle verifiche fonometriche con determinate modalità. In seguito a tali verifiche, spetta sempre ai Comuni l'eventuale adozione di Piani di Risanamento, che individuino tempi e modalità occorrenti per effettuare la bonifica acustica.

I comuni hanno anche la competenza sul controllo del rispetto della normativa acustica, sia all'atto del rilascio delle concessioni edilizie (richiedendo una valutazione di impatto acustico di attività industriali, sportive, ecc.), sia all'atto del rilascio di licenze che autorizzino a esercitare determinate attività produttive.

I Comuni devono poi approvare un regolamento di attuazione della normativa statale e regionale, e devono controllare le emissioni acustiche prodotte dai veicoli.

# Parte Quinta – REQUISITI EDIFICI

## I REQUISITI ACUSTICI PASSIVI DEGLI EDIFICI

Finora abbiamo parlato del rumore generato per via aerea.

Esiste, però, anche il rumore generato per via strutturale. Si pensi, ad esempio, a delle persone che abitano al piano superiore al nostro e che camminano battendo ripetutamente i tacchi sul pavimento, oppure a un nostro vicino di appartamento che stia conficcando con un martello un chiodo in un muro.

### **LEGGE 447/95 (LEGGE QUADRO SULL'INQUINAMENTO ACUSTICO)**

È una legge che stabilisce i principi fondamentali in materia di tutela dall'inquinamento acustico sia dell'ambiente esterno che dell'ambiente abitativo. Per questi ultimi, in particolare, fa riferimento ai **requisiti acustici passivi degli edifici** e ai **requisiti acustici delle sorgenti sonore interne agli edifici**.

In un edificio, il rumore può provenire:

- dall'**esterno** (trasmesso per via aerea attraverso la facciata, il tetto, i serramenti);
- dall'**interno** (trasmesso per via aerea e strutturale);
- dagli **impianti tecnologici** (trasmesso per via aerea e strutturale).

# Parte Quinta – REQUISITI EDIFICI

## D.C.P.M. (DECRETO PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI) 5.12.1997 (DETERMINAZIONE DEI REQUISITI ACUSTICI PASSIVI DEGLI EDIFICI)

Tale decreto costituisce un **obbligo** normativo.

L'allegato A è riservato alle **grandezze di riferimento**. Esse sono:

- il tempo di riverberazione  $T$ , definito dalla norma ISO 3382:1975;
- il potere fonoisolante apparente tra ambienti ( $R$ ) definito dalla norma EN ISO 140-5:1996;
- l'isolamento acustico standardizzato di facciata ( $D_{2m,nT}$ );
- il livello di rumore di calpestio di solai normalizzato ( $L_n$ ) definito dalla norma EN ISO 140-6:1996;
- il livello massimo di pressione sonora ponderata A con costante di tempo slow ( $L_{ASmax}$ );
- il livello continuo equivalente di pressione sonora ponderata, A ( $L_{Aeq}$ ).

## Rumore prodotto dagli impianti tecnologici

La rumorosità prodotta dagli impianti tecnologici non deve superare i seguenti limiti:

- a) 35 dB(A)  $L_{Amax}$  con costante di tempo slow per i servizi a funzionamento discontinuo;
- b) 25 dB(A)  $L_{Aeq}$  per i servizi a funzionamento continuo.

Le misure di livello sonoro devono essere eseguite nell'ambiente nel quale il livello di rumore è più elevato.

Tale ambiente deve essere diverso da quello in cui il rumore si origina.



# Parte Quinta – REQUISITI EDIFICI

<b>Categoria A</b> <b>edifici adibiti a residenza o assimilabili</b>
<b>Categoria B</b> <b>edifici adibiti ad uffici e assimilabili</b>
<b>Categoria C</b> <b>edifici adibiti ad alberghi, pensioni ed attività assimilabili</b>
<b>Categoria D</b> <b>edifici adibiti ad ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili</b>
<b>Categoria E</b> <b>edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili</b>
<b>Categoria F</b> <b>edifici adibiti ad attività ricreative o di culto o assimilabili</b>
<b>Categoria G</b> <b>edifici adibiti ad attività commerciali o assimilabili</b>

**Tabella A – Classificazione degli ambienti abitativi (art. 2).**

# Parte Quinta – REQUISITI EDIFICI

Categorie di cui alla Tab. A	Parametri				
	$R_w$ (*)	$D_{2m,nT,w}$	$L_{n,w}$	$L_{A5max}$	$L_{Aeq}$
1. D	55	45	58	35	25
2. A, C	50	40	63	35	35
3. E	50	48	58	35	25
4. B, F, G	50	42	55	35	35

**Tabella B – Requisiti acustici passivi degli edifici, dei loro componenti e degli impianti tecnologici.**

\* valori di  $R_w$  riferiti a elementi di separazione tra due distinte unità immobiliari.

# Parte Quinta – REQUISITI EDIFICI

## COMFORT ACUSTICO

Per comfort acustico si intende quella condizione psicofisica di benessere nella quale si trovi una persona immersa in un campo sonoro, ovviamente in relazione all'attività che sta svolgendo. Tale comfort può essere inficiato dal riverbero. Il **riverbero** è un fenomeno acustico legato alla riflessione del suono da parte di un ostacolo che si trovi davanti a una sorgente sonora. Le onde sonore, infatti, si irradiano dalla sorgente con forma semicircolare (si pensi al famoso sassolino lanciato nel laghetto), e impattano contro gli oggetti presenti nell'ambiente, i quali le riflettono. Tale fenomeno da un lato ha aspetti negativi, ad esempio mascherando le sillabe di una persona che stia parlando, oppure delle note musicali), ma può anche avere un effetto positivo, rinforzando l'intensità della sorgente.

Esistono delle formule per calcolare il cosiddetto tempo di riverbero, che indica il tempo (in secondi) necessario perché in un punto di un ambiente chiuso il livello sonoro si riduca di una certa entità rispetto a quello che si ha nell'istante in cui la sorgente sonora ha smesso di trasmettere. Di regola, viene utilizzato il T60 cioè l'intervallo di tempo in cui l'energia sonora decresce di 60 decibel dopo che la sorgente è stata spenta.

# Parte Quinta – REQUISITI EDIFICI

La determinazione di tale tempo risulta fondamentale nel momento in cui si vogliono valutare le caratteristiche acustiche di un determinato ambiente, al fine di decidere se intervenire o meno alle strutture per aumentare la capacità fonoassorbente.

La letteratura tecnica fornisce tabelle e grafici che riportano i valori ottimali di T60 per determinati ambienti (ad esempio le scuole).

Occorre intervenire qualora il tempo di riverbero T60 non sia almeno uguale al valore ottimale riportato in letteratura.

Ciò fa capire che il valore del tempo di riverbero è collegato alla destinazione d'uso dell'ambiente che stiamo considerando.

# Parte Quinta – REQUISITI EDIFICI

## RUMORE DA CALPESTIO E ALTRI RUMORI CHE POSSONO PROPAGARSI ALL'INTERNO DI UN EDIFICIO

Si definisce **livello di rumore da calpestio** il livello medio della pressione sonora misurato in un ambiente quando sul solaio soprastante agisce un generatore di rumore da calpestio normalizzato.

L'energia sonora generata da un impatto su un solaio si trasmette nell'ambiente ricevente attraverso due modi:

- energia sonora diretta, cioè trasmessa direttamente attraverso il solaio;
- energia sonora strutturale, cioè trasmessa attraverso le strutture.

Quanto detto vale anche nel caso in cui al posto del solaio si consideri una parete divisoria posta tra due unità abitative.

# Parte Quinta – REQUISITI EDIFICI

È importante notare che i valori delle misure di laboratorio che certificano l'isolamento acustico di infissi, pareti e altri materiali possono essere diversi rispetto a quelli che poi si ottengono una volta effettuata la posa in opera degli oggetti. Ciò perché all'interno dell'edificio vi possono essere percorsi strutturali non previsti in laboratorio.

Per tale motivo, quando si parla di isolamento acustico di un edificio occorre tenere presente che tale parametro non esprime una proprietà intrinseca dell'elemento strutturale oggetto dello studio, ma è dipendente da una serie di parametri legati alla particolare conformazione strutturale dell'ambiente in cui esso viene posto in opera.

# Parte Quinta – REQUISITI EDIFICI

Per quanto riguarda il rumore da calpestio, esso può essere assimilato a quello di un'eccitazione di una lastra con forze impulsive periodiche. Per contenerlo, si può evitare l'impiego di solai pesanti o aventi comunque spessore molto elevato, riducendo l'eccitazione del pavimento, cioè utilizzando un pavimento galleggiante: si stende uno strato di materiale elastico sul solaio nudo, al fine di creare una barriera di separazione tra il solaio stesso e il massetto e pavimento superiori. Lo strato di materiale elastico deve essere in grado di lavorare come una molla. Deve inoltre mantenere nel tempo la propria elasticità. Questo sistema permette di trasformare l'energia sonora in energia meccanica, dissipandola in modo da rendere più confortevole l'ambiente dal punto di vista acustico.

## **ASSORBIMENTO ACUSTICO (o FONOASSORBIMENTO)**

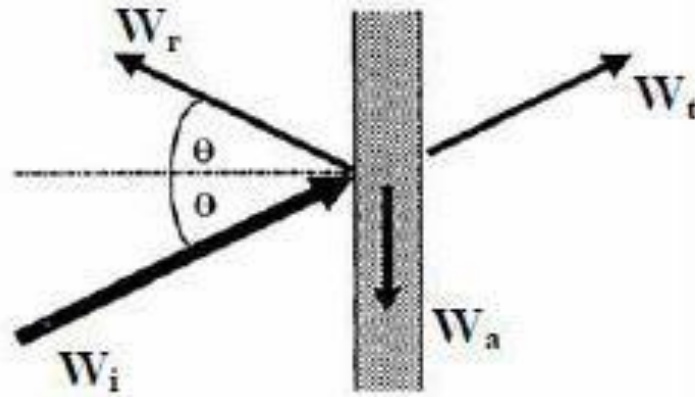
È la capacità di un materiale di dissipare l'energia sonora convertendola in calore.

Un materiale è caratterizzato da un **coefficiente di assorbimento acustico  $\alpha$** , definito come rapporto tra la potenza sonora assorbita e la potenza sonora incidente. Esso può assumere valori tra 0 e 1.

Valore zero vuol dire che tutta l'energia incidente su di esso viene riflessa, mentre valore uno vuol dire che tutta l'energia incidente su di esso viene assorbita dal materiale stesso.



# Parte Quinta – REQUISITI EDIFICI



**$W_i$**  = potenza sonora incidente

**$W_r$**  = potenza sonora riflessa

**$W_t$**  = potenza sonora che attraversa il materiale e giunge nel locale adiacente

**$W_a$**  = potenza sonora che percorre il materiale e si incanala lungo le strutture

Dunque, se ad esempio  $\alpha = 0,8$  vuol dire che l'80% dell'energia incidente sulla superficie del materiale viene assorbita.

# Parte Quinta – REQUISITI EDIFICI

Occorre considerare che uno stesso materiale X ha valori di  $\alpha$  che dipendono dalle frequenze dei suoni e dall'angolo di incidenza dell'onda sonora. Per tale motivo i coefficienti di assorbimento acustico vengono espressi in banda di ottava o in 1/3 di ottava.

NOTA: La determinazione del contenuto in frequenza di un certo suono è detta *analisi in frequenza* o anche analisi di spettro. La banda acustica, compresa tra 20 Hz e 20000 Hz, viene ordinariamente suddivisa in

- **bande di ottava** (l'ottava è lo spazio entro il quale si raddoppia la frequenza in Hz di un suono);
- **bande di 1/3 di ottava.**

L'analisi in banda di 1/3 di ottava rappresenta un'analisi in frequenza più precisa rispetto all'analisi in banda di ottava.

# Parte Quinta – REQUISITI EDIFICI

Un materiale è tanto più fonoassorbente quanto maggiore è la sua capacità di trasformare l'energia sonora incidente in calore per attrito nelle sue micro cavità, ovvero nei suoi pori.

La **porosità** è il rapporto tra il volume occupato dai pori e il volume totale.

Anche lo spessore di un materiale ne condiziona il potere fonoassorbente. In particolare, per basse frequenze  $\alpha$  cresce all'aumentare dello spessore, mentre per alte frequenze si verifica che pur aumentando lo spessore  $\alpha$  cresce in modo poco significativo.

# Parte Quinta – REQUISITI EDIFICI

Esistono anche materiali fonoassorbenti che non sfruttano l'assorbimento acustico per porosità, ma l'assorbimento acustico *per risonanza di cavità* oppure *per risonanza di pannello*. Si tratta essenzialmente di strutture di risonanza in materiale non poroso (ad esempio gesso o legno) in grado di essere poste in vibrazione alla propria frequenza di risonanza. Si comportano, cioè, come masse vibranti in grado di attenuare suoni o rumori aventi una ben determinata frequenza. Sono, dunque, delle strutture molto selettive.

In casi particolarmente complessi si può ricorrere a *soluzioni miste*, integrando tra loro sistemi che sfruttano sia l'assorbimento acustico per porosità, sia l'assorbimento acustico per risonanza di cavità e sia l'assorbimento acustico per risonanza di pannello.

## COME SI SCEGLIE UN MATERIALE FONOASSORBENTE?

La prima cosa da fare è **individuare la frequenza** che vogliamo isolare, cioè la frequenza caratteristica della sorgente sonora. Ciò vuol dire che un materiale che isola bene una sala da concerto potrebbe non essere adatto a isolare un capannone industriale.

Altra cosa da considerare è la **forma** del materiale. In genere, un materiale liscio assorbe meno rispetto a un materiale che abbia una superficie sagomata: ciò, infatti, aumenta la superficie totale di contatto dell'onda sonora, consentendo una migliore dissipazione cinetica.

Nel caso in cui si voglia isolare un ambiente da frequenze che variano in un ampio spettro, si può ricorrere a soluzioni miste, posizionando vari materiali tra la sorgente sonora e l'ambiente che si vuole isolare.

# Parte Quinta – REQUISITI EDIFICI

Esistono delle norme (un esempio è la UNI 11367:2010) sulla classificazione acustica delle unità immobiliari.

La UNI 11367:2010 definisce i criteri per la misurazione e la valutazione dei requisiti acustici prestazionali degli edifici ai fini della classificazione acustica degli stessi. Essa non è obbligatoria, ma costituisce un processo volontario di qualificazione acustica delle costruzioni attraverso la “Classificazione acustica degli edifici”.

Per quanto riguarda il campo di applicazione di tale classificazione, essa è applicabile a tutte le unità immobiliari con destinazione d’uso diversa da quella agricola, artigianale e industriale.

La norma riporta anche delle esclusioni riferite a edifici che abbiano destinazioni d’uso particolari (luoghi di culto, scuole, ospedali...)

# Parte Quinta – REQUISITI EDIFICI

## **LA VALUTAZIONE DEI REQUISITI ACUSTICI DI UN EDIFICIO**

### **Progettazione**

Il progettista deve prescrivere sia i materiali che le metodologie di installazione occorrenti per soddisfare i requisiti prestazionali.

### **Esecuzione**

L'impresa deve garantire la corretta esecuzione dei lavori, ovvero la corretta installazione dei prodotti, anche se essi sono stati installati da ditte subappaltatrici.

### **Fine lavori**

Il Comune, per il rilascio del certificato di agibilità, può richiedere al direttore dei lavori una certificazione attestante il rispetto dei limiti del DCPM del 5.12.1997. oppure può richiedere un collaudo in opera mediante misure. O ancora, servendosi degli organi di vigilanza competenti, può disporre rilevazioni in opera.

## **IMPIANTI TECNOLOGICI CHE POSSONO CAUSARE PROBLEMI DAL PUNTO DI VISTA ACUSTICO**

- Condizionatori d'aria;
- Impianti idraulici (tubazioni dell'acqua e tubazioni di scarico fognario);
- Impianto ascensore;
- Altri impianti in grado di emettere vibrazioni.

Tenere presente che il rumore si può trasmettere anche attraverso le tracce praticate nei muri per consentire il passaggio dei cavi elettrici, nonché nelle cassette di derivazione degli stessi, e anche nei cassonetti delle persiane avvolgibili.