

PROTEZIONE CONTRO IL RUMORE

È richiesta ai muri e ai solai la protezione da un eccesso di rumori provenienti sia da sorgenti esterne al fabbricato sia da sorgenti interne allo stesso.

DEFINIZIONI

Si intende per "fenomeno acustico" un qualsiasi fenomeno di tipo oscillatorio che si propaga in un "mezzo" elastico.

Infatti, a differenza dell'energia raggiante (che si propaga anche nel vuoto), l'energia sonora si propaga solo attraverso un mezzo elastico sia esso gassoso, liquido o solido.

Più specificatamente, quando il "mezzo" è l'aria, il fenomeno è l'effetto risultante di una vibrazione dell'aria stessa dovuta a una successione di pressioni e depressioni la cui rapidità di alternanza determina "l'altezza" del suono.

Variando, quindi, questa rapidità di alternanza (frequenza) si ottiene un suono grave, medio, acuto, ecc.

Tabella 12: Velocità di propagazione del suono nei vari mezzi

Mezzo	Velocità (m/s)
aria secca (15°)	340
sughero	500
acqua	1450
muratura	3000
cemento	3400
legno	3400
vetro	5000
alluminio	5000
acciaio	5200

Il "fenomeno acustico" si propaga, poi, con velocità che è legata alle caratteristiche del "mezzo" e varia da un mezzo all'altro.

Nell'aria, in condizioni normali di temperatura e pressione, la velocità di propagazione del suono è di circa 340 m/sec (1200 km/h). Nei solidi più densi dell'aria essa può raggiungere i 5000 m/sec.

Di seguito si riportano alcune definizioni di grandezze acustiche (limitatamente alle più importanti).

FREQUENZA

Rappresenta il numero delle oscillazioni complete che avvengono in un secondo; si misura in Hertz (Hz).

Più precisamente si parlerà di "suono" quando la frequenza delle oscillazioni è compresa tra 16-20 Hz e 16-20 kHz. A frequenze inferiori si hanno gli "infrasuoni", a frequenze superiori si hanno gli "ultrasuoni". Infrasuoni ed ultrasuoni non possono essere uditi dall'orecchio umano.

Figura 13: Scale delle frequenze in base alla sensibilità dell'orecchio umano

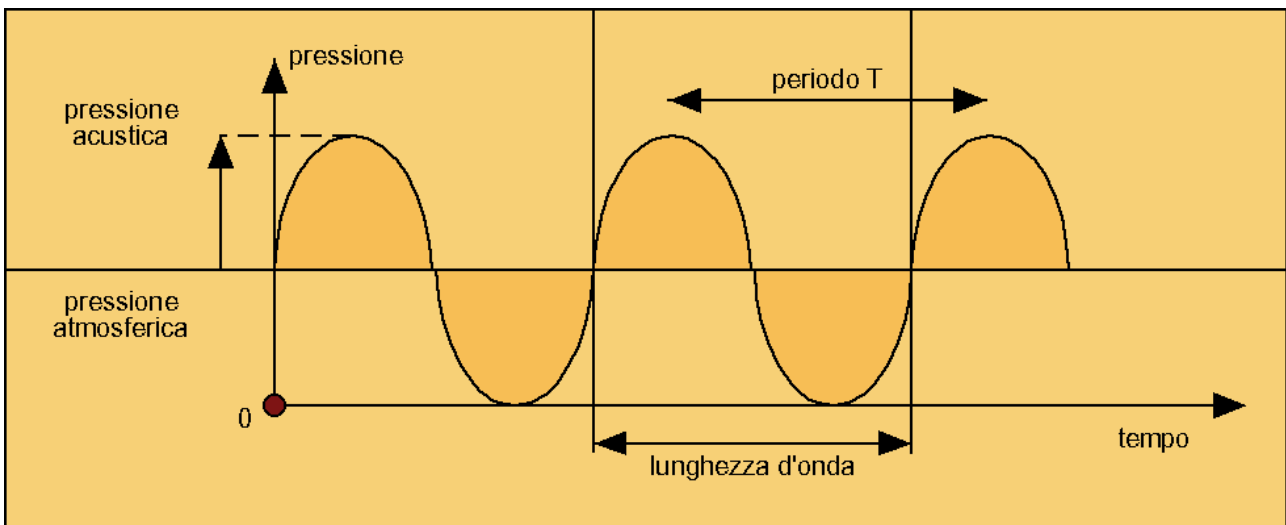
Zona infrasuoni	Frequenze udibili			Zona ultrasuoni	
	GRAVI	MEDIE	ACUTE		
0	20	400	4000	16000	Herz

PERIODO

È l'intervallo di tempo che passa tra due istanti consecutivi in cui, si ha un massimo o un minimo di pressione. Il periodo è l'inverso della frequenza.

Si ha, cioè: $f = \frac{1}{T}$ (hz)

Figura 14: Rappresentazione grafica del fenomeno acustico



LUNGHEZZA D'ONDA

Si indica con λ e rappresenta la distanza percorsa dalla perturbazione nell'intervallo di un periodo. Essa viene espressa in metri.

In un mezzo la velocità di propagazione dipende dalla sua densità e dal modulo di elasticità del mezzo stesso. Tra la lunghezza d'onda, il periodo (o la frequenza) e la velocità di propagazione esiste la relazione fondamentale:

$\lambda = c T = \frac{c}{f}$ (m)

essendo "c" la velocità di propagazione.

Nelle descrizioni dei fenomeni acustici si usa rapportare le grandezze di carattere energetico (pressione acustica, intensità acustica, potenza ecc.) a valori base assenti come riferimento. Poiché, il campo di variabilità delle grandezze sonore è molto vasto risulta comodo esprimere tale rapporto in scala logaritmica.

PRESSIONE ACUSTICA o PRESSIONE SONORA

E' la differenza tra la pressione P esistente ad un dato istante, in un punto, e quella che vi sarebbe nello stesso punto, nel medesimo istante, in assenza di fenomeno sonoro.

LIVELLO DI PRESSIONE SONORA

Partendo dalla pressione sonora si definisce il LIVELLO DI PRESSIONE SONORA che caratterizza il rumore, emesso da una sorgente, che viene percepito dall'orecchio umano.

$$L_p(\text{dB}) = 10 \log \frac{P_1^2}{P_0^2} = 20 \log \frac{P_1}{P_0}$$

Viene misurato in base alla seguente relazione:

essendo:

p_1 = pressione acustica dell'onda sonora espressa in " P_a "

p_0 = pressione di riferimento, pari a $2 \cdot 10^{-5}$ (P_a), corrispondente alla "soglia di udibilità" a 1.000 Hz.

Le tabelle 15 e 16 indicano i vari livelli di pressione sonora in diverse situazioni.

Tabella 15 : livello di pressione sonora di sorgenti di rumore esterno

Sorgente	Livello di pressione sonora (dB)
Motore Jet (in prossimità)	140
(Soglia del dolore)	(130)
Martello pneumatico	120
Motociclo in accelerazione	110
Clacson di automobile	100
Traffico pesante	90
Via di grande circolazione	80
Passaggio di automobile	70
Conversazione normale	60
Radio a volume moderato	40
Bisbiglio a 2 m	25
Fruscio di foglie	15
(Soglia di udibilità)	0

Tabella 16 : livello di pressione sonora all'interno di ambienti a diversa destinazione

Ambiente	Livello di pressione sonora (dB)
Officina rumorosa	90
Locale pubblico rumoroso	80
Officina normale	75
Locale di dattilografia	70
Locale pubblico normale	60
Ufficio normale	50
Ufficio silenzioso	40
Abitazione normale	35
Studio radiofonico	30

INTENSITÀ ACUSTICA

E' il flusso di energia sonora che attraversa l'unità di superficie orientata normalmente alla direzione di propagazione delle onde sonore.

Essa è data dalla relazione: $I = \frac{p^2}{\rho c}$

essendo:

ρ = densità del mezzo in cui l'onda si propaga

c = velocità di propagazione.

LIVELLO D'INTENSITÀ SONORA o ACUSTICA

E' una grandezza data dalla relazione: $L_I(\text{dB}) = 10 \log \frac{I_1}{I_0}$

essendo :

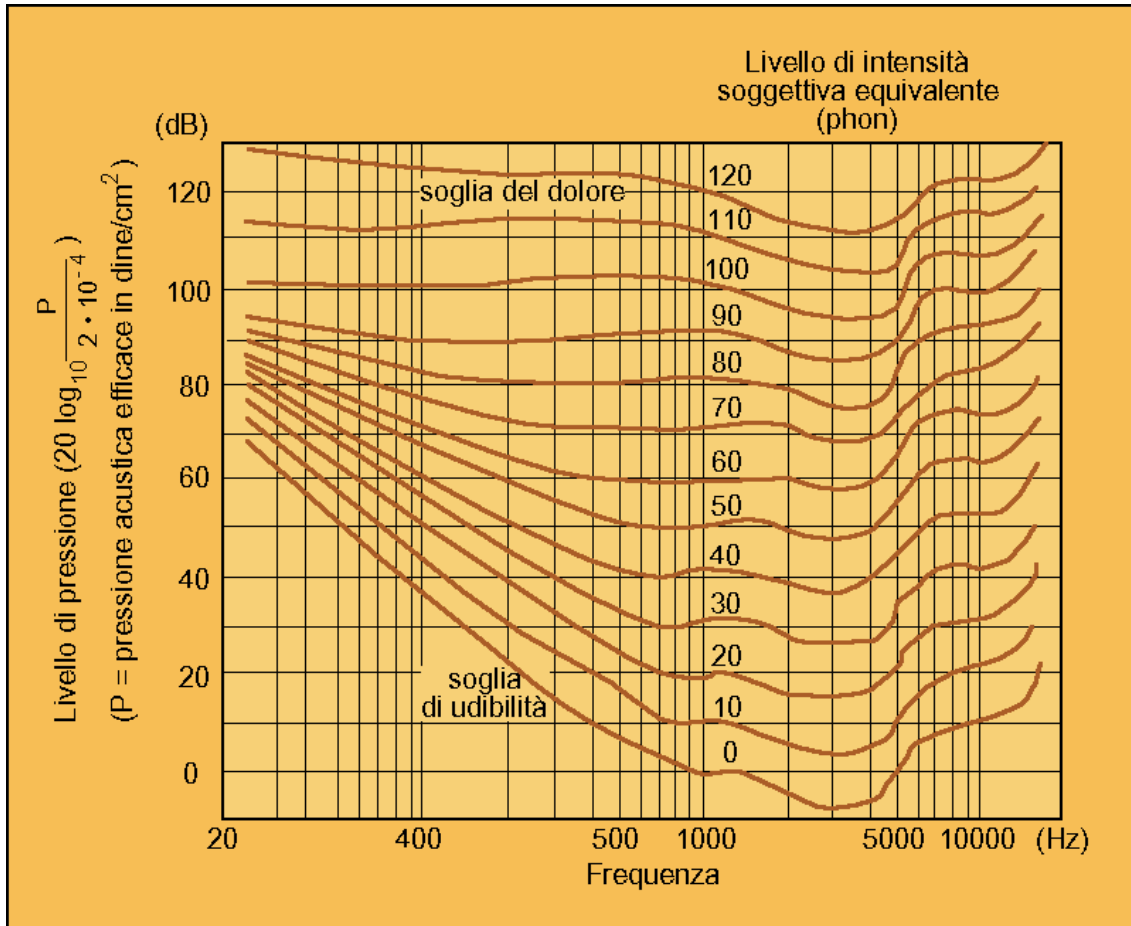
I_1 = intensità sonora del suono (w/m^2)

I_0 = intensità sonora di riferimento (10^{-2} w/m^2)

L'intensità sonora è una grandezza di carattere energetico, da non confondersi con "l'intensità della sensazione uditiva", che è una grandezza di natura psicoacustica (cioè di quella branca dell'acustica che si occupa degli effetti psico-fisiologici causati dall'energia sonora sull'orecchio umano).

In base a quest'ultima grandezza, nonché alle relazioni che intercorrono tra essa ed altre quali la frequenza e l'ampiezza, è stato costruito un grafico detto "audiogramma normale".

Figura 17: l'audiogramma normale è costituito da curve di relazione tra la frequenza e il livello di pressione sonora.



In tale diagramma sono riportate in ascissa le frequenze (in scala logaritmica) e in ordinata il livello di pressione sonora (simbolo L, unità di misura dB) il cui valore è definito dall'espressione:

$$L = 20 \log \left| \frac{P}{P_0} \right|$$

la quale mette in relazione la pressione acustica ad un dato istante P e la pressione acustica di riferimento P₀ relativa al limite inferiore della soglia di udibilità.

In tale diagramma, la curva inferiore indica la "soglia di udibilità" mentre la curva superiore indica la "soglia del dolore".

Si può notare che la soglia di udibilità varia con la frequenza e, in particolare, cresce alle frequenze basse (inferiori al migliaio di Hz) e alle frequenze alte (superiori a 5.000 Hz).

Ciò vuol dire che in questi campi la sensibilità all'orecchio è minore che alle frequenze medie.

Questa variabilità, poi, vale anche per la soglia del dolore, pur essendo molto meno accentuata.

Considerando queste due curve limite si è arrivati alla definizione della "scala dei decibel" in base alle seguenti ipotesi e considerazioni:

- a) il valore all'origine corrisponde alla soglia di udibilità.
- b) il valore minimo della variazione del rapporto P / P_0 , di cui l'osservatore è capace di accorgersi, è costante (entro certi limiti) ed è indipendente dalla pressione P di partenza.
- c) tale valore minimo è chiamato "decibel"

La tabella 18 definisce alcuni livelli di pressione, le cause che li possono determinare e gli effetti che producono sui soggetti esposti.

Tabella 18: alcuni livelli di pressione con l'indicazione delle cause che li producono e degli effetti sulle persone.

Livello Di pressione	Impressione soggettiva	Conversazione	Natura del rumore
140	Distruzione del timpano	Impossibile	Martello pneumatico
120	Rumori sopportabili per pochissimi secondi	Gridando	Caldereria (off. meccanica)
100	Rumori molto molesti	Difficile	Clacson d'automobile
80	Rumori sopportabili	Ad alta voce	Strada di grande traffico
60	Rumori usuali	A voce normale	Conversazione normale
40	Quiete	Sottovoce	Apparecchi radio
20	Molta quiete		Tranquilla campagna

LIVELLO DI POTENZA SONORA

È una grandezza definita dalla seguente relazione:

$$L_v(\text{dB}) = 10 \log \frac{P_1}{P_0}$$

essendo:

P_1 = potenza sonora della sorgente (espressa in w)

P_0 = potenza sonora di riferimento (pari a 10^{-2} w)

Il livello di potenza sonora di una sorgente caratterizza il rumore emesso dalla stessa.

GENERALITÀ SUI RUMORI

E' definito RUMORE una qualsiasi emissione sonora che provochi sull'uomo effetti indesiderati, disturbanti o dannosi o che determini un deterioramento qualitativo dell'ambiente.

I RUMORI sono composti da un insieme di suoni di frequenza diversa, a diversi livelli di pressione, che raggiungono l'orecchio umano.

L'orecchio umano a sua volta, presenta una diversa sensibilità nell'intervallo delle frequenze udibili (compreso fra 20Hz e 20.000Hz) e nel campo di variazione dei livelli di intensità del suono.

Due metodi diversi permettono di valutare la sensazione derivante da un rumore:

- a) Da un'analisi dello spettro del rumore si calcola l'intensità soggettiva. In pratica si suddivide tutto il campo delle frequenze in "bande" di ampiezza costante (normalmente bande di ottava o bande di terzi di ottava); per ogni banda viene riportato un livello di pressione sonora (in dB) che è indicativa della banda stessa. Si ottiene così la curva di rappresentazione del rumore.
- b) Utilizzando un idoneo strumento detto "fonometro" munito di speciali filtri acustici. Nella tabella 19 sono riportati i risultati dell'analisi di alcuni rumori e della loro "pesatura" con un filtro "A" (comunemente utilizzato per questo tipo di operazioni).

Tabella 19: valutazione di alcuni tipi di rumore

Sorgente sonora	Frequenza centrale di banda (Hz)								dB(A)
	63	125	250	250	1000	2000	4000	8000	
Lavatrice	60	68	59	62	59	60	62	67	70
Aspirapolvere ad 1 m	48	66	69	73	79	73	73	73	82
Automobile a 5 m	78	77	73	69	65	62	56	50	71
Radio TV	49	62	64	67	70	68	63	39	74
Stereo HiFi ad alto volume	60	72	83	82	82	80	75	60	86

Figura 20: analisi di un suono per suddivisione del campo delle frequenze in bande di ottava

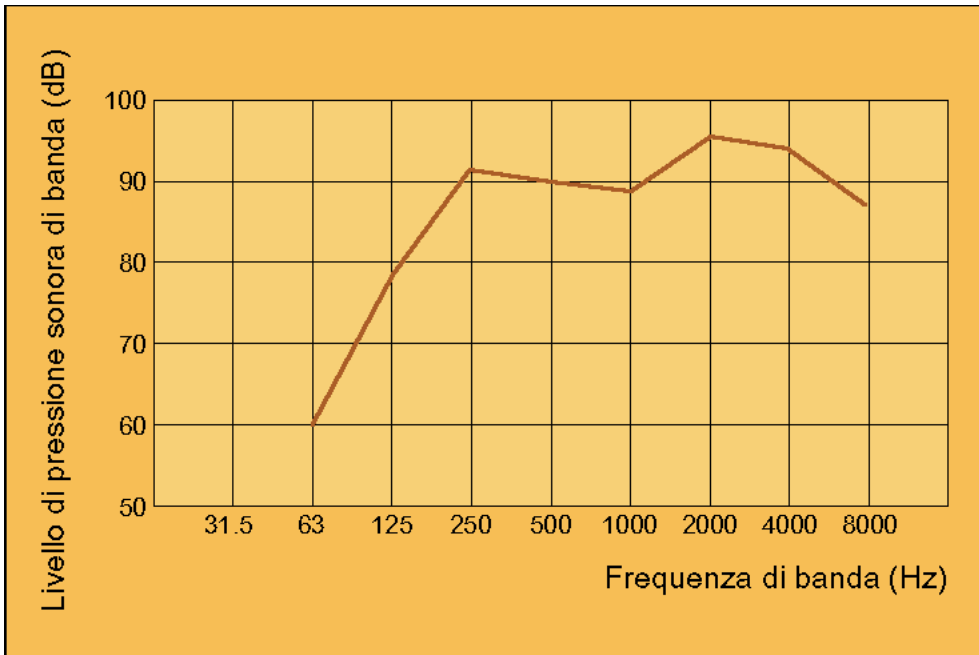
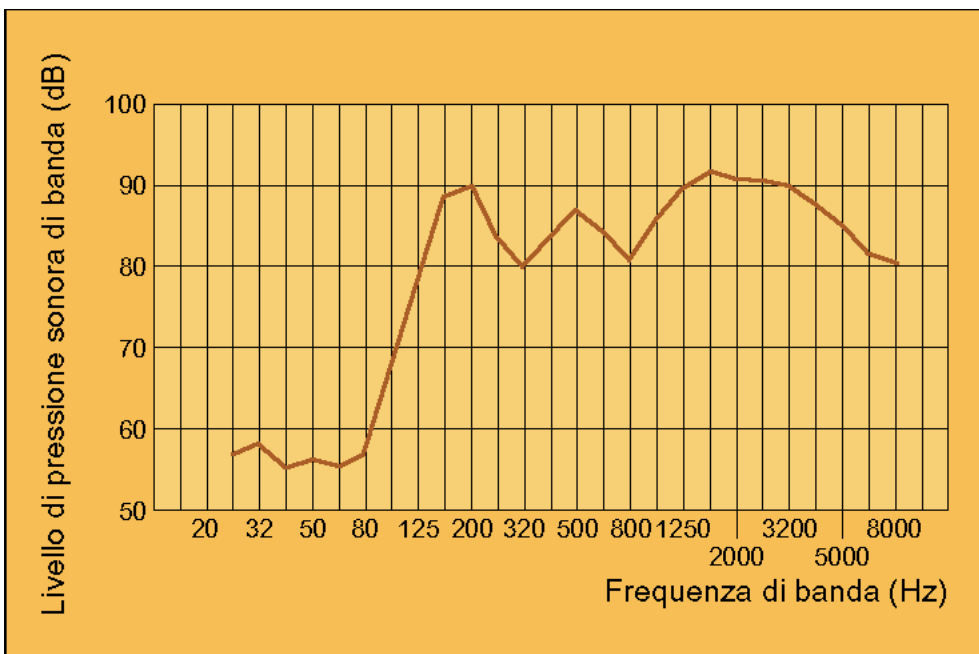
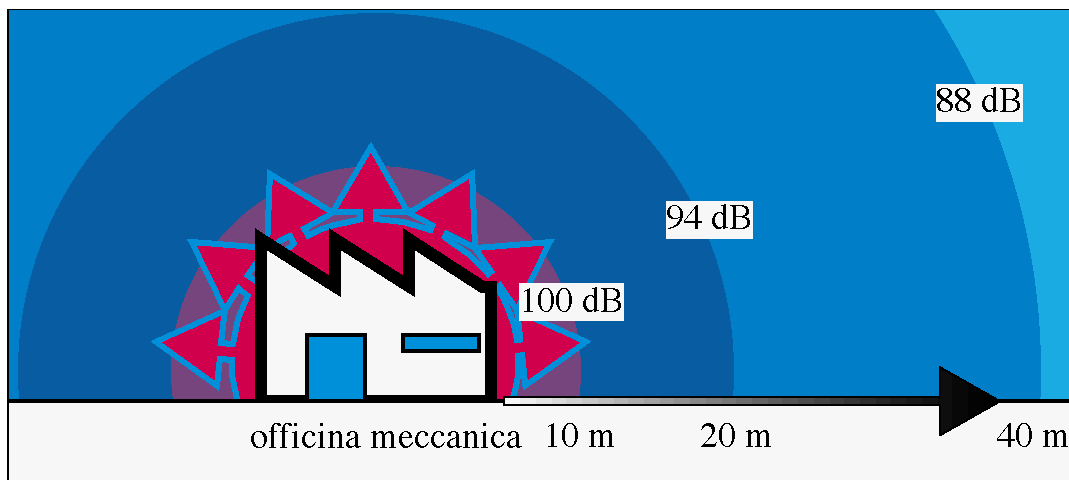


Figura 21: analisi di un suono per suddivisione del campo delle frequenze in bande di terzi di ottava



LA PROPAGAZIONE DEI RUMORI

Per poter affrontare in modo corretto il problema della difesa dai rumori da parte della struttura di separazione tra due ambienti (muri o solai) occorre prioritariamente prendere in esame le caratteristiche delle sorgenti di rumore e della loro ubicazione. Da questa conoscenza è possibile pensare a interventi che limitino la emissione e/o che riducano la propagazione. In secondo luogo occorre analizzare la modalità di propagazione del disturbo dalla sorgente al luogo di arrivo.



Sotto quest'ultimo aspetto si possono individuare tre modalità di propagazione:

- a) rumori provocati da una sorgente che emette una certa quantità di energia direttamente nell'aria (rumori aerei). Tale energia viene trasmessa all'aria circostante a man mano che ci si allontana dalla sorgente il livello sonoro diminuisce (fig.22 e fig.23)

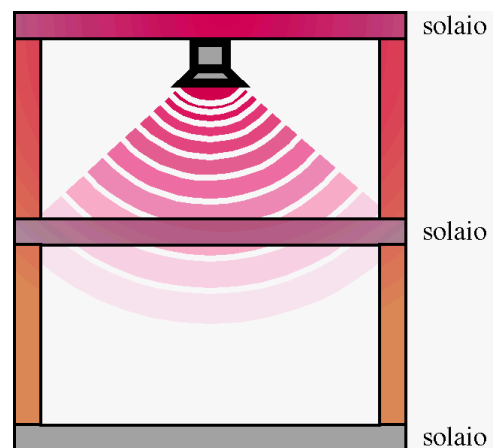


Figura 23: la sorgente è localizzata: il rumore si propaga attraverso mezzi diversi, quali l'aria, il solaio, i muri. Sarà diversa la variazione del livello sonoro.

b) rumori dovuti a vibrazioni continue le quali si trasmettono direttamente alle strutture eccitando, esse stesse, la vibrazione con frequenze proprie. Tali vibrazioni si trasmettono, nell' edificio, in ogni senso e finiscono, poi, per venire irradiate nell'aria dando luogo a rumori aerei (fig.24).

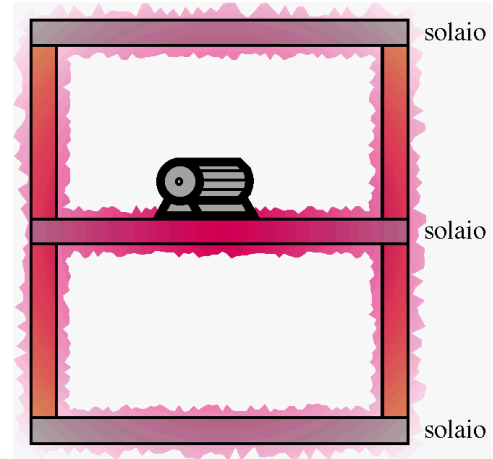


Figura 24: il rumore, prodotto dalla sorgente, si trasforma in vibrazione e quindi in rumore aereo.

c) rumori dovuti ad urti (percussioni). Anche queste forze di tipo impulsivo generano, nella struttura, delle vibrazioni che poi vengono irradiate nell'aria (fig. 25).

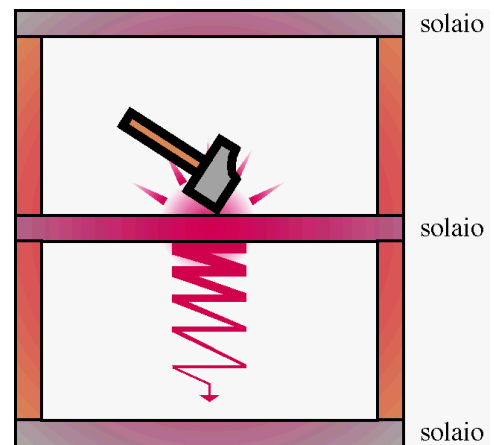


Figura 25: rumore da percussione: l'impulso si trasforma successivamente in vibrazione e quindi si propaga nell'aria.

I provvedimenti da adottare, per ridurre il livello di rumorosità, devono tendere, in primo luogo, a ridurre i rumori alla sorgente e, solo ove ciò non risultasse possibile (o anche in concomitanza con la suddetta azione), si interverrà sulle modalità di propagazione attraverso le strutture.

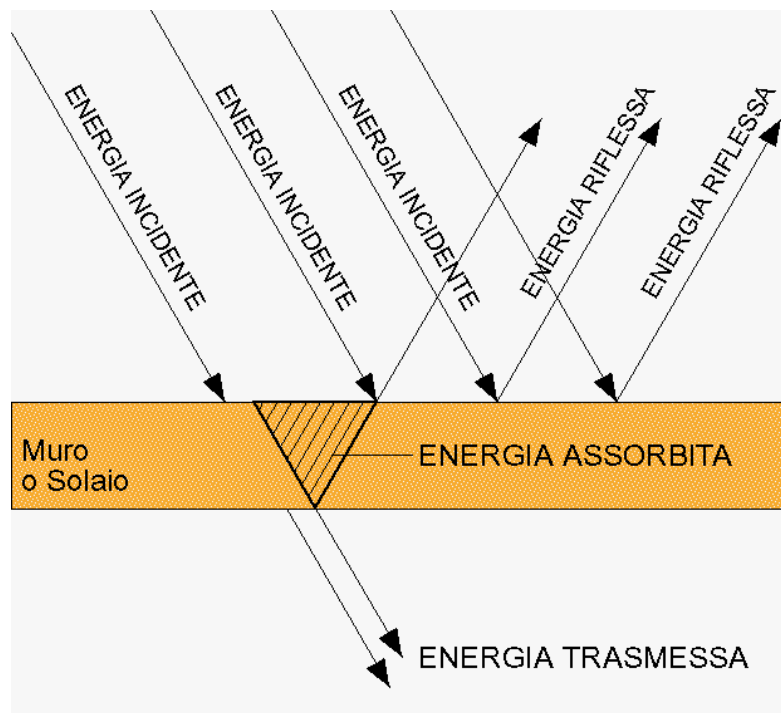
ISOLAMENTO ACUSTICO DAI RUMORI AEREI

La risoluzione dei problemi inerenti l'isolamento acustico degli edifici (con particolare riguardo alle chiusure verticali e orizzontali) risulta diverso a seconda della modalità di propagazione del rumore e dalla posizione della sorgente rispetto al luogo da isolare.

E' necessario, comunque, conoscere le modalità di propagazione attraverso i vari materiali e i vari tipi di struttura.

Quando una certa onda acustica incide su una struttura di separazione, l'energia sonora E_i viene suddivisa in tre aliquote: una parte E_r viene riflessa, una parte E_a viene assorbita dalla struttura stessa e una parte E_t viene trasmessa attraverso il solaio fino ad interessare l'ambiente che si vuole proteggere acusticamente (fig. 26).

Figura 26: l'energia sonora che colpisce un solaio o un muro si suddivide in tre parti



Il rapporto E_t / E_i tra l'energia trasmessa e l'energia incidente si chiama "**coefficiente di trasmissione t**". Il rapporto tra l'energia riflessa E_r e l'energia incidente E_i si chiama "coefficiente di riflessione r".

Partendo dal coefficiente di riflessione r si definisce il "**potere fonoisolante R**" come la capacità, che un diaframma possiede, di isolare un ambiente dai rumori provenienti da un altro ambiente.

La relazione che lega **R** a **t** è:

$$R = 10 \log (1 / t)$$

Analogamente, a partire dal coefficiente di riflessione **r** si definisce il "**coefficiente di assorbimento acustico a**" come la capacità di una struttura, di non riflettere energia. In tal caso la relazione che lega "**a**" ad "**r**" è:

$$a = 1 - r$$

I due coefficienti sono spesso confusi tra di loro pur avendo un significato fisico ben diverso e pur essendo, in un certo senso, contrastanti. Infatti i materiali che presentano buone caratteristiche fonoassorbenti hanno una massa poco elevata ed alta porosità, mentre quelli che garantiscono un migliore potere fonoisolante hanno una massa più elevata, sono meno porosi e quindi più rigidi.

E' facile notare, inoltre, che il disturbo nell'ambiente protetto dal diaframma isolante dipende, oltre che dalla sorgente sonora che si trova dall'altra parte, anche dalla vibrazione del diaframma stesso, e che tale vibrazione è tanto maggiore quanto più bassa è la frequenza di emissione della sorgente sonora.

Teoricamente si può, quindi affermare, che il potere fonoisolante R di un diaframma cresce al crescere della frequenza del suono da isolare e al crescere della massa per unità di superficie del diaframma stesso.

Questa affermazione è alla base della cosiddetta "legge della massa e della frequenza", che viene espressa con la relazione:

$$R = 18 \log (M.f) - 44 \quad (\text{dB})$$

essendo:

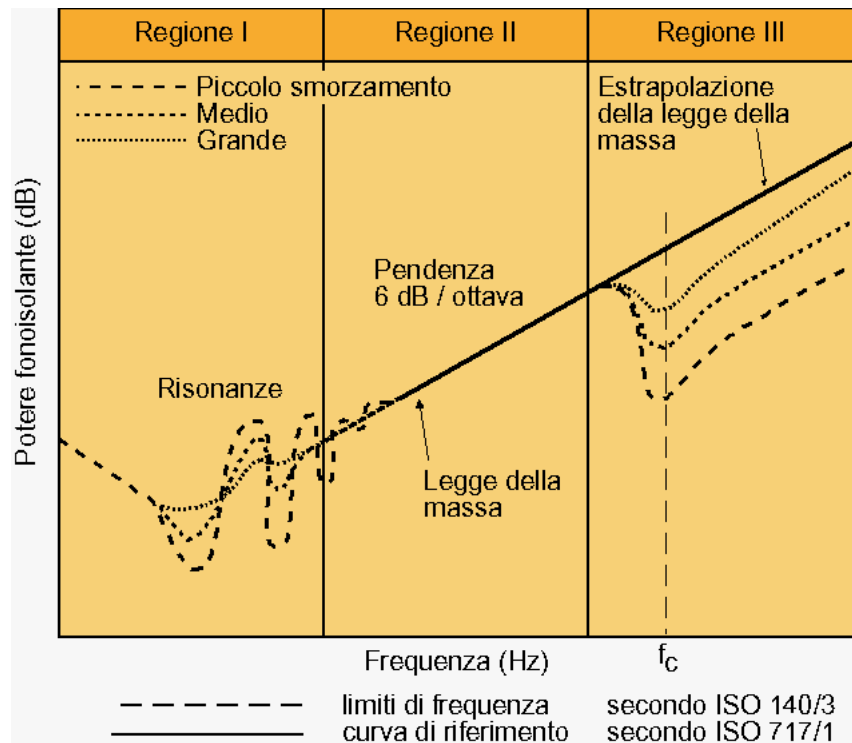
M = massa per unità di superficie della parete (Kg/m²)

f = frequenza (Hz)

Tale legge non è assolutamente rigorosa in quanto occorre anche tenere conto degli effetti secondari dovuti a difetti di tenuta al rumore, alle dimensioni e alla elasticità dei diaframmi, ai loro vincoli e alla presenza di corpi estranei. La fig. 27 indica il "potere fonoisolante" di un diaframma in funzione della frequenza.

Figura 27: potere fonoisolante di un diagramma in funzione della frequenza.

La prima regione, alle basse frequenze, è caratterizzata dalla presenza di fenomeni di risonanza meccanica, attribuibili alle condizioni di vincolo e alla natura dei materiali, fortemente influenzata dalle caratteristiche elastiche degli stessi; la terza zona, alle alte frequenze, presenta un abbattimento, rispetto alla legge di massa; nella seconda regione si ha la validità della "legge della massa".



Si distinguono tre regioni:

- I) bassa frequenza con varie risonanze;
- II) media frequenza dove vale la "legge della massa";
- III) alta frequenza, superiore alla "frequenza critica f_c ", ove il potere fonoisolante è sempre inferiore a quello indicato dalla "legge della massa".

Un'altra grandezza indicativa del grado di isolamento dai rumori aerei usata accanto al potere fonoisolante è L'ISOLAMENTO ACUSTICO D, definito dalla relazione:

$$D = Lp_1 - Lp_2 = 20 \log \frac{p_1}{p_2}$$

dove:

Lp_1 = livello di pressione sonora nell'ambiente disturbante

Lp_2 = livello di pressione sonora nell'ambiente disturbato

Essa rappresenta la differenza tra il livello sonoro esistente in due ambienti contigui, separati da una parete, quando in uno di essi sia posta una sorgente sonora. L'ISOLAMENTO ACUSTICO D viene rilevato in opera e dipende sia dal potere fonoisolante (R) della parete di separazione sia dalla presenza di "ponti acustici".

Nelle misure di laboratorio questi "ponti acustici" non esistono e vale la relazione:

$$D = R - 10 \log \frac{S_t}{A_2}$$

essendo:

S_t = superficie della parete divisoria

A_2 = potere fonoassorbente dell'ambiente disturbato

La tabella 28 riporta i valori del POTERE FONOSOLANTE di alcuni materiali costruttivi.

Tabella 28: Potere fonoisolante di elementi costruttivi in funzione della frequenza (Hz)

Materiale	Spessore (mm)	Peso (kg/m ²)	Potere fonoisolante (dB)						R _{medio} (dB)
			125	250	500	1000	2000	4000	
Vetro	3	7.3	11	17	23	25	26	27	21.5
	6	14.7	17	23	25	27	28	29	25
Parete in calcestruzzo	100	240	29	35	37	43	46	50	40
Parete in cemento armato	200	500	35	45	50	57	54.5	62	50.5
Conglomerato in legno (pannelli) intonacato	75	80	22	26	30	32	36	40	29
Pannello in gesso stuccato e liscio	80	80	23	31	32.5	40	46	51	39
Parete in laterizi forati da 8 cm intonacata	100	115	28.5	35	38	40.5	43	46.5	38.5
Parete in laterizi forati da 12 cm intonacata	150	180	30.5	36.5	40.5	44	46	52.5	41
Solaio in travetti a traliccio e laterizio	160+40	230							49
Solaio in travetti a traliccio e laterizio	200+40	260							50

INDICE DI VALUTAZIONE DEL POTERE FONOSOLANTE "R_w"

Poiché "R" e "d" variano al variare della frequenza, per caratterizzare un materiale è necessario effettuare tali misure su tutto lo spettro sonoro.

Se si vuole una grandezza indicativa del comportamento complessivo si deve ricorrere all'INDICE DI VALUTAZIONE che è il risultato del confronto grafico tra la curva sperimentale per le diverse frequenze e una curva di riferimento stabilita dalle norme (UNI 8270/7 e ISO 140) (fig. 29 e fig. 30).

La recente normativa sui requisiti acustici passivi degli edifici considera il POTERE FONOSOLANTE APPARENTE R'ⁱ che tiene conto di tutte le componenti strutturali presenti oltre alla parete di prova. Di conseguenza viene determinato anche l'INDICE DI VALUTAZIONE R'_w.

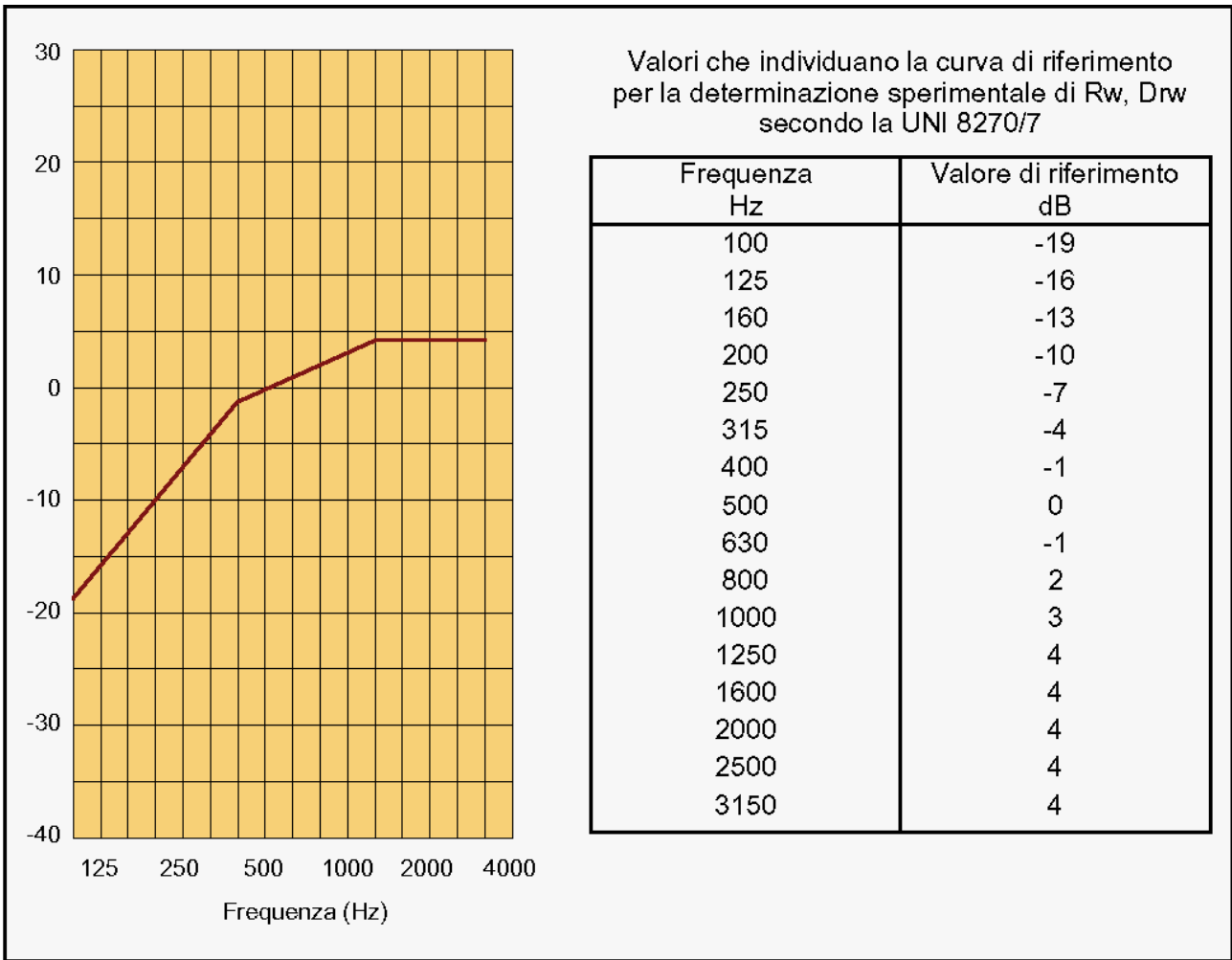
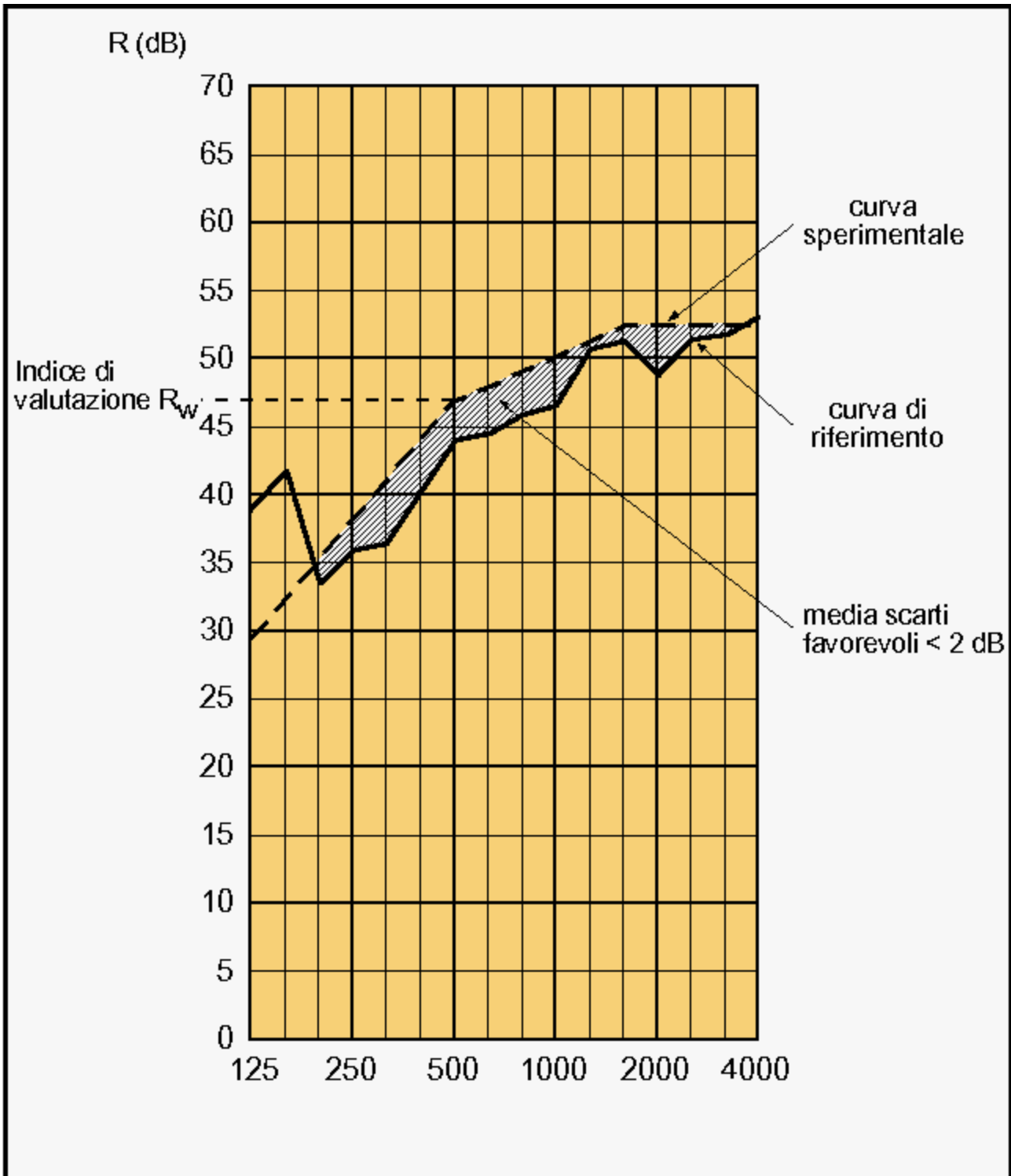


Figura 29: curva di riferimento per la determinazione dell'indice di valutazione R_w

Figura 30: confronto tra la curva standard e una curva sperimentale per la definizione dell'indice di valutazione.



PROTEZIONE DEI RUMORI TRASMESSI ATTRAVERSO LE STRUTTURE

Le parti degli edifici soggette a tale tipo di rumore sono soprattutto gli orizzontamenti.

Seguono le murature, le travi i pilastri ecc.

Attraverso tali strutture, infatti, sorgenti di rumore più o meno ad esse solidali trasmettono vibrazioni che si amplificano sempre di più.

Per caratterizzare il comportamento delle strutture orizzontali, dal punto di vista dell'isolamento al rumore da percussione, è stato introdotto il LIVELLO DI RUMORE DI CALPESTIO NORMALIZZATO " L_n " (da misurare in opera).

Esso è definito dalla seguente relazione:

$$L_c - 10 \log \frac{A_0}{A} = L_c - 10 \log \frac{T}{T_0} \quad (\text{dB})$$

essendo:

L_c = livello di pressione sonora medio nell'ambiente disturbato quando in esso agisce una macchina normalizzata generatrice di calpestio

L_n = livello di rumore di calpestio normalizzato

A = assorbimento totale della struttura ricevente

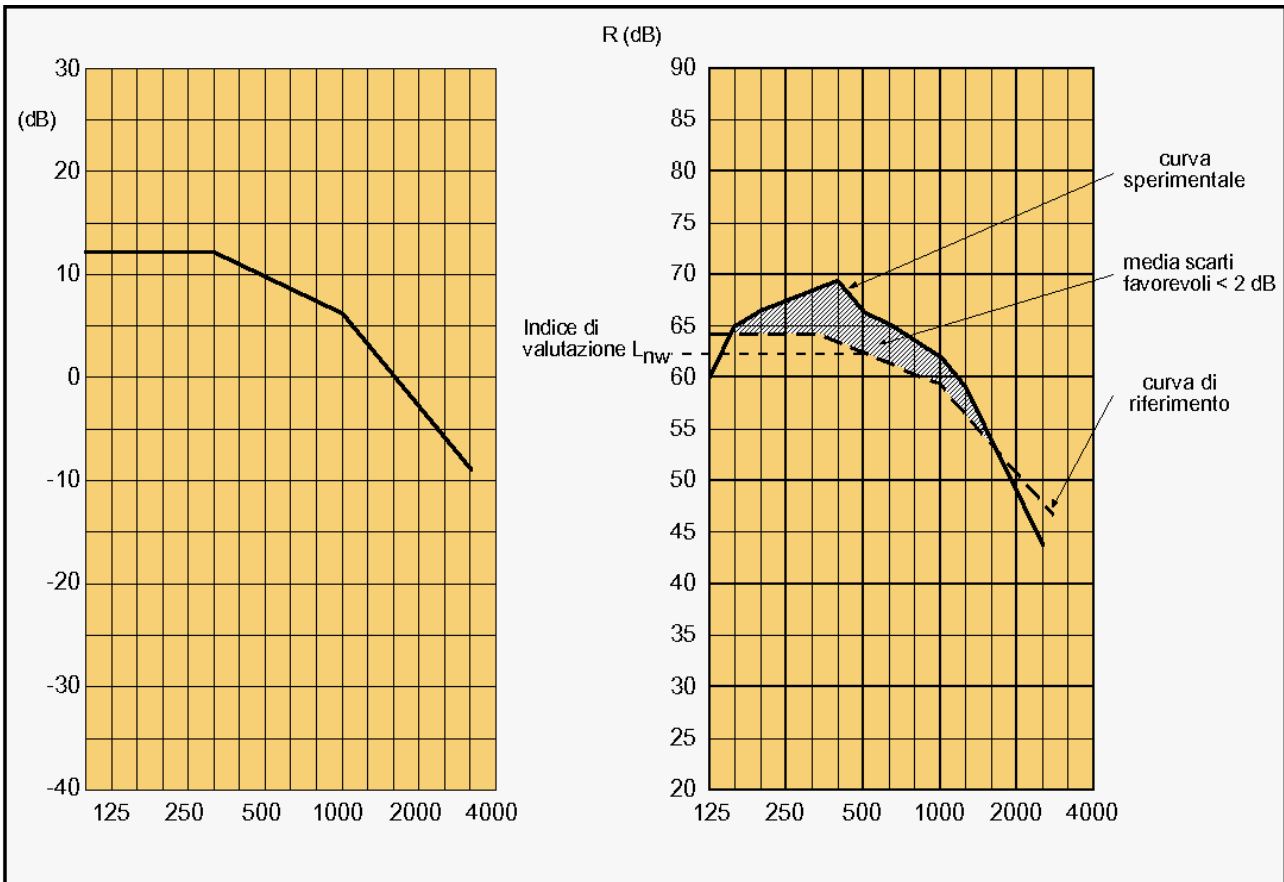
A_0 = assorbimento acustico nell'ambiente di riferimento

T = tempo di riverberazione nell'ambiente ricevente

T_0 = tempo di riverberazione di riferimento per a 0,5 secondi

Anche per il rumore da calpestio si definisce un INDICE DI VALUTAZIONE DEL LIVELLO DEL RUMORE DI CALPESTIO NORMALIZZATO " L_{nw} " attraverso il confronto tra la curva sperimentale, proprio della struttura, e una curva di riferimento (fig. 31).

Figura 31: curva di riferimento e confronto con curva sperimentale.



Le strutture orizzontali (solai) e verticali (muri) non realizzati con i sistemi tradizionali non offrono, in generale, un buon grado di isolamento ai rumori impattivi.

Per tale motivo, quando si richiedono prestazioni particolari, si rendono necessari degli strati correttivi che prevedono l'uso di materiali resilienti (sugheri, gomma, polistiroli...).