



# **L'acustica con Knauf**

Soluzioni tecniche per l'edilizia civile e industriale



# **L'acustica con Knauf**

Soluzioni tecniche per l'edilizia civile e industriale

## Indice

<b>1. Introduzione</b>	4
<b>2. Suoni e rumori</b>	5
Glossario	5
Rumori aerei	5
Rumori impattivi	6
Tempo di riverberazione ( $T_{60}$ )	6
Fonoisolamento e fonoassorbimento	7
Isolamento acustico e potere fonoisolante	7
Livello di rumore da calpestio	8
Livello del rumore di impianti	9
Grandezze "normalizzate"	9
Indici di valutazione	9
Grandezze apparenti (in opera)	13
Il fonometro	14
Audiogramma normale	14
Il livello sonoro equivalente	16
<b>3. Legislazione e normativa tecnica di riferimento per l'acustica in edilizia</b>	17
Legislazione Nazionale	17
Legge n° 447 del 26-10-1995	17
D.P.C.M. 14-11-1997	17
D.P.C.M. 5-12-1997	18
D.M.A. 29-11-2000	19
D.P.R. 30-03-2004, n. 142	20
Leggi Regionali	21
Norme tecniche di riferimento	21
Norme per la progettazione dei requisiti acustici passivi degli edifici	21
Norme per la misurazione in laboratorio di alcune grandezze inerenti l'acustica in edilizia	22
Norme per la misurazione in opera di alcune grandezze inerenti l'acustica in edilizia	22
<b>4. Isolamento acustico degli edifici</b>	23
Rumore aereo	23
Le caratteristiche acustiche delle partizioni semplici e le loro prestazioni in opera	23
Le caratteristiche delle partizioni doppie e le loro prestazioni in opera	25
Soluzioni tecniche Knauf	26
Pareti divisorie ad orditura metallica	26
Rumore aereo: metodi di calcolo	29
Calcolo dell'indice di potere fonoisolante $R_w$	29
Certificati di laboratorio	31
Contropareti ad orditura metallica e rivestimenti isolanti	37
Controsoffitti ad orditura metallica	38
Contropareti e controsoffitti: metodo di calcolo	39

Calcolo dell'indice di potere fonoisolante in opera ( $R'w$ ).....	40
Calcolo di $K_{ij}$ .....	41
Potere fonoisolante apparente: Esempio di calcolo 1 (locali uffici).....	54
Potere fonoisolante apparente: Esempio di calcolo 2 (locali civile abitazione) .....	56
Potere fonoisolante apparente: Esempio di calcolo 3 (metodo grafico).....	60
Rumore impattivo .....	64
Rumore impattivo: metodi di calcolo .....	64
Calcolo di $K$ .....	65
Soluzioni tecniche Knauf .....	66
Isolamento acustico delle facciate .....	69
Isolamento acustico delle facciate: Metodo di calcolo.....	69
<b>5. La correzione acustica degli ambienti confinati .....</b>	<b>72</b>
Assorbimento .....	72
Materiali fonoassorbenti.....	74
La riverberazione .....	77
Il livello sonoro .....	78
Metodo di calcolo del T60 ottimale di un locale .....	79
Soluzioni tecniche Knauf.....	81
Diagrammi di assorbimento acustico delle lastre Knauf forate e fessurate.....	83
<b>6. Bibliografia essenziale e link utili.....</b>	<b>88</b>

## 1. Introduzione

La legge 447 e i suoi decreti attuativi, unitamente alle normative regionali, hanno sancito l'obbligo di costruire e il diritto per i cittadini di abitare case silenziose.

Si tratta di norme allineate per severità a quelle degli altri Paesi Europei, non si tratta dunque di un compito facile per progettisti, costruttori e direttori lavori, abituati a una prassi costruttiva in cui il requisito di acustica era completamente ignorato.

Si propone ora il non facile compito di rendere disponibili strumenti di progettazione e schemi applicativi adatti alla realtà costruttiva nazionale che possano consentire di adempiere ai nuovi obblighi previsti dalla legge. Obblighi che se disattesi possono creare non pochi problemi agli operatori superficiali o distratti o semplicemente poco informati.

Per questo la nostra Associazione ha da tempo intrapreso una intensa attività di informazione e formazione organizzando convegni informativi itineranti, corsi di approfondimento e realizzando strumenti di lavoro come il software Echo per la verifica dei requisiti acustici degli edifici. L'attività dell'Associazione è affiancata e supportata dagli associati che a loro volta svolgono tale attività in modo diretto ed efficace. Un particolare ringraziamento perciò mi sento di rivolgere alla Knauf che attraverso i suoi centri di addestramento svolge attività di formazione per professionisti e maestranze ed ha realizzato questo prezioso manuale che riporta non

soltanto l'essenziale base teorica di queste problematiche, ma anche una grande quantità di dati frutto della pluriennale esperienza di questa azienda nel settore dell'acustica nei principali e più evoluti mercati europei.

Naturalmente il manuale presenta lo stato dell'arte attuale in un contesto in rapida evoluzione normativa, ma l'impegno dichiarato della Knauf è quello di aggiornare continuamente e tempestivamente questo tipo di documento.

Infine siamo convinti che l'evoluzione del mercato e la sua qualificazione, naturalmente anche da parte dei produttori di materiali e sistemi, porterà gli utenti, acquirenti di case, ad una maggiore coscienza delle problematiche acustiche e ad una richiesta più consapevole dei requisiti che rappresentano la tutela del proprio benessere. Parallelamente per i costruttori aumenterà sempre di più l'esigenza di veder riconosciuti e valorizzati gli sforzi e l'impegno per realizzare case confortevoli. Tutto questo porterà certamente, come già accade per i requisiti di efficienza energetica, alla definizione di una procedura di certificazione acustica, un traguardo per cui Knauf, in accordo con Anit, sta già lavorando.

Ing. Sergio Mammi  
Presidente ANIT  
Associazione Nazionale per  
l'Isolamento Termico e Acustico.  
[www.anit.it](http://www.anit.it)

Parlare di comfort acustico negli spazi confinati, fino a tempi piuttosto recenti obbligava spesso a rivolgersi ad un pubblico necessariamente competente, fatto di tecnici ed esperti in Acustica.

L'evoluzione delle normative, nonché una crescente domanda di qualità in edilizia anche da parte dell'utente privato, con l'impegno dell'industria a sviluppare sistemi sempre più tecnologicamente avanzati, hanno fatto sì che oggi una corretta progettazione edilizia non possa più prescindere dal progetto acustico.

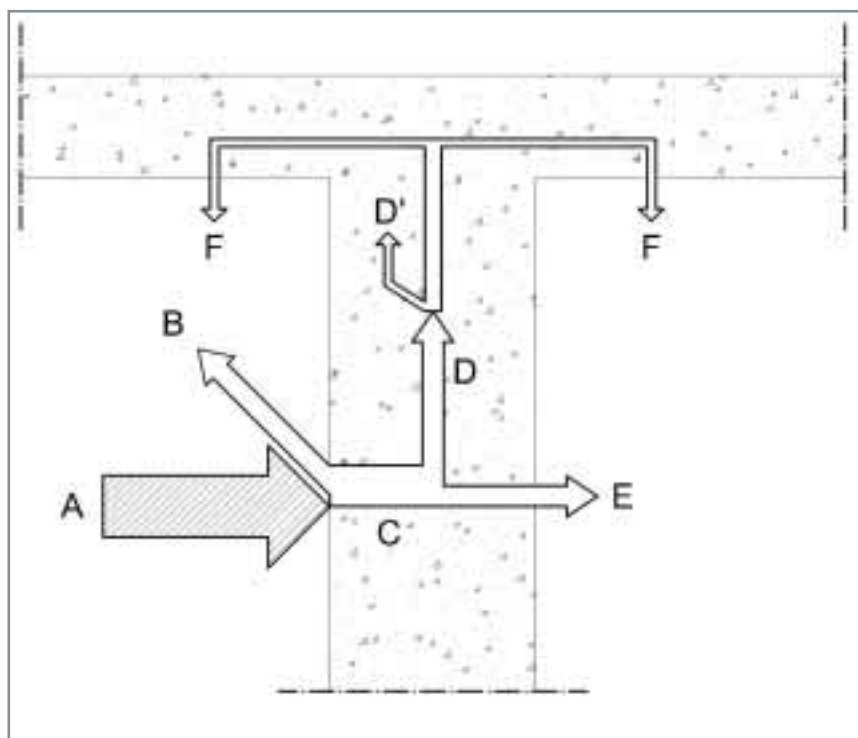
L'impegno di Knauf per la divulgazione tecnico-scientifica in materia di Acustica prosegue -come in passato ed oggi ancora di più- attraverso pubblicazioni tecniche, seminari, convegni e corsi per la qualifica di Posatori di Sistemi a Secco, preparati a risolvere nella pratica quei dettagli costruttivi che diventano essenziali per il miglior risultato in opera.

Questa nuova edizione del Manuale di Acustica Knauf offre al Progettista uno strumento operativo ed un repertorio di soluzioni che consente di affrontare la progettazione con rigore ed efficacia.

Knauf è inoltre a fianco del Progettista con i propri tecnici, per un supporto progettuale completo e dettagliato.

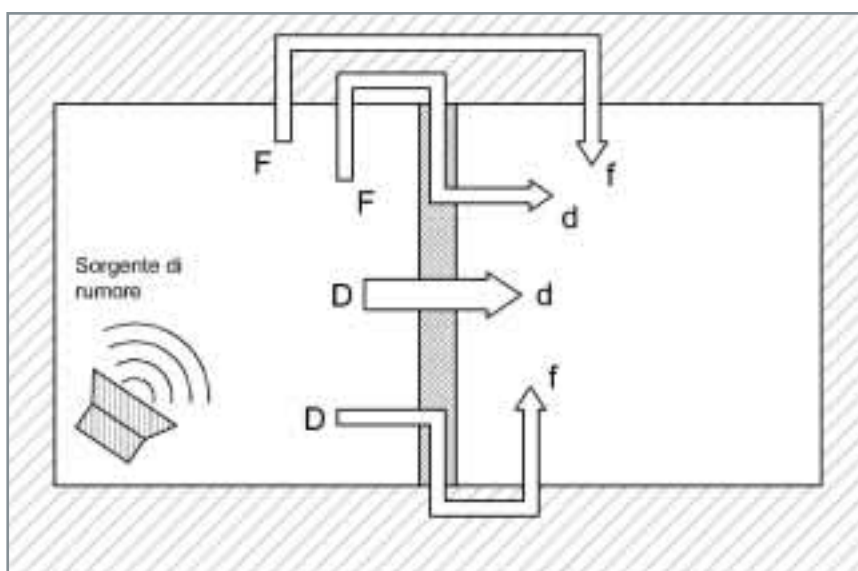
Un ringraziamento va all'ing. Mammi ed all'ing. Borghi per la loro preziosissima collaborazione alla redazione di questo volume.

Ing. Claudia Chiti  
Responsabile Tecnico Knauf



Nella figura seguente vengono raffigurati il percorso diretto (Dd) e i tre percorsi laterali (Ff, Fd, Df):

- D: elemento divisorio lato locale sorgente
- d: elemento divisorio lato locale ricevente
- F: struttura laterale lato locale sorgente
- f: struttura laterale lato locale ricevente



## 2. Suoni e rumori

### Glossario

#### 2.1 Rumori aerei

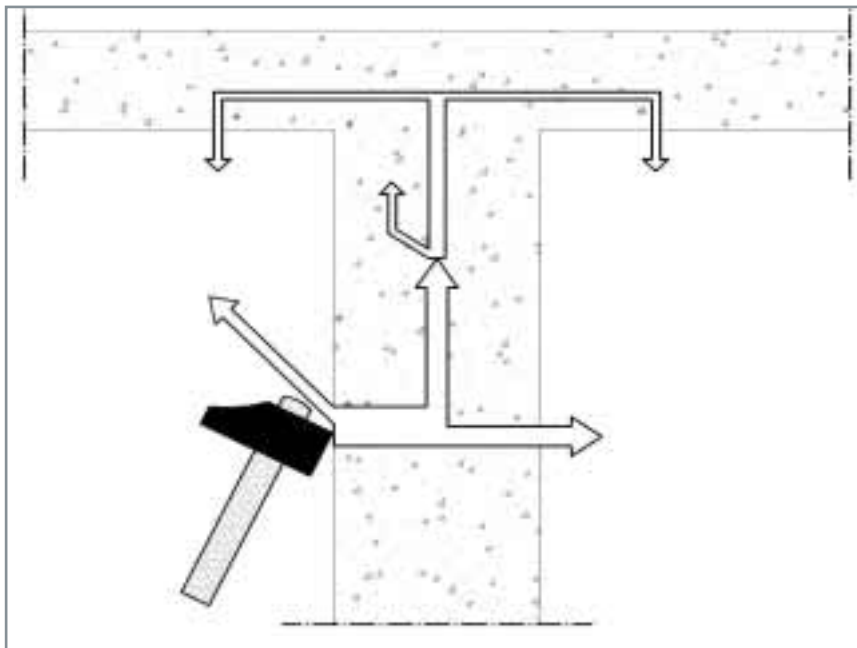
I suoni si trasmettono nell'aria sotto forma di onde di pressione. Quando l'onda sonora incide su un divisorio (A) parte dell'energia viene riflessa (B), parte viene assorbita (C).

Dell'energia assorbita una parte si propagerà lateralmente all'interno del divisorio (D) (e parzialmente verrà trasformata in calore (D')), altra attraverserà la partizione (E) e, mettendo in vibrazione il lato opposto della parete, verrà ritrasmessa all'esterno. Inoltre dell'energia che si propaga lateralmente quella parte che non si è trasformata in calore (F) raggiungerà le partizioni rigidamente collegate alla struttura in esame e, ponendole in vibrazione, verrà reirradiata negli ambienti circostanti.

Se consideriamo quindi la propagazione del suono tra due locali confinanti possiamo individuare tredici percorsi di trasmissione di cui uno diretto (attraverso il divisorio in esame) e dodici di trasmissione laterale (tre per ogni lato della parete).

### 2.2 Rumori impattivi

Anche i rumori di origine impattiva (calpestio, spostamento di mobili ecc.) si propagano all'interno delle strutture con i medesimi meccanismi dei rumori aerei. La differenza sta nel fatto che la struttura, in questo caso, viene messa in vibrazione dall'impatto con un corpo solido e non da un rumore aereo.

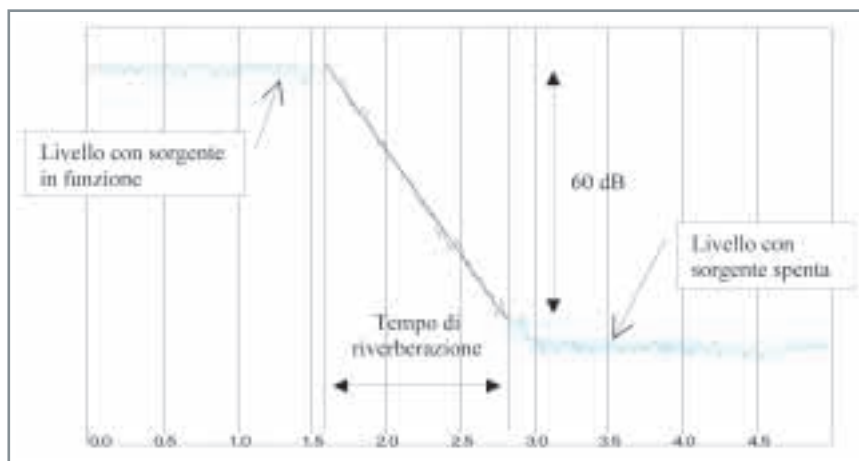


### 2.3 Tempo di riverberazione ( $T_{60}$ )

Quando una sorgente di rumore attiva in un locale viene spenta, il livello di pressione sonora presente all'interno della stanza non si annulla istantaneamente. Questo fenomeno è causato dal fatto che le superfici delimitanti l'ambiente, riflettendo parzialmente le onde sonore ancora presenti nella stanza, generano una "coda sonora". Tale fenomeno è noto con il nome riverberazione.

La capacità di un ambiente di risultare più o meno riverberante dipende principalmente dalle sue dimensioni (e quindi dal suo volume) e dalla capacità delle superfici di assorbire o meno i suoni. Visto che le superfici assorbono i suoni alle varie frequenze in maniera differente, il tempo di riverberazione di un locale cambia in base alla frequenza considerata.

Per quantificare la capacità di riverberare di un locale è stata definita la grandezza "Tempo di riverberazione" ( $T_{60}$ ).



In termini analitici per  $T_{60}$  si intende il tempo necessario affinché, dopo aver spento la sorgente di rumore, il livello di pressione sonora all'interno di una stanza diminuisca di 60 dB.

In termini approssimati quindi il tempo di riverberazione può essere definito come quel tempo, a partire dall'istante di spegnimento della sorgente sonora, necessario perché il suono divenga impercettibile. Come ordine di grandezza i tempi di riverberazione alla frequenza di 1000 Hz misurati in ambienti di civile abitazione normalmente arredati variano usualmente tra 0,3 e 0,6 s.

Il tempo di riverberazione è quindi un parametro che consente di definire la qualità acustica di una sala. Locali con  $T_{60}$  molto lunghi (>1,5 sec) risulteranno molto "riverberanti" mentre locali con  $T_{60}$  ridotti (<0,3 sec) risulteranno "sordi". Il tempo di riverberazione ottimale per un locale definisce il  $T_{60}$  che teoricamente sarebbe opportuno avere nella sala analizzata. Esso dipende quindi dalla destinazione d'uso e dal volume della stessa.

Ad esempio locali troppo riverberanti non sono adatti per l'ascolto del parlato, in quanto la coda sonora non permette di distinguere chiaramente le sillabe che compongono le parole, ma potrebbero risultare adeguati per l'ascolto di determinati tipi di musica come ad esempio la musica d'organo.

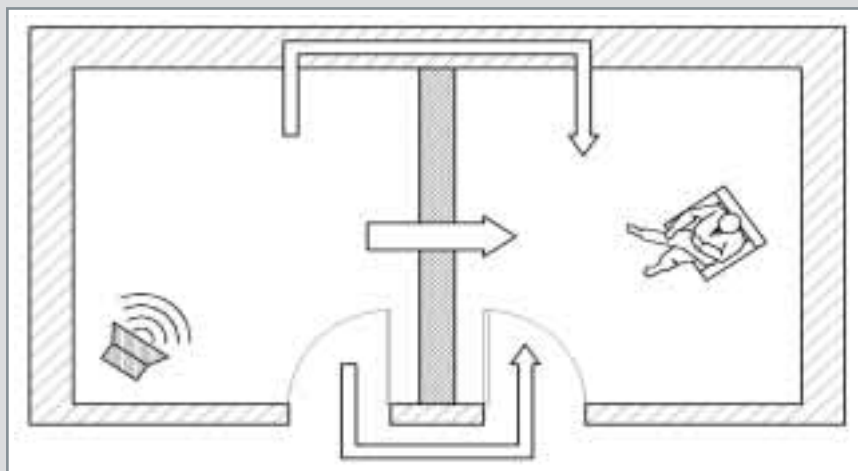
Le indicazioni relative alla correzione acustica degli ambienti confinati verranno descritte nel relativo successivo capitolo.



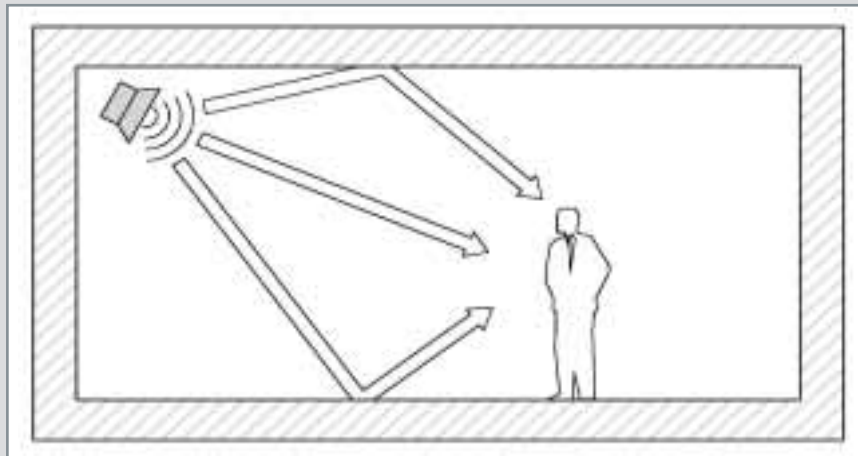
### 2.4 Fonoisolamento e fonoassorbimento

Fonoisolamento e fonoassorbimento sono due concetti molto diversi tra loro.

Gli interventi di fonoisolamento hanno lo scopo di minimizzare la trasmissione del rumore tra due ambienti e quindi fare in modo che il rumore prodotto in un locale non si senta nel locale adiacente.

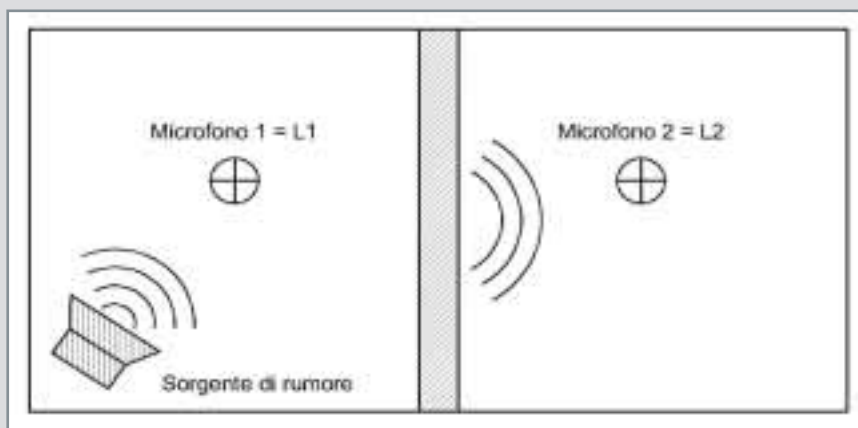


Gli interventi di fonoassorbimento hanno lo scopo di controllare la riflessione dei suoni sulle pareti di un locale e quindi adattare, in base alle proprie esigenze, il riverbero all'interno del locale in cui si genera il rumore.



### 2.5 Isolamento acustico e potere fonoisolante.

Esistono due grandezze che definiscono in maniera differente la capacità di una struttura di abbattere i rumori aerei: isolamento acustico e potere fonoisolante.



L'isolamento acustico (D) (in inglese Noise Reduction - NR) rappresenta la differenza in decibel dei livelli di rumore misurati nella stanza sorgente e nella stanza ricevente.

Dove:  $D = L_1 - L_2$

$L_1$  livello di pressione sonora nell'ambiente emittente

$L_2$  livello di pressione sonora nell'ambiente ricevente

La grandezza D dipende dalle caratteristiche acustiche delle stanze dove vengono effettuate le misure. Infatti una camera ricevente molto riverberante (e quindi in un certo senso con un forte "rimbombo dei suoni") determinerà un livello  $L_2$  più alto rispetto ad una stanza delle medesime dimensioni ma con superfici interne in grado di assorbire i rumori.

Il potere fonoisolante (R) (in inglese Transmission Loss - TL) si ricava anch'esso da una differenza tra due misure, però rappresenta una caratteristica intrinseca della struttura, indipendente dalle dimensioni della partizione e dalle proprietà acustiche dei locali.

Per eliminare la dipendenza da questi parametri si somma alla differenza tra le misure di livelli di rumore un termine correttivo che tiene in considerazione la superficie della partizione e la capacità di assorbimento acustico della camera ricevente.

Tale grandezza quindi risulta utile qualora si volessero confrontare tra loro le caratteristiche di pareti diverse.

$$R = L1 - L2 + 10 \log \left( \frac{S}{A} \right)$$

Dove:

L1 livello di pressione sonora nell'ambiente emittente

L2 livello di pressione sonora nell'ambiente ricevente

S è la superficie della partizione esaminata [m<sup>2</sup>]

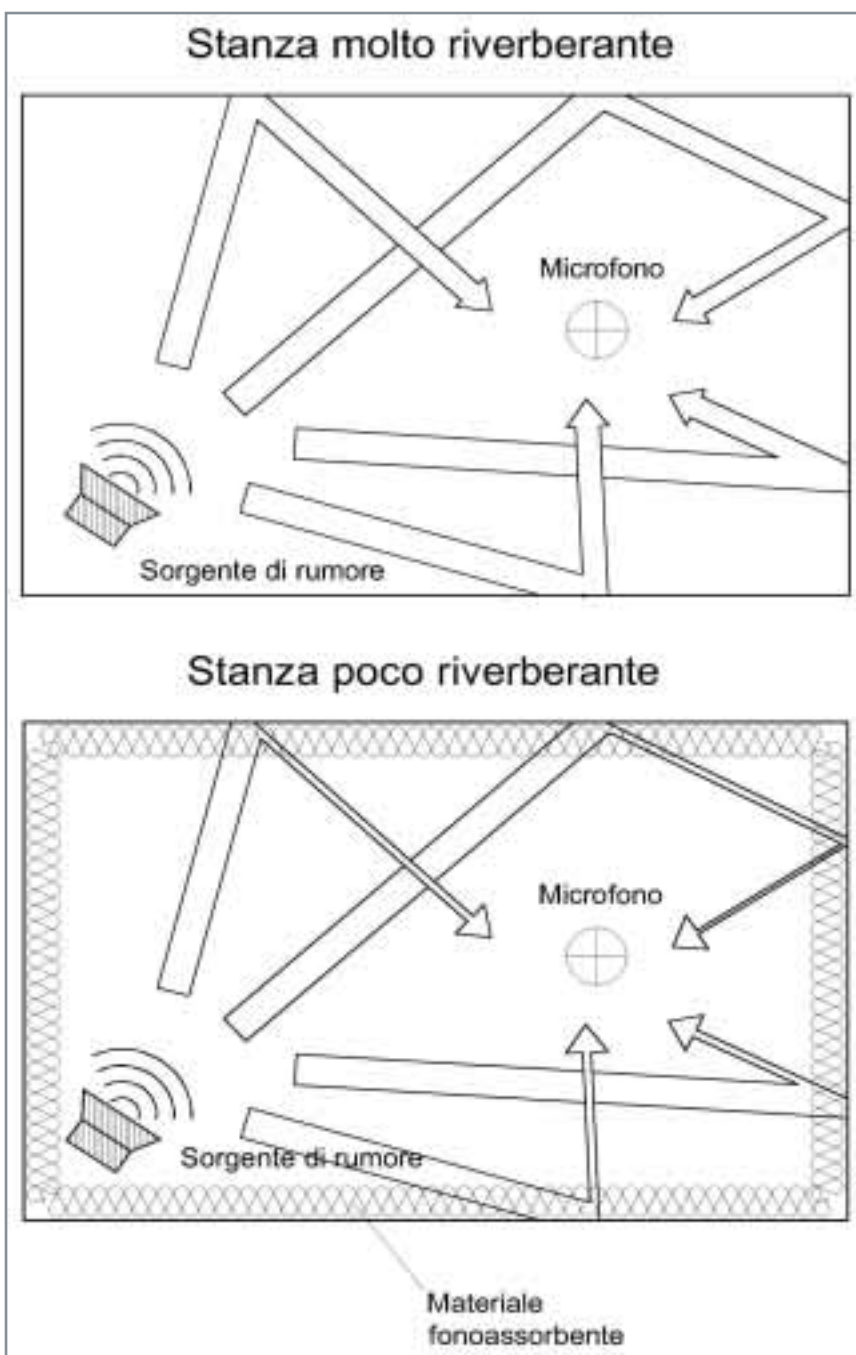
A è l'area di assorbimento acustico equivalente dell'ambiente di ricezione [m<sup>2</sup>]

Il termine "A" si calcola misurando il tempo di riverberazione del locale ricevente

$$A = \frac{0,16V}{T}$$

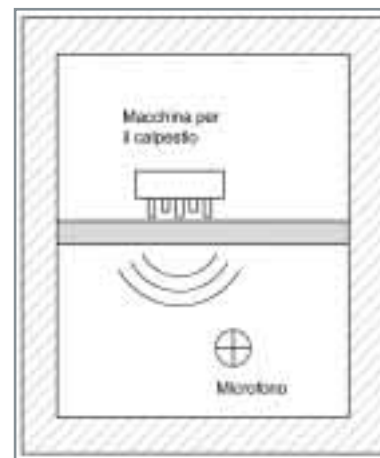
V è il volume dell'ambiente ricevente [m<sup>3</sup>]

T è il tempo di riverberazione dell'ambiente ricevente



## 2.6 Livello di rumore da calpestio

Il livello di rumore di calpestio (L) caratterizza il rumore misurato al piano sottostante una volta che viene attivata la macchina per il calpestio sul solaio in esame. La macchina per il calpestio è uno strumento dotato di 5 martelli del peso di 500 grammi ciascuno, che percuotono ritmicamente il pavimento cadendo da un'altezza di 40 mm. Tutte le indicazioni relative alle specifiche delle macchine per il calpestio sono segnalate nella norma UNI EN ISO 140-7 (Paragrafo 5 ed Appendice A) riguardante la misurazione in opera dell'isolamento acustico ai rumori di calpestio.



Il livello di rumore di calpestio misurato più basso è, maggiore è la capacità del solaio di smorzare il rumore.

Come l'isolamento acustico (D) anche il livello di rumore di calpestio è un parametro che dipende dalle caratteristiche acustiche della stanza dove vengono effettuate le misure. Di conseguenza per ottenere un valore intrinseco del solaio esaminato sarà necessario correggere i valori misurati in base al tempo di riverberazione del locale ricevente (cfr. paragrafo Grandezze "normalizzate")

### 2.7 Livello del rumore di impianti

Quando si deve caratterizzare il rumore causato dal funzionamento di impianti tecnologici ci si basa sulla misurazione del livello di rumore da loro generato. Anche in questo caso quindi più basso è il valore misurato migliore sarà il comfort acustico nell'ambiente.

### 2.8 Grandezze "normalizzate"

Come descritto nei paragrafi precedenti le grandezze isolamento acustico (D) e livello di rumore di calpestio (L) dipendono dalle caratteristiche acustiche dei locali in cui vengono realizzate le misure. Ad esempio se si analizzano due pareti identiche inserite in due differenti appartamenti, uno vuoto e l'altro arredato, le partizioni daranno due diversi valori di isolamento acustico. Per poter paragonare le grandezze è quindi necessario renderle tra loro omogenee (normalizzarle). Esistono due tipi di normalizzazione. È possibile normalizzare rispetto al tempo di riverberazione del locale ricevente oppure all'assorbimento acustico del locale ricevente.

Isolamento acustico normalizzato rispetto all'assorbimento equivalente Dn

$$D_n = D - 10 \log \left( \frac{A}{A_0} \right) [\text{dB}]$$

dove:

A è l'area di assorbimento equivalente dell'ambiente ricevente, in m<sup>2</sup>;  
A<sub>0</sub> è l'area di assorbimento equivalente di riferimento pari a 10 m<sup>2</sup>

Il termine "A" si calcola come indicato nel paragrafo *Isolamento acustico e potere fonoisolante*

Isolamento acustico normalizzato rispetto al tempo di riverberazione DnT

$$D_{nT} = D + 10 \log \left( \frac{T}{T_0} \right) [\text{dB}]$$

dove:

T è il tempo di riverberazione nell'ambiente ricevente, in secondi;

T<sub>0</sub> è il tempo di riverberazione di riferimento, pari a 0,5 s.

Livello di rumore di calpestio normalizzato rispetto all'assorbimento equivalente L<sub>n</sub>

$$L_n = L + 10 \log \left( \frac{A}{A_0} \right) [\text{dB}]$$

dove:

A è l'area di assorbimento equivalente dell'ambiente ricevente, in m<sup>2</sup>;

A<sub>0</sub> è l'area di assorbimento equivalente di riferimento, pari a 10 m<sup>2</sup>

Il termine "A" si calcola come indicato nel paragrafo *Isolamento acustico e potere fonoisolante*

Livello di rumore di calpestio normalizzato rispetto al tempo di riverberazione L<sub>nT</sub>

$$L_{nT} = L - 10 \log \left( \frac{T}{T_0} \right) [\text{dB}]$$

dove:

T è il tempo di riverberazione nell'ambiente ricevente, in secondi;

T<sub>0</sub> è il tempo di riverberazione di riferimento per appartamenti, pari a 0,5 s.

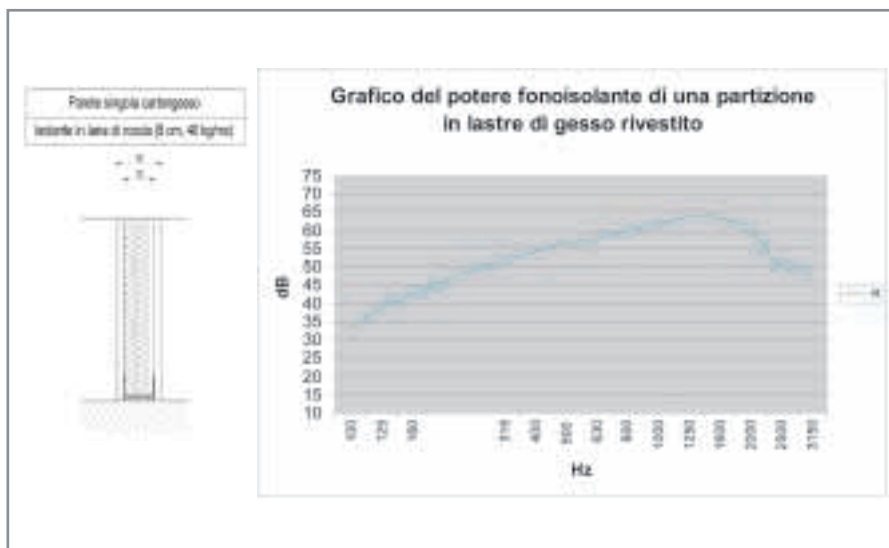
### 2.9 Indici di valutazione

Tutti i parametri che definiscono le proprietà acustiche di una partizione (D, R, L) vengono calcolati, o misurati, per bande di frequenza.

Si hanno quindi, ad esempio, diversi valori di potere fonoisolante per una partizione, in base alla frequenza che si sceglie di considerare (ad esempio un divisorio può "isolare bene" il rumore alle alte frequenze, ma dare prestazioni differenti alle basse frequenze).

Tale caratteristica quindi deve venire espressa con un grafico o un insieme di numeri.

Di seguito si riporta il grafico del potere fonoisolante di una partizione in lastre di gesso rivestito



Per poter definire invece con un unico numero la prestazione acustica complessiva di un componente edilizio sono stati introdotti gli "indici di valutazione". Tali indici si calcolano "mediando", con una apposita procedura, i valori definiti alle singole frequenze.

Il pedice "w" indica che la grandezza è espressa con un indice di valutazione; ad esempio:

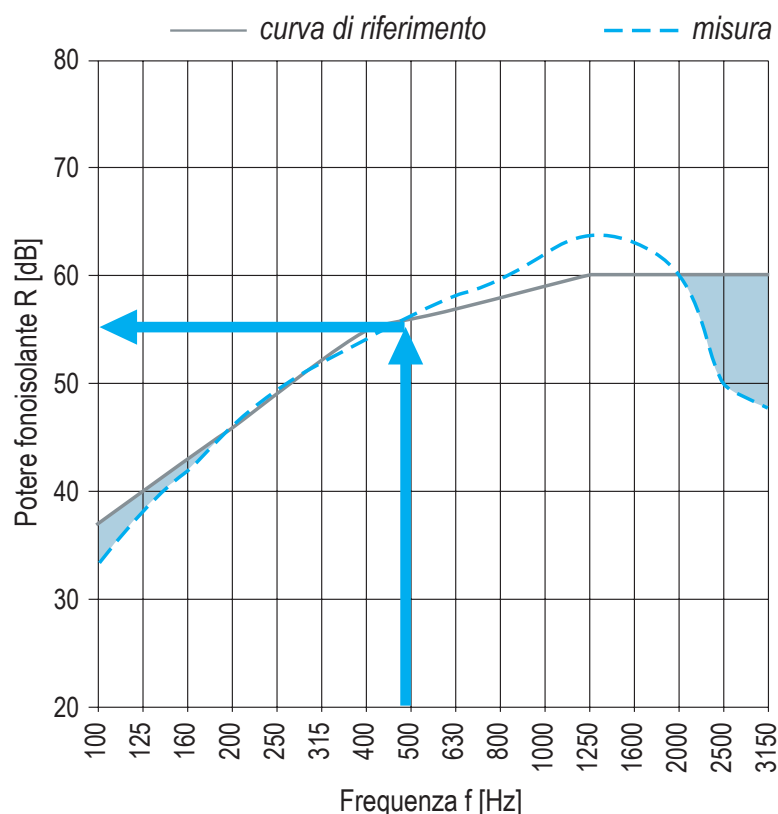
$R$  = potere fonoisolante (per frequenza)

$R_w$  = indice del potere fonoisolante (numero unico)

I metodi per calcolare gli indici di valutazione partendo dai valori "per frequenza" sono descritti nelle norme UNI EN ISO 717 - 1 e UNI EN ISO 717 - 2.

Per calcolare l'indice di valutazione, relativo a misurazioni di potere fonoisolante o di isolamento acustico, si confrontano i valori misurati con una curva di riferimento proposta nella norma UNI EN ISO 717-1. La curva di riferimento viene avvicinata alla curva delle misure, procedendo a passi di 1 dB, finché la somma degli scarti sfavorevoli è più grande possibile e comunque non maggiore di 32 dB (per le misurazioni in bande di terzo d'ottava). Uno scarto sfavorevole a una data frequenza si ha quando il risultato della misurazione è minore del valore della curva di riferimento. Raggiunta la condizione sopra descritta il valore dell'indice di valutazione corrisponde al valore alla frequenza di 500 Hz della curva di riferimento traslata.

Le immagini che seguono riportano il calcolo dell'indice di valutazione della struttura descritta nel paragrafo precedente. Nel disegno sono evidenziati la zona relativa agli scarti sfavorevoli ed il valore dell'indice di valutazione (56 dB). La tabella riporta i risultati delle misure e dei calcoli.



Frequenza [Hz]	Misure [dB]	Curva di riferimento traslata [dB]	scarti [dB]	scarti sfavorevoli [dB]
100	33,6	37	3,4	3,4
125	38,3	40	1,7	1,7
160	42,1	43	0,9	0,9
200	45,9	46	0,1	0,1
250	49,4	49	-0,4	
315	52,2	52	-0,2	
400	54,1	55	0,9	0,9
500	56,3	56	-0,3	
630	58	57	-1	
800	59,5	58	-1,5	
1000	62,1	59	-3,1	
1250	63,7	60	-3,7	
1600	63,3	60	-3,3	
2000	60,7	60	-0,7	
2500	49,8	60	10,2	10,2
3150	47,7	60	12,3	12,3

somma scarti sfavorevoli **29,5**

Per calcolare l'indice di valutazione, relativo a misurazioni di isolamento al calpestio, si confrontano i valori misurati con una curva di riferimento proposta nella UNI EN ISO 717-2.

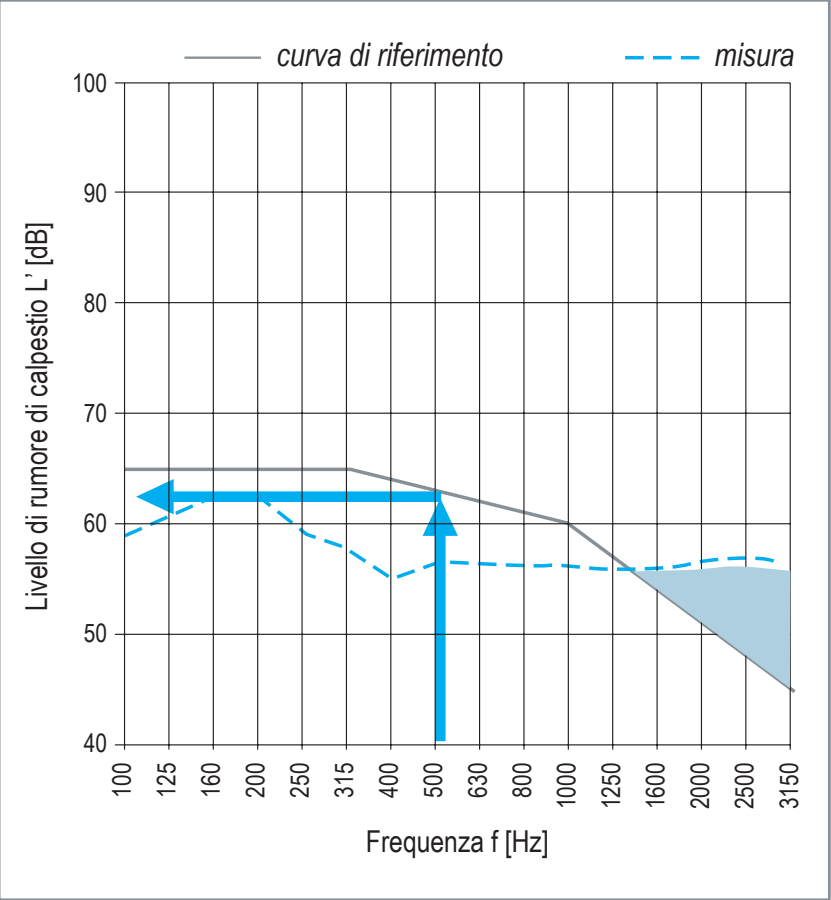
Anche in questo caso la curva di riferimento viene avvicinata alla curva delle misure, procedendo a passi di 1 dB, finchè la somma degli scarti sfavorevoli è più grande possibile e comunque non maggiore di 32 dB (per le misurazioni in bande di terzo d'ottava).

In questo caso però uno scarto sfavorevole a una data frequenza si ha quando il risultato della misurazione è maggiore del valore della curva di riferimento.

Anche in questo caso raggiunta la condizione sopra descritta il valore dell'indice di valutazione corrisponde al valore alla frequenza di 500 Hz della curva di riferimento traslata.

Nel disegno seguente sono evidenziati la zona relativa agli scarti sfavorevoli ed il valore relativo all'indice di valutazione (63 dB).

La tabella riporta i risultati delle misure e dei calcoli.



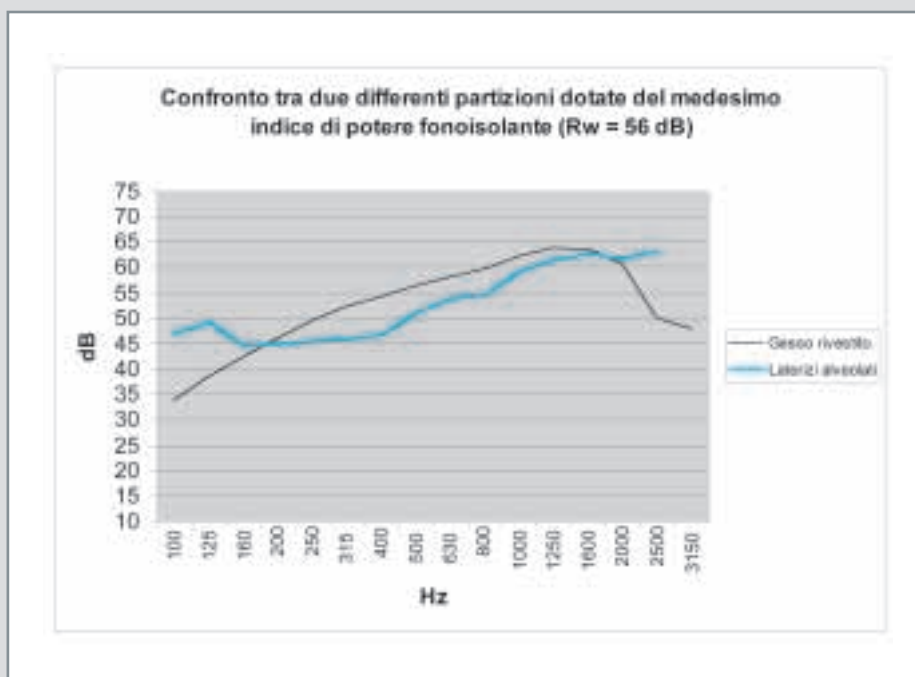
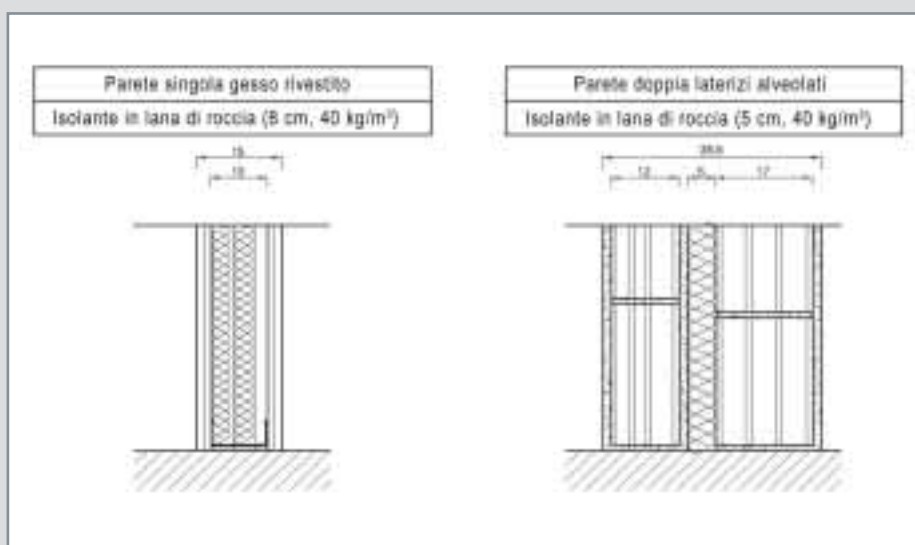
Frequenza [Hz]	Misure [dB]	Curva di riferimento traslata [dB]	scarti [dB]	scarti sfavorevoli [dB]
100	59,0	65	-6,0	
125	61,0	65	-4,0	
160	62,5	65	-2,5	
200	62,5	65	-2,5	
250	59,5	65	-5,5	
315	57,8	65	-7,2	
400	55,0	64	-9,0	
500	56,8	63	-6,2	
630	56,6	62	-5,4	
800	56,1	61	-4,9	
1000	56,6	60	-3,4	
1250	56,0	57	-1,0	
1600	56,0	54	2,0	2,0
2000	56,7	51	5,7	5,7
2500	57,0	48	9,0	9,0
3150	56,4	45	11,4	11,4

somma scarti sfavorevoli

28,1

È importante sottolineare che l'impiego degli indici di valutazione comporta una perdita di informazioni riguardo l'andamento in frequenza della grandezza considerata.

Di seguito a titolo di esempio si riportano i grafici di due partizioni differenti che forniscono il medesimo indice di potere fonoisolante ( $R_w = 56$  dB)



## Curve NR e curve NC

Un altro procedimento per definire uno spettro sonoro con un unico valore si basa sull'ipotesi che il disturbo globale è in qualche modo riconducibile a quello dovuto alla sola frequenza più disturbante. In tal senso sono stati definiti appositi grafici con i quali analizzare i livelli sonori.

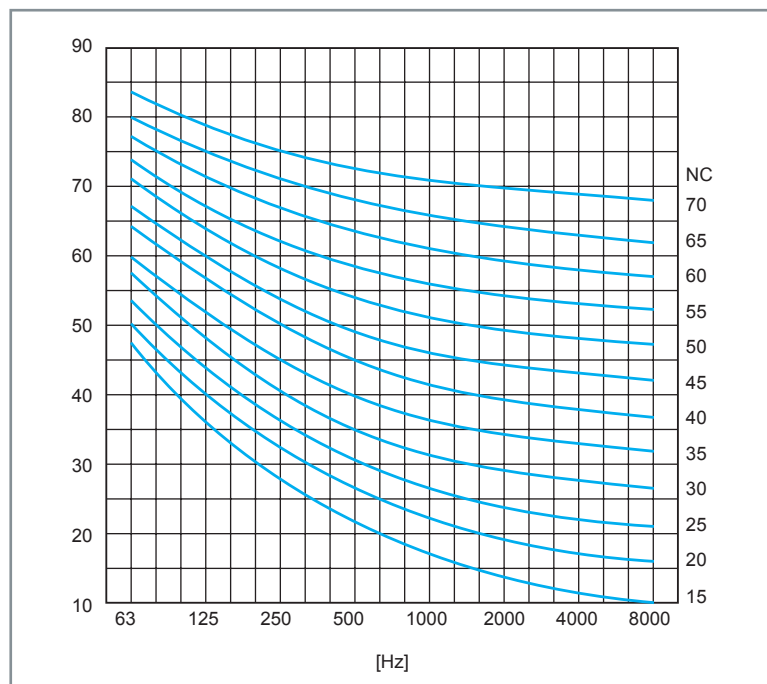


Diagramma normalizzato per la determinazione dell'indice NC (Noise Criteria) definito negli Stati Uniti

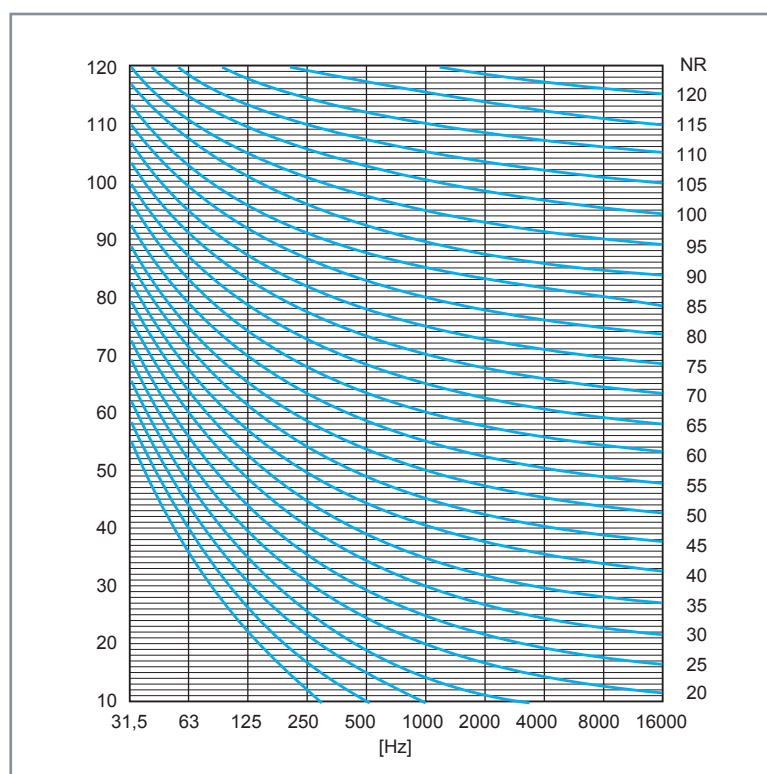


Diagramma normalizzato per la determinazione dell'indice NR (Noise Rating) definito in sede ISO

Sovrapponendo lo spettro del rumore in esame con i grafici riportati a fianco, l'indice di livello sonoro (NC o NR) corrisponde al valore della più alta curva raggiunta.

## 2.10 Grandezze apparenti (in opera)

La misurazione delle caratteristiche acustiche di un elemento divisorio posto in opera forniscono generalmente risultati sensibilmente differenti rispetto alle misurazioni in laboratorio. Ciò avviene principalmente a causa del fatto che:

- in laboratorio si cerca di eliminare completamente le trasmissioni del rumore per via laterale disaccoppiando in maniera opportuna le due camere dove vengono effettuate le misurazioni.
- Le partizioni testate in laboratorio generalmente sono costruite con maggior cura rispetto a quelle realizzate in opera

Questo comporta che una partizione posta in opera presenta in generale un potere fonoisolante decisamente inferiore rispetto alla stessa struttura misurata in laboratorio. Per differenziare questi due tipi di misure viene utilizzato un apice e le grandezze relative alle misurazioni in opera vengono definite con il termine "apparente", quindi ad esempio:

$R_w$  = indice del potere fonoisolante di un elemento (misurato in laboratorio)

$R'_w$  = indice del potere fonoisolante apparente di un elemento (misurato in opera)

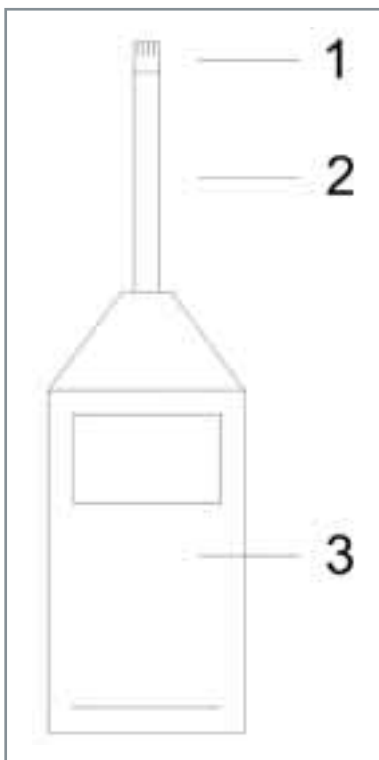
$R_w > R'_w$



### 2.11 Il fonometro

Il fonometro, strumento che consente di misurare le grandezze precedentemente descritte, può essere suddiviso in tre sezioni:

1. microfono
2. preamplificatore
3. dispositivo per l'elaborazione dei dati



Il microfono (1) acquisisce i dati dall'esterno, attraverso il preamplificatore (2) vengono inviati al sistema di elaborazione (3). Le informazioni vengono quindi registrate ed analizzate.

Per poter effettuare delle misurazioni che abbiano valore giuridico legale la strumentazione utilizzata dovrà possedere determinate caratteristiche.

Dal D.M. 16 marzo 1998 Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico – art. 2:

Il sistema di misura deve essere

Il sistema di misura deve essere scelto in modo da soddisfare le specifiche di cui alla classe 1 delle norme EN 60651/1994 e EN 60804/1994.

Le misure di livello equivalente dovranno essere effettuate direttamente con un fonometro conforme alla classe 1 delle norme EN 60651/1994 e EN 60804/1994.

Nel caso di utilizzo di segnali registrati prima e dopo le misure deve essere registrato anche un segnale di calibrazione.

La catena di registrazione deve avere una risposta in frequenza conforme a quella richiesta per la classe 1 della EN 60651/1994 e una dinamica adeguata al fenomeno in esame.

L'uso del registratore deve essere dichiarato nel rapporto di misura.

I filtri e i microfoni utilizzati per le misure devono essere conformi, rispettivamente, alle norme EN 61260/1995 (IEC 1260) e EN 61094-1/1994, EN 61094-1/1994, EN 61094-2/1993, EN 61094-3/1995, EN 61094-4/1995.

I calibratori devono essere conformi alle norme CEI 29-4.

La strumentazione e/o la catena di misura, prima e dopo ogni ciclo di misura, deve essere controllata con un calibratore di classe 1, secondo la norma IEC 942/1988. Le misure fonometriche eseguite sono valide se le calibrazioni effettuate prima e dopo ogni ciclo di misura, differiscono al massimo di 0.5 dB. In caso di utilizzo di un sistema di registrazione e di riproduzione, i segnali di calibrazione devono essere registrati.

Gli strumenti ed i sistemi di misura devono essere provvisti di certificato di taratura e controllati almeno ogni due anni per la verifica della conformità alle specifiche tecniche. Il controllo periodico deve essere eseguito presso laboratori accreditati dal servizio di taratura nazionale ai sensi della legge 11 agosto 1991, n. 273.

### 2.12 Audiogramma normale

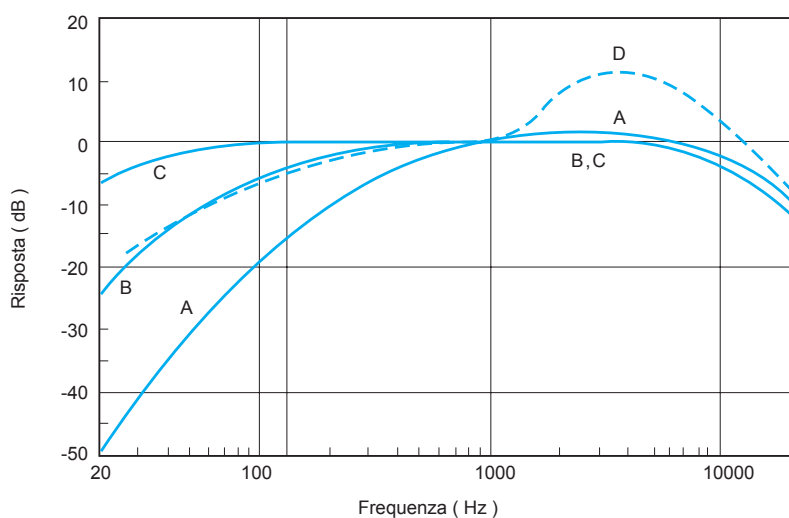
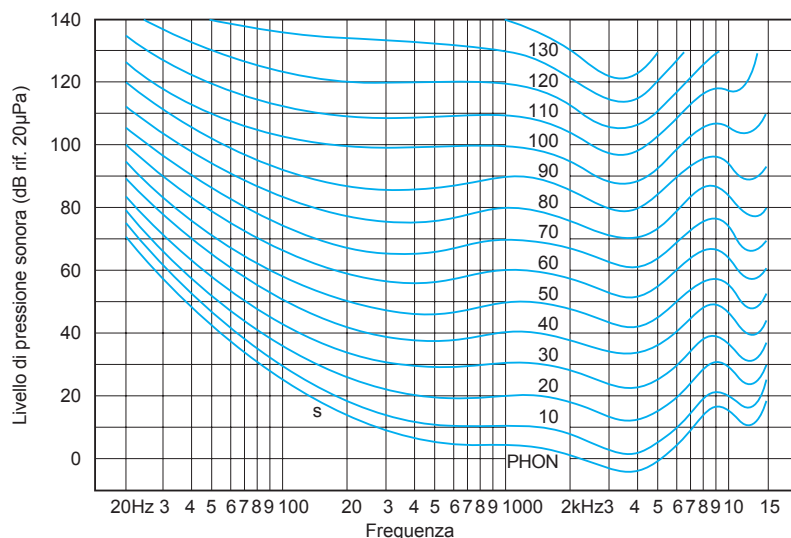
I fonometri sono in grado di misurare le variazioni di pressione sonora alle diverse frequenze. L'orecchio umano però percepisce i suoni a differenti frequenze con diversa sensibilità. Ad esempio un suono a 1000 Hz a 50 dB viene percepito come più intenso rispetto ad un suono a 100 Hz sempre a 50 dB.

Per analizzare questa problematica sono state condotte una serie di prove di laboratorio su un vasto numero di individui dalle quali è stato elaborato il grafico seguente (audiogramma normale).

Sul grafico sono rappresentate le curve isophoniche le quali definiscono il medesimo livello di intensità soggettiva percepita.

Si osserva ad esempio che un suono a 1000 Hz a 50 dB (corrispondente alla curva 50 PHON) viene percepito dall'orecchio umano con lo stesso livello di intensità di un suono a 20 Hz a circa 95 dB (anch'esso corrispondente alla curva 50 PHON).





Per tenere in considerazione la sensibilità dell'orecchio umano alle diverse frequenze anche durante le misure fonometriche, sono state elaborate a partire dalle curve isophoniche, le cosiddette curve di ponderazione. Tali curve definiscono i valori da sottrarre o sommare alle varie bande di frequenza misurate per ricavare un valore che meglio approssimi quanto percepito dall'apparato uditivo.

La curva A approssima la curva isophonica 40 phon ed è utilizzabile per suoni di livello medio basso (ad esempio misurazioni in edifici di civile abitazione).

La curva B approssima la curva isophonica 70 phon ed è utilizzabile per suoni di livello medio alto.

La curva C approssima la curva isophonica 100 phon ed è utilizzabile per suoni di livello molto elevato.

La curva D è stata realizzata per la valutazione del rumore generato dal traffico aereo.

Da queste curve vengono quindi ricavate le misure ponderate in dB(A), dB(B), dB(C) e dB(D). La ponderazione viene automaticamente effettuata dal fonometro.

## 2.13 Il livello sonoro equivalente

Il livello sonoro equivalente (Leq) è il livello di un ipotetico rumore costante che, se sostituito al rumore misurato, variabile nel tempo, genererebbe la medesima quantità di energia sonora.

Lo scopo del livello equivalente è quindi quello di caratterizzare con un unico valore un rumore variabile nel tempo ed è definito dalla seguente formula

$$L_{eq} = 10 \log \left[ \frac{1}{T} \int_0^T \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \right] \text{ dB}$$

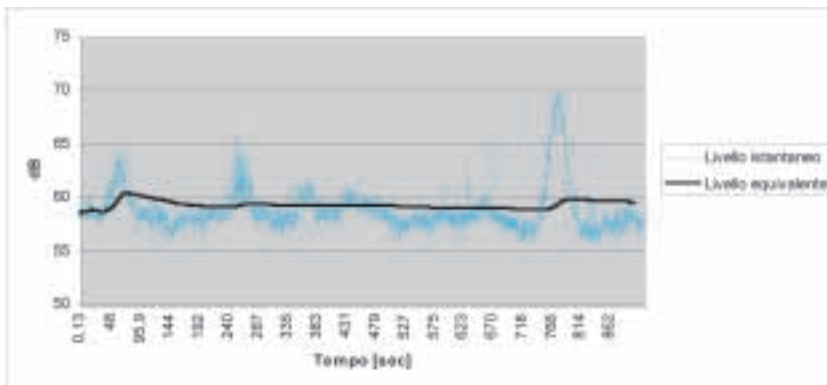
Dove:

T è il tempo totale di misurazione.

$p_0$  è la pressione sonora di riferimento ( $2 \times 10^{-5}$  Pa)

$p(t)$  è la pressione sonora misurata all'istante "t" dal fonometro

Nel grafico seguente vengono rappresentati il livello di pressione sonora istantanea (curva blu) ed il relativo livello equivalente (curva rossa)



Si osserva come il livello equivalente evolve e si stabilizza durante la di misurazione in base al tempo di integrazione considerato ed agli eventi sonori istantanei misurati.

### 3. Legislazione e normativa tecnica di riferimento per l'acustica in edilizia

Di seguito un elenco delle leggi e delle norme tecniche di riferimento riguardanti l'acustica in edilizia. L'elenco che segue è aggiornato al mese di ottobre 2005.

#### 3.0 Legislazione Nazionale

In questo paragrafo si riportano le leggi di carattere nazionale. Regioni, Province e Comuni hanno la facoltà di redigere in merito normative maggiormente restrittive.

#### Legge n° 447 del 26-10-1995

"Legge quadro sull'inquinamento acustico"

Questa è la legge che definisce i principi fondamentali in materia di tutela dell'ambiente esterno e dell'ambiente abitativo dall'inquinamento acustico.

Essa sostituisce il precedente documento di riferimento (DPCM 1-03-1991 Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno).

Nella L. 447 vengono prese in considerazione tutte le tematiche riguardanti il rumore, i soggetti volti ad analizzarle e le competenze di Stato, Regioni, Province e Comuni.

All'art. 8 viene riportato l'obbligo di redigere valutazioni di **impatto acustico** nel caso si debbano realizzare opere potenzialmente rumorose. Tali verifiche consistono nel prevedere quanto rumore potrà generare una nuova opera e se tale rumore potrà disturbare eventuali ricettori sensibili.

In tal senso dovranno essere sottoposte a verifica di impatto acustico le seguenti opere:

- 1.aeroporti, aviosuperfici, eliporti;
- 2.strade di tipo A (autostrade),  
B (strade extraurbane principali),  
C (strade extraurbane secondarie),  
D (strade urbane di scorrimento),  
E (strade urbane di quartiere) e  
F (strade locali), secondo la classificazione di cui al D.Lgs. 30 aprile 1992, n. 285 (14), e successive modificazioni;
- 3.discoteche;
- 4.circoli privati e pubblici esercizi ove sono installati macchinari o impianti rumorosi;
- 5.impianti sportivi e ricreativi;
- 6.ferrovie ed altri sistemi di trasporto collettivo su rotaia.

Le opere sopra citate dovranno essere sottoposte a verifica sia che vengano realizzate ex-novo, sia che vengano modificate, sia che vengano potenziate.

Inoltre, *"le domande per il rilascio di concessioni edilizie relative a nuovi impianti ed infrastrutture adibiti ad attività produttive, sportive e ricreative e a postazioni di servizi commerciali polifunzionali, dei provvedimenti comunali che abilitano alla utilizzazione dei medesimi immobili ed infrastrutture, nonché le domande di licenza o di autorizzazione all'esercizio di attività produttive devono contenere una documentazione di previsione di impatto acustico"* (L.447 – 1995 art. 8 c. 4)

Sempre all'articolo 8 della Legge 447 (comma 3) viene invece richia-

mato l'obbligo di redigere verifiche di **clima acustico**.

Queste relazioni hanno lo scopo di determinare la rumorosità presente in un'area prima di realizzare un edificio. Servono quindi per valutare se l'area è compatibile con la costruzione e prevedere eventuali opere di mitigazione dei rumori. Dovranno possedere valutazione previsionale di clima acustico le aree interessate alla realizzazione di:

- 1.scuole e asili nido;
- 2.ospedali;
- 3.case di cura e di riposo;
- 4.parchi pubblici urbani ed extra-urbani;
- 5.nuovi insediamenti residenziali prossimi alle opere che richiedono valutazione di impatto acustico.

Le modalità di redazione delle relazioni è demandata alle singole Regioni (art. 4 comma 1 lettera l). Prima di redigere una relazione di impatto o di clima acustico è quindi necessario verificare se la propria Regione ha emanato qualche provvedimento in merito.

#### D.P.C.M. 14-11-1997

"Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore"

Questa legge, attuativa della 447 del 1995, fissa i limiti di rumore generati dalle sorgenti sonore. Tale norma disciplina i valori limite di emissione e di immissione ed i valori di attenzione e qualità, definiti nella legge quadro, secondo una serie di tabelle che si rifanno alla classificazione acustica del

territorio comunale. In base a questi limiti vanno redatte le valutazioni di clima e di impatto acustico previste dalla Legge quadro oltre che le zonizzazioni acustiche dei Comuni. Di seguito le tabelle riportate nel Decreto.

Tabella A: classificazione del territorio comunale

**CLASSE I** - aree particolarmente protette: rientrano in questa classe le aree nelle quali la quiete rappresenta un elemento di base per la loro utilizzazione: 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: rientrano in questa classe le aree urbane interessate prevalentemente da traffico veicolare locale, con bassa densità di popolazione, con limitata presenza di attività commerciali ed assenza di attività industriali e artigianali

**CLASSE III** - aree di tipo misto: rientrano in questa classe le aree urbane interessate da traffico veicolare locale o di attraversamento, con media densità di popolazione, con presenza di attività commerciali, uffici con limitata presenza di attività artigianali e con assenza di attività industriali; aree rurali interessate da attività che impiegano macchine operatrici

**CLASSE IV** - aree di intensa attività umana: rientrano in questa classe le 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: rientrano in questa classe le aree interessate da insediamenti industriali e con scarsità di abitazioni.

**CLASSE VI** - aree esclusivamente industriali: rientrano in questa classe le aree esclusivamente interessate da attività industriali e prive di insediamenti abitativi

Tabella B: valori limite di emissione -  $L_{eq}$  in dB (A)

classi di destinazione d'uso del territorio	tempi di riferimento	
	diurno (06.00-22.00)	notturno (22.00-06.00)
I aree particolarmente protette	45	35
II aree prevalentemente residenziali	50	40
III aree di tipo misto	55	45
IV aree di intensa attività umana	60	50
V aree prevalentemente industriali	65	55
VI aree esclusivamente industriali	65	65

Tabella C: valori limite assoluti di immissione -  $L_{eq}$  in dB (A)

classi di destinazione d'uso del territorio	tempi di riferimento	
	diurno (06.00-22.00)	notturno (22.00-06.00)
I aree particolarmente protette	50	40
II aree prevalentemente residenziali	55	45
III aree di tipo misto	60	50
IV aree di intensa attività umana	65	55
V aree prevalentemente industriali	70	60
VI aree esclusivamente industriali	70	70

Tabella D: valori di qualità -  $L_{eq}$  in dB (A)

classi di destinazione d'uso del territorio	tempi di riferimento	
	diurno (06.00-22.00)	notturno (22.00-06.00)
I aree particolarmente protette	47	37
II aree prevalentemente residenziali	52	42
III aree di tipo misto	57	47
IV aree di intensa attività umana	62	52
V aree prevalentemente industriali	67	57
VI aree esclusivamente industriali	70	70

## D.P.C.M. 5-12-1997

"Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici".

È un decreto attuativo della L. 447 - 1995, il quale definisce i valori (minimi o massimi) di isolamento dai rumori che devono possedere gli edifici.

Nel Decreto vengono presi in considerazione:

- il valore minimo di isolamento al rumore tra differenti unità immobiliari, mediante il parametro  $R'w$  (indice di potere fonoisolante apparente)
- il valore minimo di isolamento dai rumori provenienti dall'esterno, mediante il parametro  $D_{2mnTw}$  (indice di isolamento acustico di facciata)
- il valore massimo di rumore di calpestio percepito, mediante il parametro  $L'_{nw}$  (indice di livello di rumore di calpestio apparente)

- il livello massimo di rumore per gli impianti a funzionamento discontinuo, mediante il parametro LASmax (Livello massimo di rumore ponderato A misurato impostando il fonometro con costante di tempo "slow")
- il valore massimo di rumore per gli impianti a funzionamento continuo, mediante il parametro LAeq (Livello equivalente di rumore ponderato A)

Il Decreto non impone la realizzazione di prove acustiche in opera o la redazione di relazioni tecniche progettuali, ma semplicemente che, ad opera ultimata, i requisiti acustici siano rispettati.

Ovviamente però, per garantire il rispetto di tali requisiti, considerate le tecnologie costruttive attualmente adottate nel nostro Paese e soprattutto la loro realizzazione in cantiere, la redazione di una relazione e l'effettuazione di prove acustiche in corso d'opera ed a fine lavori diventano condizione necessaria per verificare e garantire i requisiti prescritti per legge.

Nel Decreto è riportata la seguente tabella contenente i valori limite da rispettare

Categorie di edifici	Parametri [dB]				
	R' <sub>w</sub>	D <sub>2m,nT,w</sub>	L' <sub>nw</sub>	LASmax	LAeq
Ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili	55	45	58	35	25
Residenze, alberghi, pensioni o attività assimilabili	50	40	63	35	35
Attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili	50	48	58	35	25
Uffici, attività ricreative o di culto, attività commerciali o assimilabili	50	42	55	35	35

In merito ai livelli di rumore degli impianti tecnologici a funzionamento continuo si segnala che nel Decreto esiste una incongruenza tra i dati riportati nella tabella ed i valori prescritti nelle definizioni dell'Allegato A.

Inoltre, per la misurazione dei requisiti acustici, in certi casi il Decreto fa riferimento a norme tecniche ormai sostituite o non congruenti con le grandezze da misurare.

Nel Decreto non vengono presi in considerazione edifici destinati ad attività industriali o artigianali. Per questi è comunque applicabile il DPCM 5-12-1997 nel caso che all'interno degli stessi siano presenti attività assimilabili a quelle descritte nel decreto (ad esempio uffici all'interno di un capannone artigianale).

In materia di rumore le attività industriali o artigianali devono comunque assolvere alle prescrizioni riportate nel DPCM 14-11-1997, riguardante il rumore propagato all'esterno dalle attività stesse e quindi la redazione di valutazioni di impatto acustico, e nel Decreto legislativo 277 del 1991 riguardante la protezione dei lavoratori contro i rischi di esposizione al rumore durante il lavoro.

Si segnala che le prescrizioni del DPCM 5-12-1997 sono da considerarsi come livelli minimi di prestazioni acustiche. Eventuali esigenze di maggiore isolamento rispetto ai rumori esterni, o ai rumori che si propagano tra diverse abitazioni, andrà valutato volta per volta in base al livello di rumore (clima acustico) dell'area in cui andrà ad inserirsi il nuovo edificio o ad eventuali richieste prestazionali della committenza.

## D.M.A. 29-11-2000

Criteri per la predisposizione da parte delle società e degli enti gestori dei servizi pubblici di trasporto o delle relative infrastrutture, dei piani degli interventi di contenimento e abbattimento del rumore.

Il Decreto definisce chi deve realizzare le opere di mitigazione del rumore derivante da traffico veicolare e quali tipologie di interventi vanno adottati.

In particolare come interventi possibili vengono segnalati:

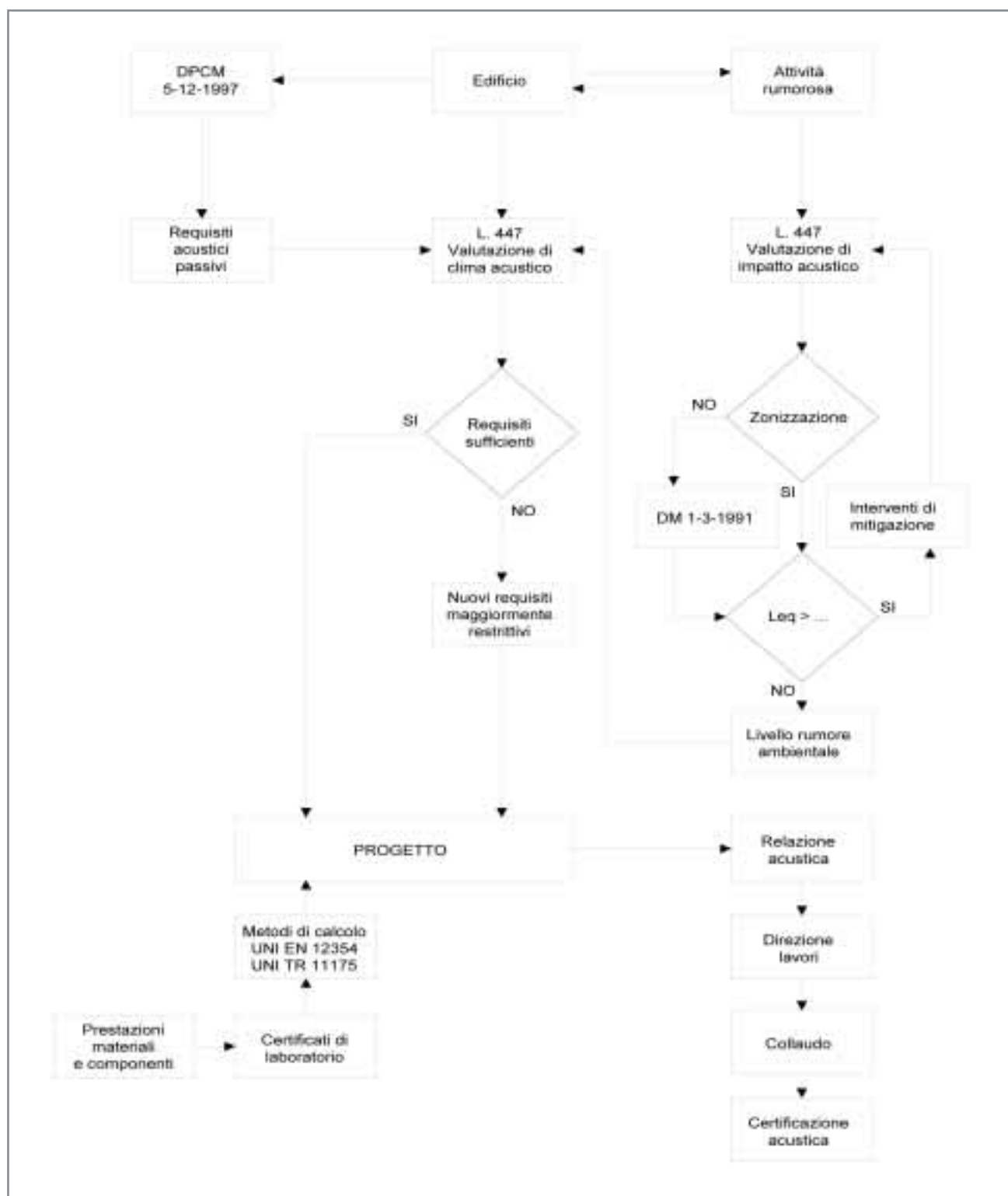
- Pavimentazioni antirumore
- Barriere acustiche
- Finestre antirumore
- Rivestimenti fonoassorbenti per le facciate
- Trattamento antirumore degli imbocchi delle gallerie

## D.P.R. 30-03-2004, n. 142

Disposizioni per il contenimento e la prevenzione dell'inquinamento acustico derivante dal traffico veicolare, a norma dell'articolo 11 della legge 26 ottobre 1995, n. 447.

Il Decreto definisce i limiti massimi di rumore che possono essere generati dalle infrastrutture stradali rendendo operativo il precedente Decreto del 29-11-2000

Lo schema a blocchi che segue illustra le attività di acustica che devono essere prese in considerazione quando si progetta un edificio.



## 3.1 Leggi Regionali

Di seguito si riporta un elenco dei documenti regionali che hanno preso in considerazione l'analisi dei requisiti acustici passivi degli edifici.

Lombardia	Legge regionale 10 agosto 2001– n° 13	Art. 7	Requisiti acustici degli edifici e delle sorgenti sonore interne
Marche	Legge regionale 14 novembre 2001, n. 28	Art. 20	Progettazione, messa in opera ed esercizio di edifici, impianti e infrastrutture
Puglia	Legge Regionale 12 febbraio 2002, n°. 3	Art. 15	Prevenzione dell'inquinamento acustico negli edifici
Umbria	Legge Regionale n° 08 del 6-6-2002	Art. 15	Redazione di progetti acustici per nuove costruzioni e interventi di ristrutturazione urbanistica

Per la Regione Marche segnaliamo anche la **DGR n° 896 del 24-06-2003** pubblicata sul BUR n° 62 del 11-07 2003. La deliberazione richiede espressamente la realizzazione di calcoli previsionali dei requisiti acustici passivi e, per determinati edifici, impone il relativo collaudo in opera.

L'elenco successivo riporta le leggi regionali riguardanti l'inquinamento acustico

### Regione Liguria

L.R. n. 12 del 20 marzo 1998

"Disposizioni in materia di inquinamento acustico"

### Regione Toscana

L.R. n. 89 del 1 dicembre 1998

"Norme in materia di inquinamento acustico"

### Regione Veneto

L.R. n. 21 del 10 maggio 1999

"Norme in materia di inquinamento acustico"

### Regione Piemonte

L.R. n. 52 del 20 ottobre 2000

"Disposizioni per la tutela dell'ambiente in materia di inquinamento acustico"

### Regione Emilia Romagna

L.R. n. 15 del 9 maggio 2001

### Regione Lazio

L.R. n. 18 del 3 agosto 2001

"Disposizioni in materia di inquinamento acustico per la pianificazione ed il risanamento del territorio- modifiche alla legge regionale 6 agosto 1999, n.14"

## 3.2 Norme tecniche di riferimento

Di seguito si riporta l'elenco, suddiviso per argomenti, delle principali norme tecniche in materia di acustica edilizia.

### Norme per la progettazione dei requisiti acustici passivi degli edifici

UNI EN 12354 - "Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti"

Parte 1: Isolamento dal rumore per via aerea tra ambienti;

Parte 2: Isolamento acustico al calpestio tra ambienti;

Parte 3: Isolamento acustico contro il rumore proveniente dall'esterno per via aerea;

Parte 4: Trasmissione del rumore interno all'esterno.

Rapporto Tecnico UNI TR 11175:

"Acustica in edilizia. Guida alle norme serie UNI EN 12354 per la previsione delle prestazioni acustiche degli edifici. Applicazione alla tipologia costruttiva nazionale".

Tra le UNI EN 12354 ed il Rapporto Tecnico UNI esistono alcune sostanziali differenze.

Le UNI EN 12354 sono state elaborate in sede CEN, si riferiscono a tipologie costruttive tipiche Nord Europa ed i modelli di calcoli descritti richiedono dati di ingresso difficilmente reperibili. Il Rapporto Tecnico UNI invece, che si basa sul metodo di calcolo semplificato proposto nelle UNI EN 12354, è stato elaborato basandosi su tecnologie edilizie tipiche del nostro Paese e soprattutto presenta in appendice un'ampia banca dati contenente le prestazioni acustiche di strutture edilizie "nazionali".

### **Norme per la misurazione in laboratorio di alcune grandezze inerenti l'acustica in edilizia**

UNI EN ISO 140

Acustica - Misura dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio

Parte 1 - Requisiti per le attrezzature di laboratorio con soppressione della trasmissione laterale;

Parte 3 - Misurazione in laboratorio dell'isolamento acustico per via aerea di elementi di edificio;

Parte 6 - Misurazioni in laboratorio dell'isolamento dal rumore di calpestio di solai;

Parte 8 - Misurazione in laboratorio della riduzione del rumore di calpestio trasmesso da rivestimenti di pavimentazioni su un solaio pesante normalizzato.

Parte 12 - Misurazione in laboratorio dell'isolamento acustico dai rumori trasmessi per via aerea e dal calpestio tra due ambienti attraverso un pavimento sopraelevato.

UNI EN 20140

Acustica - Misura dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio

Parte 2 - Determinazione, verifica e applicazione della precisione dei dati;

Parte 9 - Misurazione in laboratorio dell'isolamento acustico per via aerea da ambiente a ambiente coperti dallo stesso controsoffitto;

Parte 10 - Misura in laboratorio dell'isolamento acustico per via aerea di piccoli elementi di edificio.

ISO 354: 1985

Acustica - Misura dell'assorbimento acustico in camera riverberante.

UNI EN ISO 11654

Acustica - Assorbitori acustici per l'edilizia - Valutazione dell'assorbimento acustico.

UNI EN ISO 10534-1:2001

Acustica - Determinazione del coefficiente di assorbimento acustico e dell'impedenza acustica in tubi di impedenza - Metodo con le onde stazionarie.

UNI EN ISO 10534-2:2001

Acustica - Determinazione del coefficiente di assorbimento acustico e dell'impedenza acustica in tubi di impedenza - Metodo della funzione di trasferimento.

Norme per la misurazione in opera di alcune grandezze inerenti l'acustica in edilizia.

UNI EN ISO 140

Acustica - Misura dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio.

Parte 4 - Misurazioni in opera dell'isolamento acustico per via aerea tra ambienti;

Parte 5 - Misurazioni in opera dell'isolamento acustico per via aerea degli elementi di facciata e delle facciate;

Parte 7 - Misurazioni in opera dell'isolamento dal rumore di calpestio di solai;

Parte 14 - Linee guida per situazioni particolari in opera.

UNI EN ISO 3382

Acustica - Misurazione del tempo di riverberazione di ambienti con riferimento ad altri parametri acustici

Calcolo degli indici di valutazione

UNI EN ISO 717

Acustica - Valutazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio

Parte 1 - Isolamento di rumori aerei;

Parte 2 - Isolamento di rumore di calpestio.



## 4. Isolamento acustico degli edifici

### 4.1 Rumore Aereo

La protezione dai rumori aerei negli edifici residenziali si attua mediante la concezione e la realizzazione di partizioni orizzontali e verticali di idonee caratteristiche.

Trattando della protezione dai rumori generati all'interno dell'edificio le componenti cui porre attenzione sono i solai e le partizioni verticali interne, per i rumori generati all'esterno ci si dovrà invece concentrare sugli elementi costituenti l'involucro: pareti perimetrali, primi solai e coperture. Le partizioni verticali esterne, grazie alla loro massività, garantiscono nella maggior parte dei casi un grado di isolamento accettabile dai rumori trasmessi per via aerea, non solo dal punto di vista normativo ma anche da quello della sensazione che l'individuo può provare trovandosi nel proprio spazio abitativo. Per quanto riguarda le partizioni verticali interne invece, le prestazioni acustiche offerte sono variabili a seconda della tipologia adottata.

### Le caratteristiche acustiche delle partizioni semplici e le loro prestazioni in opera.

Una partizione verticale qualunque possiede delle caratteristiche di fonoisolamento direttamente dipendenti dalla propria massa.

Se si ipotizza di applicare ad una parete una forza per farla vibrare, si può constatare che la resistenza al movimento della medesima risulta essere proporzionale alla sua inerzia, e che all'aumentare di questa aumenta di conseguenza il potere fonoisolante.

Anche la frequenza delle sollecitazioni è un parametro molto importante: il numero di sollecitazioni nell'unità di tempo che raggiungono la parete ne condizionano la velocità del movimento e di conseguenza le forze di inerzia, cosicché all'aumentare della frequenza si osserva generalmente un miglioramento del potere fonoisolante.

La legge di massa per l'isolamento acustico rappresenta l'effetto combinato di massa e frequenza: essa si può considerare valida per pareti semplici ed omogenee, e può essere espressa con la seguente relazione

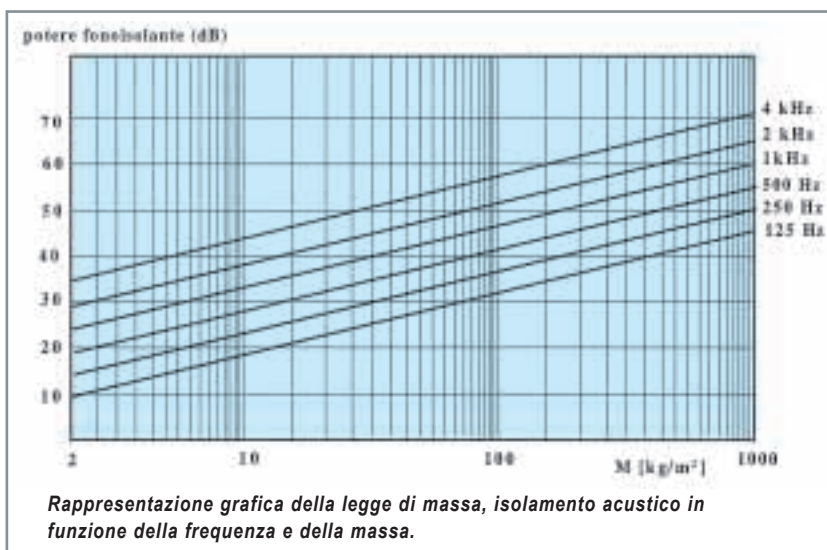
$$R = 20 \log M \cdot f - 43 \quad [\text{dB}]$$

dove:

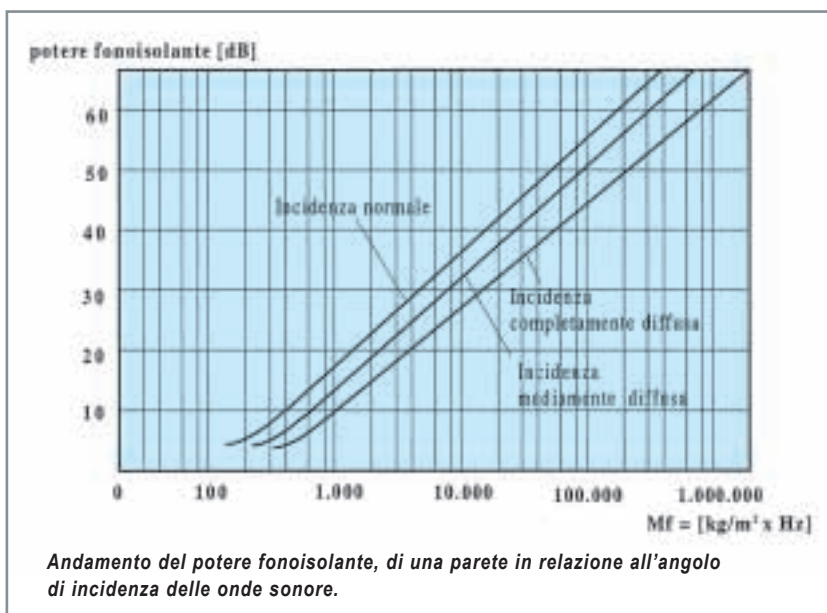
R = Potere fonoisolante

M = massa del divisorio per unità di superficie [ $\text{Kg}/\text{m}^2$ ]

f = frequenza [Hz]



La precedente relazione presuppone che la parete considerata venga raggiunta da onde fra loro parallele e normali alla parete stessa.



Nella grande maggioranza dei casi reali la situazione fisica descritta non ricorre.

La parete in questione viene raggiunta da onde sonore con angoli di incidenza variabili fino a circa 80 gradi, se provenienti da un ambiente semiriverberante, o anche da onde radenti, se provenienti da ambienti molto riverberanti.

Il potere fonoisolante della partizione varia con il variare di tali angoli di incidenza nel modo rappresentato in fig.15.

Per l'applicazione pratica del principio della legge di massa è necessario tenere conto di tre effetti che intervengono a modificare l'andamento lineare della funzione:

- **Rigidità** - La resistenza al movimento di una parete dipendente, a bassa frequenza, interamente dalla sua rigidità e di conseguenza anche il suo potere fonoisolante.

- **Risonanza** - Una parete rigida se eccitata da un impatto oscilla per un transitorio alla sua frequenza propria. Se la medesima parete viene sollecitata da onde sonore aventi una frequenza uguale a quella naturale della parete stessa, essa oscilla con un'ampiezza maggiore a quella con cui oscillerebbe se sollecitata da altre frequenze. Di conseguenza a questa frequenza, detta risonanza, si osserva un naturale scadimento del potere fonoisolante. Il fenomeno della risonanza nelle pareti divisorie è tipicamente presente alle basse frequenze, e dipende dalle modalità di messa in opera (vincoli) nonché dai materiali costituenti il divisorio.

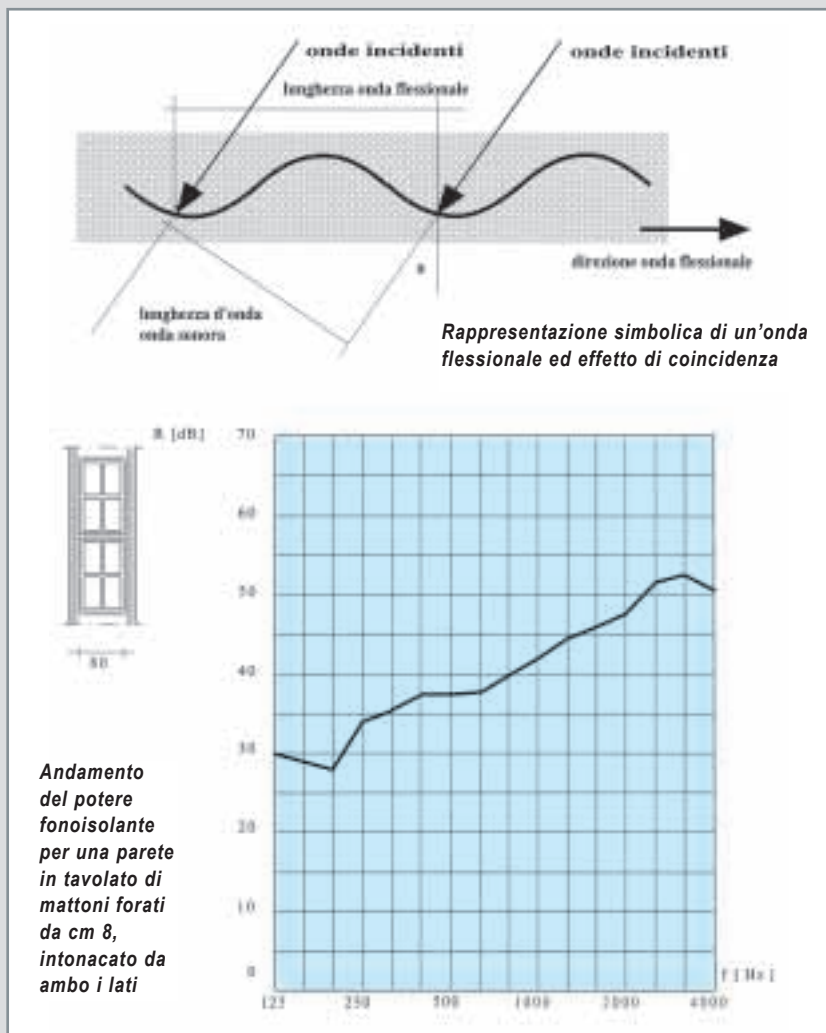
- **Coincidenza** - Un pannello che vibra perpendicolarmente alla sua superficie è percorso longitudinalmente da un'onda cosiddetta flessionale che ne deforma la geometria ad ogni istante. Ipotezzando che il pannello venga sollecitato obliquamente da un treno di onde sonore, si può facilmente osservare, come illustrato in fig.16, che la proiezione di alcune onde può coincidere con la lunghezza dell'onda flessionale. Tale fenomeno, similmente alla risonanza,

fa decadere il potere fonoisolante del divisorio alle frequenze di coincidenza, le quali sono sempre in numero maggiore di una dato che l'onda flessionale è anche essa in relazione alla frequenza di sollecitazione del pannello. Il fenomeno della coincidenza è presente alle medie e alte frequenze, attestandosi a valori diversi in funzione del tipo e spessore di materiale costituente il divisorio.

Le pareti in laterizio sono la tipologia più diffusa di divisorio all'interno di spazi abitativi: esse seguono con buona approssimazione i principi di funzionamento delle pareti semplici.

I risultati di prove sperimentali e in opera evidenziano che pareti semplici in mattone forato dello spessore di cm 8 o 12, con 15 mm di intonaco su ambo i lati e con massa compresa tra i 115 e i 150 kg/m<sup>2</sup>, hanno un indice di valutazione del potere fonoisolante  $R_w$  di circa 42-42,5 dB, con lievi variazioni in funzione della frequenza. Un elemento in grado di migliorare la prestazione acustica è costituito dall'intonaco. Questo infatti esercita una funzione sigillante sulle porosità e fessure presenti nella muratura non intonacata. Il miglioramento si riscontra soprattutto alle frequenze medio alte, oltre i 2000 Hz, mentre alle basse frequenze l'effetto è praticamente trascurabile.

L'effetto dell'intonaco si riflette quindi sul potere fonoisolante  $R_w$  che passa da 28 dB in una parete senza intonaco avente massa pari a circa 70 kg/m<sup>2</sup>, a 41 dB nella stessa parete intonacata su ambo i lati con malta di cemento ( $p=110$  kg/m<sup>2</sup>).



### Le caratteristiche acustiche delle partizioni doppie e le loro prestazioni in opera

L'impiego di strutture pesanti al fine di aumentare le capacità fonoisolanti di un tramezzo non è in realtà conveniente. Si osservi che ad un raddoppio del peso di una parete corrisponde un incremento del suo potere fonoisolante di circa 4 dB. Inoltre, come si è visto precedentemente, questo incremento è effettivo solo nella fascia delle medie frequenze, in quanto inficiato dall'effetto di risonanza alle basse frequenze e dall'effetto di coincidenza alle alte.

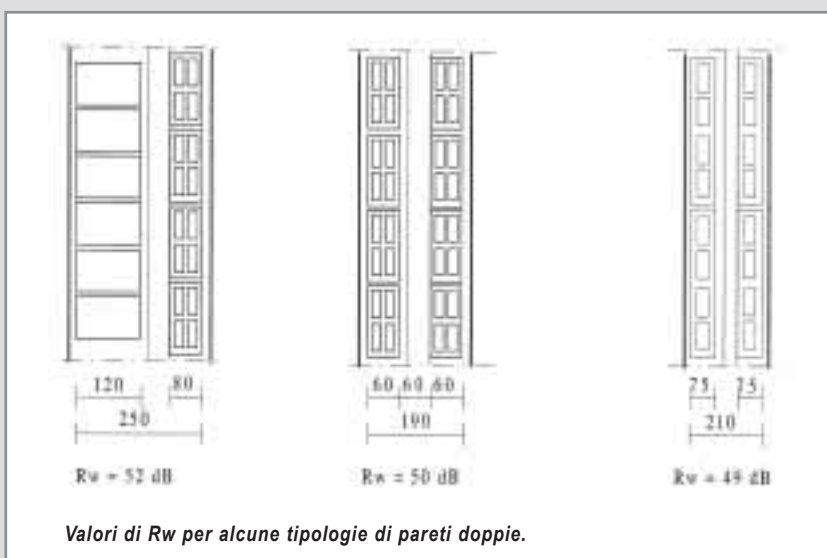
Le partizioni realizzate con doppie pareti separate fra loro da un'intercapedine costituiscono un valido sistema per aumentare il potere fonoisolante.

Intuitivamente si potrebbe pensare che il funzionamento, secondo la legge di massa, del primo parametro, si replichi esattamente per il secondo. In tal modo se un parametro ha un potere fonoisolante di 30 dB ad una certa frequenza, due parametri identici dovrebbero avere, alla stessa frequenza, un potere fonoisolante di 60 dB. Nella realtà questo fenomeno non si realizza a causa dell'impossibilità materiale di ottenere la totale separazione tra i due parametri e la completa assenza di trasmissione di onde sonore nell'intercapedine. Per ottenere tali condizioni ideali, infatti, non dovrebbero esistere basi d'appoggio od orditure portanti comuni ai due parametri, fra i quali dovrebbero esserci un'intercapedine dell'ordine di almeno 90 - 100 cm. È evidente che tali soluzioni

sono impraticabili nella comune realtà edilizia, tuttavia esistono alcuni accorgimenti che permettono il raggiungimento di buoni risultati: essi sono da ricercarsi sostanzialmente nello spessore dell'intercapedine, nell'applicazione di materiale fonoassorbente nella stessa, nella diversità di peso fra i due parametri, nei sistemi di connessione delle pareti alle strutture.

Ai fini applicativi è consigliabile, per pareti doppie, avere una frequenza di risonanza inferiore a 90 Hz, frequenza considerata limite inferiore nel campo dell'acustica degli edifici. Inoltre è bene che le frequenze critiche (di coincidenza) di ciascuno dei due elementi che costituiscono la parete siano differenti tra loro e collocate nella fascia delle alte frequenze in modo da evitare forti perdite di isolamento alla frequenza critica del tramezzo nel campo delle frequenze interessanti l'acustica architettonica (cioè fino a 4000 Hz).

Le scelte che il progettista compie, sia nel caso della progettazione di nuovi edifici che nel caso in cui si debba attuare una bonifica acustica di spazi già esistenti, devono tenere conto delle seguenti considerazioni:



•Le pareti doppie manifestano un incremento del valore di  $R_w$  quando sono realizzate con elementi di differente spessore: in tal modo infatti si separano gli effetti di risonanza e coincidenza nei due tavolati evitando repentine cadute del potere fonoisolante in una ristretta fascia di frequenze.

•Le strutture costituite da due tavolati resi solidali tra di loro e senza isolante acustico interposto si comportano sostanzialmente come pareti semplici di uguale massa superficiale.

•Inserendo nell'intercapedine materiale fibroso fonoassorbente (ad es. lana di vetro), si può ottenere un considerevole miglioramento di  $R_w$  rispetto al caso con intercapedine vuota. Ciò è dovuto al fatto che nell'intercapedine il fenomeno della riverberazione risulta in tal modo limitato.

•Per l'isolamento delle intercapedini possono essere utilizzati, oltre ai materassi e ai pannelli fibrosi, anche materiali sfusi come l'argilla espansa o vermiculite, con risultati però inferiori.

•Interponendo un giunto elastico lungo il perimetro della parete si ottiene un miglioramento di  $R_w$  dell'ordine dei 4 dB rispetto al valore calcolato con la legge di massa. Questo miglioramento è distribuito su tutti gli intervalli di frequenza e in particolare alle basse frequenze.

•Per la maggior parte delle pareti doppie pesanti, con tramezzi del peso di almeno  $150 \text{ Kg/m}^2$ , al fine di mantenere la frequenza di risonanza del sistema massa-aria-massa al di sotto dei 100 Hz, è opportuno adottare intercapedini dello spessore minimo di 4-6 cm.

•La presenza del materiale fonoassorbente, oltre che ridurre gli effetti della risonanza, ha l'effetto di ridurre la propagazione dell'energia sonora tra i pannelli della struttura. Inoltre la presenza di materiale assorbente è importante non solo per migliorare l'isolamento acustico tra due ambienti confinanti, ma anche per impedire la trasmissione tra ambienti sovrapposti attraverso la stessa intercapedine della doppia parete.

## 4.2 Soluzioni tecniche Knauf

### Partizioni verticali e orizzontali

Knauf produce componenti per la realizzazione di pareti divisorie, contropareti, rivestimenti isolanti e controsiffitti.

Utilizzando tale componentistica è possibile costruire partizioni verticali interne interamente in gesso rivestito, rivestire pareti in laterizio realizzando murature a cassa vuota con tecnologia mista (laterizio e gesso rivestito), completare strutture divisorie orizzontali con l'applicazione di controsoffitti.

Tutti gli interventi possono essere condotti con particolare riguardo alle problematiche dell'isolamento acustico, ottenendo il miglioramento del potere fonoisolante di pareti o solai già in opera o costruendo tramezzi a più parametri dotati di notevole potere fonoisolante.

### Pareti divisorie ad orditura metallica

Il concetto di parete multipla trova la sua ideale applicazione nelle pareti leggere su orditura metallica: con questa tecnologia non è più il peso superficiale della parete a determinare il potere fonoisolante, ma il funzionamento del sistema massa-aria-massa.

In pratica l'isolamento acustico non è più basato sull'inerzia (massa del divisorio) ma su un meccanismo dinamico basato sui principi della risonanza: in tal modo si ottengono, con pesi di poche decine di Kg per  $\text{m}^2$ , valori di isolamento acustico che richiederebbero, utilizzando divisori pesanti, pesi di centinaia di kg per  $\text{m}^2$ .

La parete doppia ideale dovrebbe avere i due strati componenti completamente separati fra di loro: più numerosi sono i punti di collegamento e più numerosi saranno i ponti acustici che ne mineranno l'efficienza.

Ciò premesso, l'aria contenuta nell'intercapedine si comporta come uno smorzatore (una "molla") che dissipa l'energia acustica che si propaga attraverso

la parete.

La parete si può paragonare ad un sistema meccanico composto da due masse collegate tra loro da una molla che, sottoposto ad una eccitazione con frequenza pari alla propria, entra in risonanza.

Quando un'onda sonora con la sua componente principale a bassa frequenza incide la parete, le due facce della stessa vibrano in fase e quindi essa si comporta come una parete semplice: in altre parole, quando la frequenza dell'onda sonora incidente è minore di quella di risonanza della parete, è come se la "molla" rimanesse inattiva.

Se la frequenza principale dell'onda sonora incidente è superiore alla freq. di risonanza, l'elasticità della "molla" d'aria diminuisce le vibrazioni da una massa all'altra ed il potere fonoisolante risulta sensibilmente incrementato.

La frequenza di risonanza è tanto più bassa quanto maggiore è la distanza fra gli strati o quanto minore è la rigidità dinamica dello strato isolante elastico. Lo stesso vale aumentando il peso superficiale degli strati, con il limite che tali strati devono rimanere nell'ambito delle lastre flessibili.

I massimi vantaggi di una parete leggera in gesso rivestito su orditura metallica si hanno quando la sua freq. di risonanza è la minima possibile. Ciò imporrebbe di aumentare lo spessore dell'intercapedine, ma oltre i 15 cm ciò comporta l'effetto di risonanza di cavità, con onde stazionarie che si formano ad una frequenza incidente uguale o multipla di  $f = 170/d$  ( $d$  = spessore dell'intercapedine in m).

Tale fenomeno può essere limitato o quasi annullato dalla possibilità di inserire in detta intercapedine materiale fonoassorbente: ciò consente di ridurre la caduta del potere fonoisolante sia alle frequenze critiche delle lastre che a quella di cavità.

Sul concetto di parete leggera su orditura metallica, sono state elaborate numerose possibilità di configurazione le quali, in funzione delle necessità di isolamento acustico e/o di altri parametri, variano la natura geometrica e la disposizione degli elementi compositivi.

I parametri fondamentali sui quali si opera per progettare acusticamente una parete in gesso rivestito su orditura metallica sono i seguenti:

## Spessore lastre

Spessore delle lastre di rivestimento, le quali possono essere montate in uno o più strati accoppiati.

## Spessore intercapedine

L'intercapedine può essere di profondità diverse, ottenibili mediante composizioni alternative dell'orditura metallica di sostegno.

## Coibentazione interna

La coibentazione interna può essere realizzata utilizzando materassini di lana minerale con spessori e densità differenti posti nell'intercapedine fra le lastre di gesso rivestito.

Come si è visto precedentemente, il potere fonoisolante di una parete doppia o multistrato è fortemente condizionato dal fenomeno di risonanza alle basse frequenze e dal fenomeno di coincidenza alle alte frequenze.

Nelle pareti a doppio strato il fenomeno della risonanza deve essere considerato per i tre strati che compongono la parete stessa, ovvero: massa, aria contenuta nella cavità, massa. Inoltre è necessario considerare la risonanza della massa d'aria contenuta nell'intercapedine, detta risonanza di cavità.

Le formule, di carattere generale, che esprimono le frequenze di risonanza sono le seguenti:

$$fr = \frac{c}{2\pi \cos\phi} \cdot \sqrt{\frac{mv}{d}} \cdot \left( \frac{1}{W_{p1}} + \frac{1}{W_{p2}} \right); \quad fs = n \cdot \frac{c}{2d \cos\phi}$$

dove:

$fr$  = frequenza di risonanza massa-aria-massa

$fs$  = frequenza di risonanza di cavità

$fc$  = frequenza critica

$W_{p1}, W_{p2}$  = massa per unità di superficie dei singoli pannelli ( $\text{Kg/m}^2$ )

$d$  = profondità dell'intercapedine (m)

$\phi$  = angolo di incidenza dell'onda sonora (rad)

$c$  = velocità di propagazione del suono nell'aria (m/s)

$mv$  = massa volumica dell'aria

$n$  = numero intero

L'effetto di coincidenza nelle pareti dipende essenzialmente dalla frequenza critica del pannello considerato e può essere calcolato con la seguente espressione (UNI 7170):

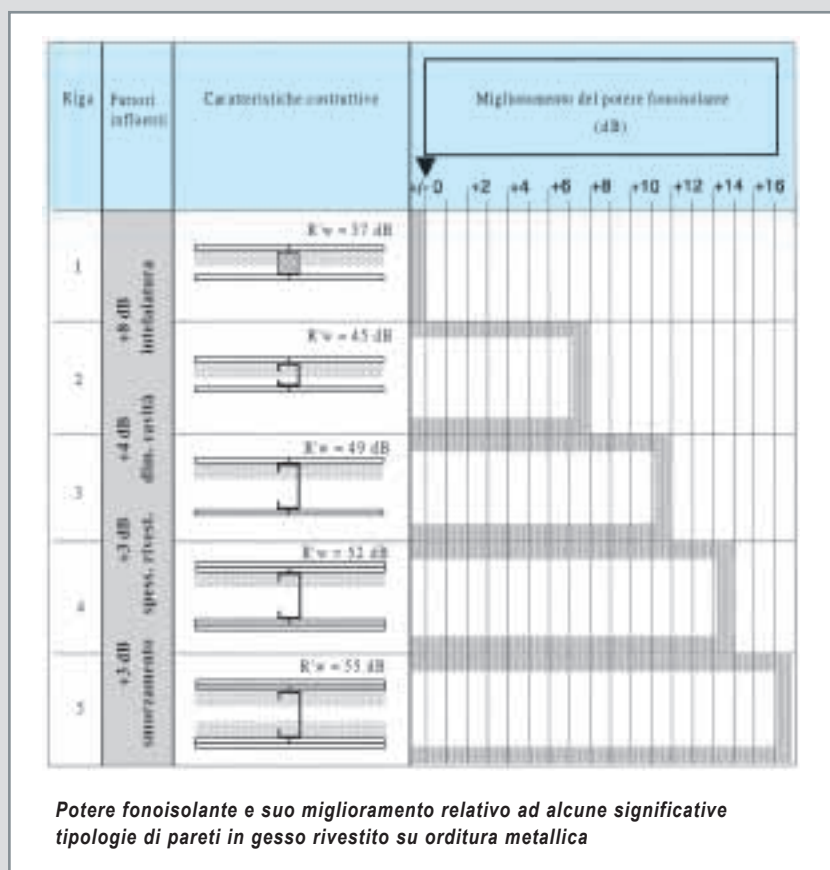
$$fc = \frac{c^2}{1,8h} \cdot \sqrt{\frac{\delta}{E}}$$

dove:

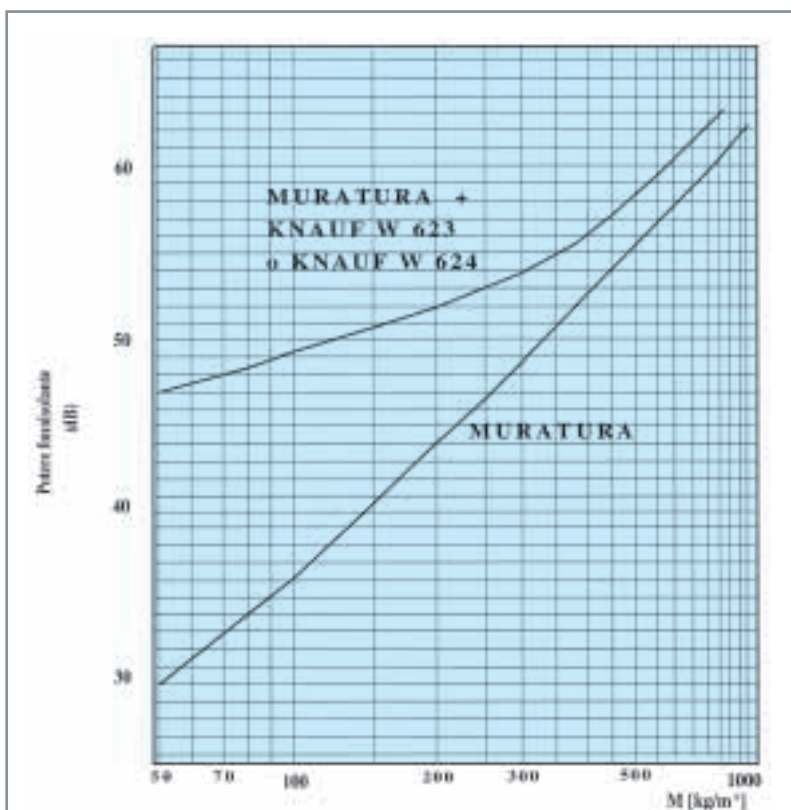
$h$  = spessore del pannello

$E$  = modulo elastico

$\delta$  = densità del pannello



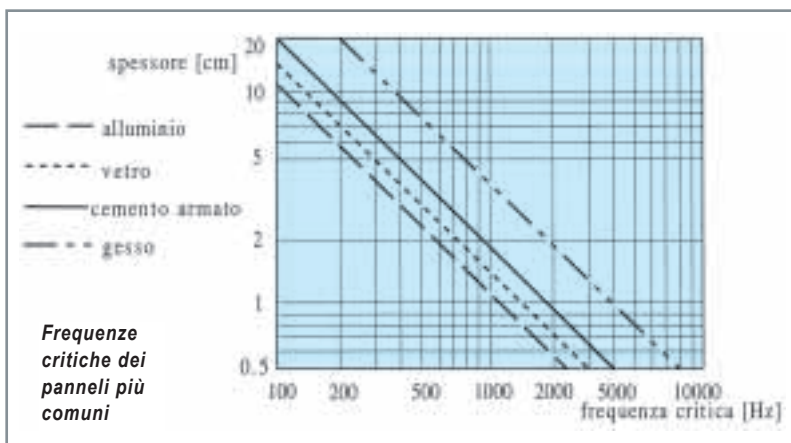




*Miglioramento del potere fonoisolante di pareti massicce con l'applicazione di contropareti o rivestimenti isolanti.*

Come si vede  $f_c$  dipende esclusivamente dal tipo e dallo spessore del materiale, e nelle pareti a doppio strato in gesso rivestito la caduta di isolamento per effetto della coincidenza può essere molto limitata utilizzando lastre con spessore diverso.

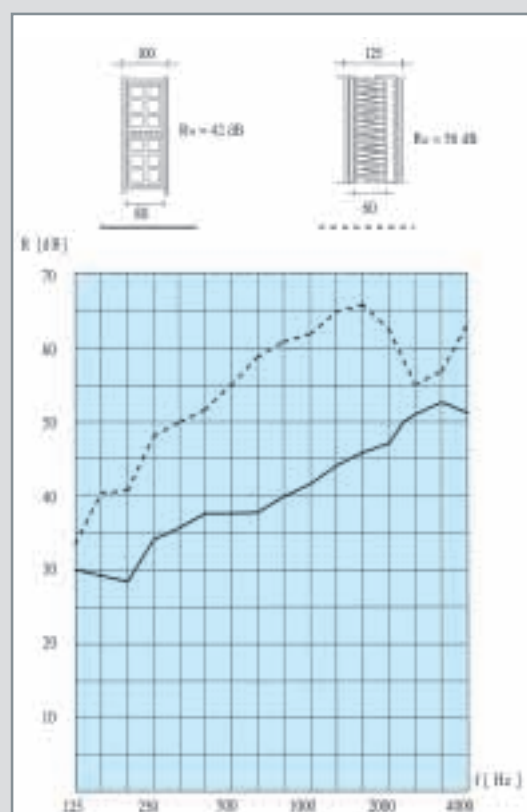
Sono inoltre da evitare lastre di grosso spessore: meglio due lastre da 12,5 mm accoppiate di una unica lastra da 25 mm. Ciò perché, in primo luogo la frequenza critica di tutti i materiali è inversamente proporzionale al loro spessore, e dunque grossi spessori portano la caduta del potere fonoisolante per effetto di coincidenza su frequenze pericolose in campo architettonico (2000-4000 Hz); secondariamente, quando le due lastre entrano in risonanza esse possono, contrariamente alla lastra unica, vibrare in controfase e dunque limitare la caduta del potere fonoisolante.



*Frequenze critiche dei pannelli più comuni*



*Perdita di trasmissione sonora (potere fonoisolante) in funzione della massa e effetto di coincidenza*



*Potere fonoisolante di un tramezzo leggero confrontato con quello di un muro tradizionale*

### 4.3 Rumore aereo: metodi di calcolo

La verifica dell'isolamento dai rumori aerei tra differenti unità abitative necessita di stimare l'indice di potere fonoisolante ( $R_w$ ) della partizione in esame ed anche il contributo peggiorativo dovuto alla trasmissione dei rumori attraverso le partizioni laterali collegate.

I limiti minimi di isolamento acustico per partizioni orizzontali e verticali, divisorie tra differenti unità immobiliari, in Italia sono definiti nel DPCM 5-12-1997 (cfr paragrafo Legislazione Nazionale)

Calcolo dell'indice di potere fonoisolante  $R_w$

La determinazione di  $R_w$  di una determinata partizione può essere effettuata basandosi su (in ordine di attendibilità):

- prove di laboratorio
- prove di laboratorio effettuate su partizioni simili a quelle in esame
- algoritmi matematici

Come prove di laboratorio devono essere utilizzate misurazioni conformi alla normativa europea di più recente approvazione.

Per quanto riguarda gli algoritmi matematici, i metodi di calcolo che analizzano le prestazioni acustiche delle partizioni in funzione della frequenza ad oggi presentano ancora una scarsa affidabilità, in particolare in merito al calcolo di pareti realizzate in laterizi. Questo fatto è da attribuirsi alla forte discrepanza tra la raffinatezza dei metodi di calcolo proposti e l'effettiva realizzazione in cantiere delle partizioni esaminate.

In genere si preferisce pertanto stimare l'indice  $R_w$  basandosi semplicemente sulla massa frontale della struttura ( $m'$ ) [ $\text{Kg}/\text{m}^2$ ] (definita come prodotto tra densità e spessore dell'elemento), ed eventualmente su pochi altri parametri.

Per il calcolo di  $R_w$  a partire dalla massa per unità di superficie della partizione esistono molte formule sviluppate da differenti laboratori, di seguito ne vengono elencate alcune.

Per ogni formula vengono indicati il paese di provenienza e i limiti di validità.

Relazioni matematiche proposte da rapporto tecnico UNI TR 11175

Laboratori italiani:  $R_w = 20 \log (m') - 2$

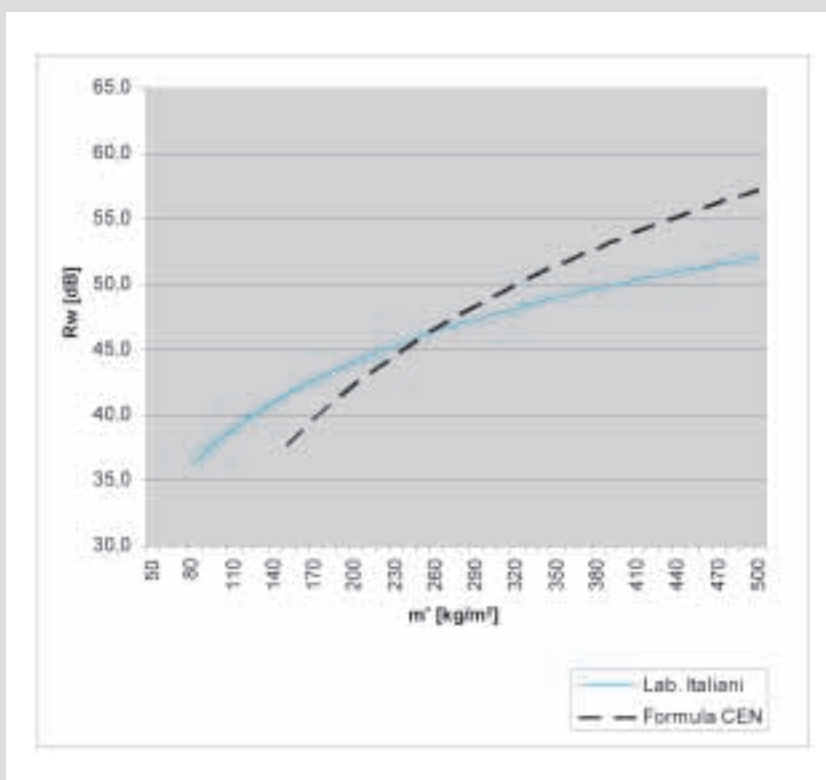
La formula è valida per partizioni orizzontali e verticali (singole o doppie) con  $m' > 80 \text{ kg}/\text{m}^2$ . Nel caso di pareti doppie l'intercapedine deve essere priva di riempimento e di spessore uguale o minore di 5 cm.

Formula CEN:  $R_w = 37,5 \log (m') - 44$

La formula è valida per strutture di base monolitiche con  $m' > 150 \text{ kg}/\text{m}^2$ .

Si segnala il fatto che il rapporto tecnico non riporta alcuna formula per il calcolo di partizioni realizzate in lastre di gesso rivestito.

Il grafico che segue mette a confronto le due formule



Altre relazioni matematiche

Pareti in lastre di gesso rivestito

Germania –

Valida per partizioni realizzate con struttura singola:

$$R_w = 20 \log (m^2) + 10 \log (d) + e + 5$$

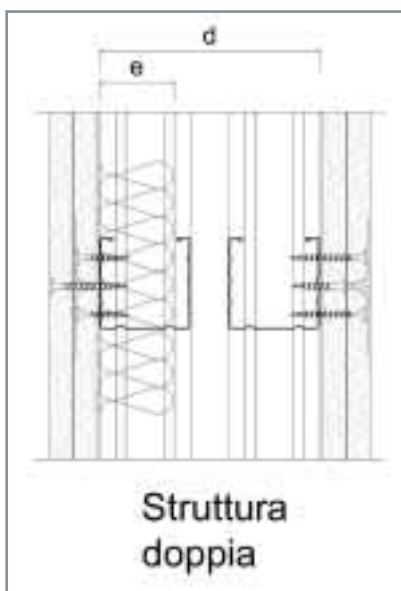
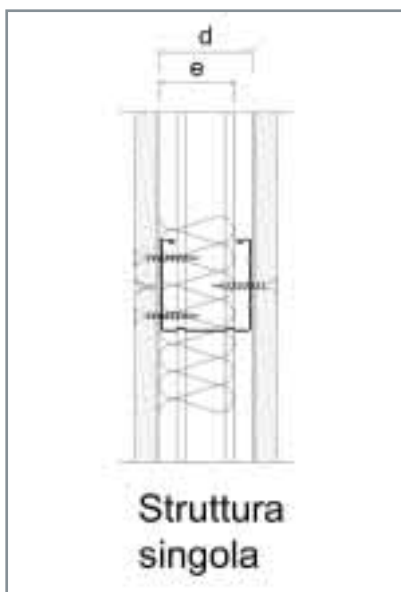
Valida per partizioni realizzate con struttura doppia:

$$R_w = 20 \log (m^2) + 10 \log (d) + e + 10$$

Dove:

**d** profondità dell'intercapedine in cm

**e** spessore del pannello in fibra minerale in cm



**Pareti pesanti:**

Germania (valida per partizioni con  $m' > 150 \text{ kg/m}^2$ ):  $R_w = 32,1 \log (m') - 28,5$

Austria (valida per partizioni con  $m' > 150 \text{ kg/m}^2$ ):  $R_w = 32,4 \log (m') - 26$

Francia (valida per partizioni con  $m' > 150 \text{ kg/m}^2$ ):  $R_w = 40 \log (m') - 45$

Francia (valida per partizioni con  $m' < 150 \text{ kg/m}^2$ ):  $R_w = 13,3 \log (m') + 12$

Gran Bretagna (valida per partizioni con  $m' > 100 \text{ kg/m}^2$ ):  $R_w = 21,6 \log (m') - 2,3$

Italia - pareti in laterizio alleggerito (valida per partizioni con  $m' > 100 \text{ kg/m}^2$ ):

$$R_w = 16,9 \log (m') + 3,6$$

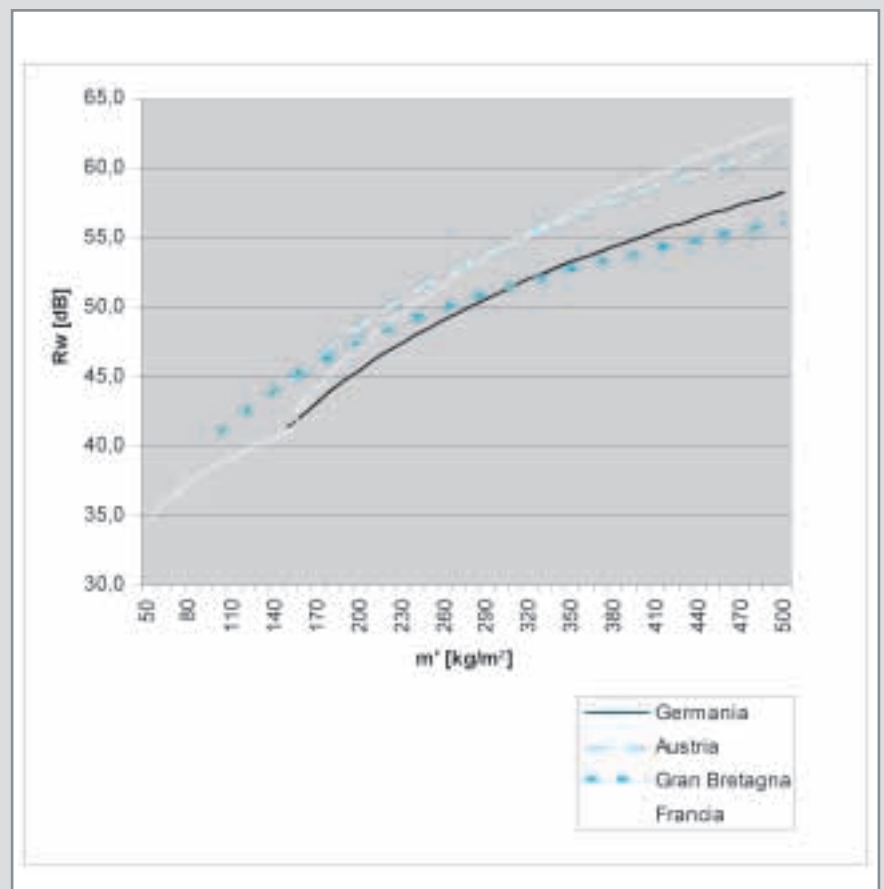
Italia - pareti in laterizio (valida per partizioni con  $80 < m' < 400 \text{ kg/m}^2$ ):

$$R_w = 16 \log (m') + 7$$

Italia - pareti in blocchi di arg. esp. (valida per partizioni con  $115 < m' < 400 \text{ kg/m}^2$ ):

$$R_w = 26 \log (m') - 11$$

Il grafico che segue mette a confronto le varie formule



**Pareti doppie:**

Italia - pareti in laterizio, interc. > 5 cm con materiale fibroso

(valida per partizioni con  $80 < m' < 400 \text{ kg/m}^2$ ):  $R_w = 16 \log (m') + 10$

Italia - pareti in blocchi di argilla espansa, interc. senza materiale fibroso

(valida per partizioni con  $115 < m' < 400 \text{ kg/m}^2$ ):  $R_w = 26 \log (m') - 11$

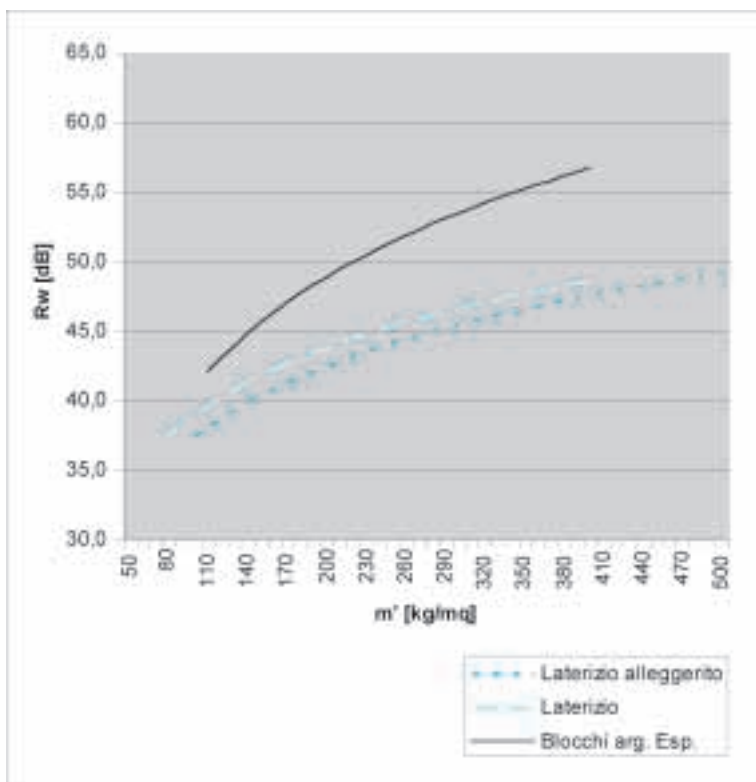


Italia – fonti bibliografiche

$$R_w = 20 \log (m'd) - 10$$

dove d lo spessore dell'intercapedine d'aria in cm.

Il grafico che segue mette a confronto le varie formule



## Solai

Italia – solai in laterocemento (valida per solai con  $250 < m' < 500 \text{ kg/m}^2$ ):

$$R_w = 23 \log (m') - 8$$

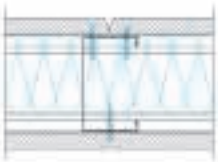
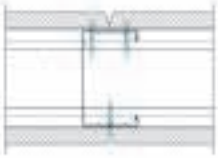
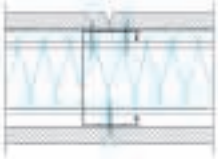
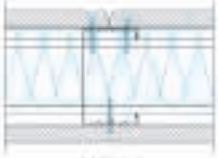


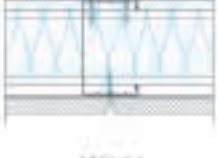
Tutte le formule proposte forniscono, in certi casi, dati sensibilmente diversi tra loro. Si consiglia pertanto di utilizzare i risultati dei calcoli con la dovuta cautela.

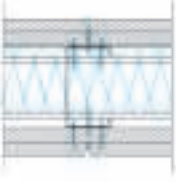
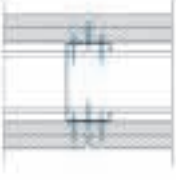
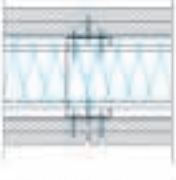
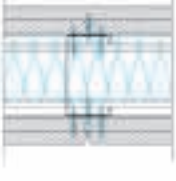
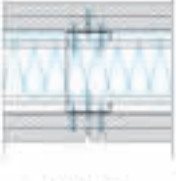
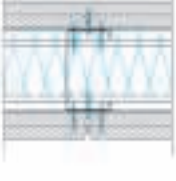
## Certificati di laboratorio

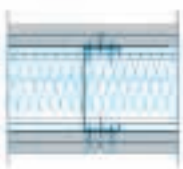
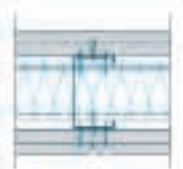
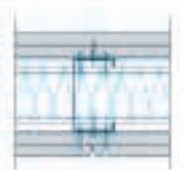
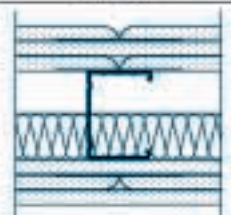
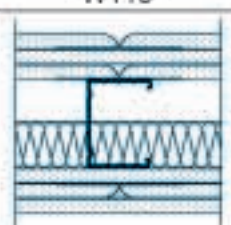
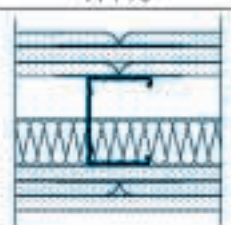
Come segnalato nel paragrafo "Calcolo dell'indice di potere fonoisolante  $R_w$ ", il parametro più attendibile per determinare l'indice  $R_w$  di una partizione sono le prove di laboratorio realizzate da laboratori qualificati secondo la normativa di più recente approvazione.

Di seguito si riportano i risultati delle prove di laboratorio effettuate da Knauf su partizioni divisorie. Si ricorda che tali valori sono da riferirsi alle sole partizioni testate (indice di potere fonoisolante di laboratorio  $R_w$ ). L'effettiva prestazione in opera (indice di potere fonoisolante in opera  $R'_w$ ) andrà stimata considerando le prestazioni acustiche delle strutture al contorno collegate.


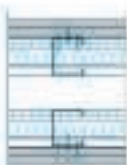
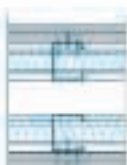
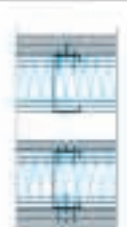
Nelle pagine seguenti l'elenco delle certificazioni acustiche

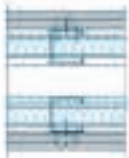
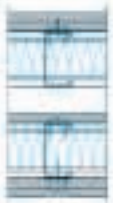
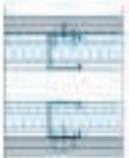

TIPOLOGIA DI PARETE	SPESSORE mm	PESO Kg/m <sup>2</sup>	DESCRIZIONE	Potere Fonoisolante Rw dB	Certificato n° Istituto
 W111	75	25	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orditura metallica 50x50 mm</li> <li>- Rivestimento 1+1 lastra A 13 (GKB sp. 12.5 mm)</li> <li>- Lana minerale spess.40 mm</li> </ul>	45.0	81991 UNIVERSITÄT BRAUNSCHW EIG
 W111	100	24	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orditura metallica 75x50 mm</li> <li>- Rivestimento 1+1 lastra A 13 (GKB sp. 12.5 mm)</li> </ul>	37.8	21546 GALILEO FERRARIS
 W111	100	24	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orditura metallica 75x50 mm</li> <li>- Rivestimento 1+1 lastra A 13 (GKB sp. 12.5 mm)</li> <li>- Lana di roccia spess.60 mm densità 40 Kg/m<sup>3</sup></li> </ul>	46	186652 ISTITUTO GIORDANO
 W111	75	25	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orditura metallica 75x50 mm</li> <li>- Rivestimento 1+1 lastra A 13 (GKB sp. 12.5 mm)</li> <li>- Lana di roccia spess.60 mm densità 70 Kg/m<sup>3</sup></li> </ul>	47	186651 ISTITUTO GIORDANO
 W111	125		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orditura metallica 75x50 mm</li> <li>- Rivestimento 1+1 lastra A 13 (GKB sp. 12.5 mm)</li> <li>- Lana minerale spess.40 mm</li> </ul>	49.0	512/78-1 BAUPHYSIK STUTTGART
 W111	125	35	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orditura metallica 100x50 mm</li> <li>- Rivestimento 1+1 lastra A 13 (GKB sp. 12.5 mm)</li> <li>- Lana di minerale spess.60 mm</li> </ul>	52.0	567/79-8 BAUPHYSIK STUTTGART
 W111	125		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orditura metallica 100x50 mm</li> <li>- Rivestimento 1+1 lastra A 13 (GKB sp. 12.5 mm)</li> <li>- Lana minerale spess.80 mm</li> </ul>	54.0	512/78-2 BAUPHYSIK STUTTGART

TIPOLOGIA DI PARETE	SPESSORE mm	PESO Kg/m <sup>2</sup>	DESCRIZIONE	Potere Fonoisolante Rw dB	Certificato n° Istituto
 W112	100	43	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orditura metallica 50x50 mm</li> <li>- Rivestimento 2+2 lastra A 13 (GKB sp. 12.5 mm)</li> <li>- Lana di roccia spess.40 mm densità 70 Kg/m<sup>2</sup></li> </ul>	54	186654 ISTITUTO GIORDANO
 W112	125	46	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orditura metallica 75x50 mm</li> <li>- Rivestimento 2+2 lastra A 13 (GKB sp. 12.5 mm)</li> </ul>	47.3	21546/1 GALILEO FERRARIS
 W112	125	43	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orditura metallica 75x50 mm</li> <li>- Rivestimento 2+2 lastra A 13 (GKB sp. 12.5 mm)</li> <li>- Lana di roccia spess.60 mm densità 40 Kg/m<sup>2</sup></li> </ul>	54	186656 ISTITUTO GIORDANO
 W112	125	44	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orditura metallica 75x50 mm</li> <li>- Rivestimento 2+2 lastra A 13 (GKB sp. 12.5 mm)</li> <li>- Lana di roccia spess.60 mm densità 70 Kg/m<sup>2</sup></li> </ul>	55	186653 ISTITUTO GIORDANO
 W112	125	48.4	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orditura metallica 75x50 mm</li> <li>- Rivestimento 2+2 lastra A 13 (GKB sp. 12.5 mm)</li> <li>- Lana minerale spess.60 mm</li> </ul>	56*	21546/9 GALILEO FERRARIS
 W112	150	49	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orditura metallica 100x50 mm</li> <li>- Rivestimento 2+2 lastra A 13 (GKB sp. 12.5 mm)</li> <li>- Lana minerale spess.40 mm</li> </ul>	52	811417 UNIVERSITÄT BRAUNSCHW EIG

TIPOLOGIA DI PARETE	SPESSORE mm	PESO Kg/m <sup>2</sup>	DESCRIZIONE	Potere Fonoisolante Rw dB	Certificato n° Istituto
 W112	150	44	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orditura metallica 100x50 mm</li> <li>- Rivestimento 2+2 lastra A 13 (GKB sp. 12.5 mm)</li> <li>- Doppio strato lana di roccia spess.40 mm densità 40 Kg/m<sup>2</sup></li> </ul>	56	186655 ISTITUTO GIORDANO
 W112	105	69	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orditura metallica 50x50 mm</li> <li>- Rivestimento 2+2 lastra A13 e A15(GKB sp. 12.5 e 15 mm)</li> <li>- Lana minerale spess.40 mm</li> </ul>	56	567/79-2 BAUPHISIK STUTTART
 W112	155	71	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orditura metallica 100x50 mm</li> <li>- Rivestimento 2+2 lastra A13 e A15 (GKB sp. 12.5 e 15 mm)</li> <li>- Lana minerale spess.60 mm</li> </ul>	60	567/79-9 BAUPHISIK STUTTART
 W113	125	93	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orditura metallica 50x50 mm</li> <li>- Rivestimento 3+3 lastra A 13 (GKB sp. 12.5 mm)</li> <li>- Lana minerale spess.40 mm</li> </ul>	58	567/79-1 BAUPHISIK STUTTART
 W113	175	95	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orditura metallica 100x50 mm</li> <li>- Rivestimento 3+3 lastra A 13 (GKB sp. 12.5 mm)</li> <li>- Lana minerale spess.60 mm</li> </ul>	61	567/79-8 BAUPHISIK STUTTART
 W113	175	96	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orditura metallica 100x50 mm</li> <li>- Rivestimento 3+3 lastra A 13 (GKB sp. 12.5 mm)</li> <li>- Lana minerale spess.80 mm</li> </ul>	64	567/79-12 BAUPHISIK STUTTART



TIPOLOGIA DI PARETE	SPESSORE mm	PESO Kg/m <sup>2</sup>	DESCRIZIONE	Potere Fonoisolante Rw dB	Certificato n° Istituto
 W115	200	49	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orditura metallica 50+50mm</li> <li>- Rivestimento 2+2 lastre A (GKB sp. 12.5 mm)</li> <li>- Lana minerale spess.40 mm</li> </ul>	53	21546/4 GALILEO FERRARIS
 W115	155	50	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orditura metallica 50+50mm</li> <li>- Rivestimento 2+2 lastre A (GKB sp. 12.5 mm)</li> <li>- Lana minerale spess.40 mm</li> </ul>	55	82560-2 UNIVERSITÄT BRAUNSCHW EIG
 W115	200	45	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orditura metallica 50+50 mm</li> <li>- Rivestimento 2+2 lastre A13 (GKB sp. 12.5 mm)</li> <li>- Doppio strato lana di roccia spess.40 mm densità 40 Kg/m<sup>2</sup></li> </ul>	61	186659 ISTITUTO GIORDANO
 W115	150		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orditura metallica 50+ 50mm</li> <li>- Rivestimento 2+2 lastre A13 (GKB sp. 12.5 mm)</li> <li>- Lana minerale spess.40 mm</li> </ul>	63	512/78-5 BAUPHYSIK STUTTGART
 W115	150		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orditura metallica 50+50mm</li> <li>- Rivestimento 2+2 lastre A13 (GKB sp. 12.5 mm)</li> <li>- Lana minerale spess.80 mm</li> </ul>	65	512/78-5 BAUPHYSIK STUTTGART
 W115 +1	250	60	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orditura metallica 75+75 mm</li> <li>- Rivestimento 2+2 lastre A13 (GKB sp. 12.5 mm) + 1 A13 (GKB sp. 12.5 mm)</li> <li>- Doppio strato lana di roccia spess.60 mm densità 70 Kg/m<sup>2</sup></li> </ul>	63	186657 ISTITUTO GIORDANO

TIPOLOGIA DI PARETE	SPESSORE mm	PESO Kg/m <sup>2</sup>	DESCRIZIONE	Potere Fonoisolante Rw dB	Certificato n° Istituto
 <b>W115</b> Con fori impianti	262.5	72	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orditura metallica 75+75 mm</li> <li>- Rivestimento 2+2 lastre A13 (GKB sp. 12.5 mm)</li> <li>- Doppio strato lana minerale 50+ 50 mm</li> </ul>	66	MA39-F420/81 VERSUCH UND FORSCHUNGSANSTALT DER STADT WIEN MA39
 <b>W115 +1</b> Con scatole elettriche	250	60	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orditura metallica 75+75 mm</li> <li>- Rivestimento 2+2 lastre A13 (GKB sp. 12.5) + 1 A 13 (GKB sp. 12.5 mm)</li> <li>- Doppio strato lana di roccia spess.60 mm densità 70 Kg/m<sup>2</sup></li> </ul>	62	186658 ISTITUTO GIORDANO
 <b>W115</b> Con fori impianti	212.5	72	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orditura metallica 75+75 mm</li> <li>- Rivestimento 2+2 lastre A13 (GKB sp. 12.5 mm)</li> <li>- Doppio strato lana minerale 50+ 50 mm</li> </ul>	62	MA39-F524/81 VERSUCH UND FORSCHUNGSANSTALT DER STADT WIEN MA39
 <b>W387</b>	257	82	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Parete divisoria Knauf W387</li> <li>- 1xAquapanel 12.5 + 1x A13 (GKB 12.5 mm) per lato + 1 A13 (GKB 12.5 mm)</li> <li>- lana minerale spess. 60 mm densità 70 Kg/m<sup>2</sup></li> </ul>	64	203850 ISTITUTO GIORDANO

Nota per la lettura dei dati.

- 1) I valori di Potere Fonoisolante si esprimono in:
  - a – R'w/dB in presenza di trasmissione laterale di laboratorio.
  - b – Rw/dB in assenza di trasmissione laterale.
  - c – R rose/dB secondo la normativa francese
- 2) I valori R rose ed i valori dei certificati italiani sono comparabili ai valori R'w/dB
- 3) Per la valutazione del Fonoisolamento si deve tener conto della trasmissione laterale reale, del tipo di posa, dei fori per impianti, delle porte, ed eventuali altri fattori; pertanto si consiglia di operare una riduzione di circa il 15% sui valori dei Certificati.

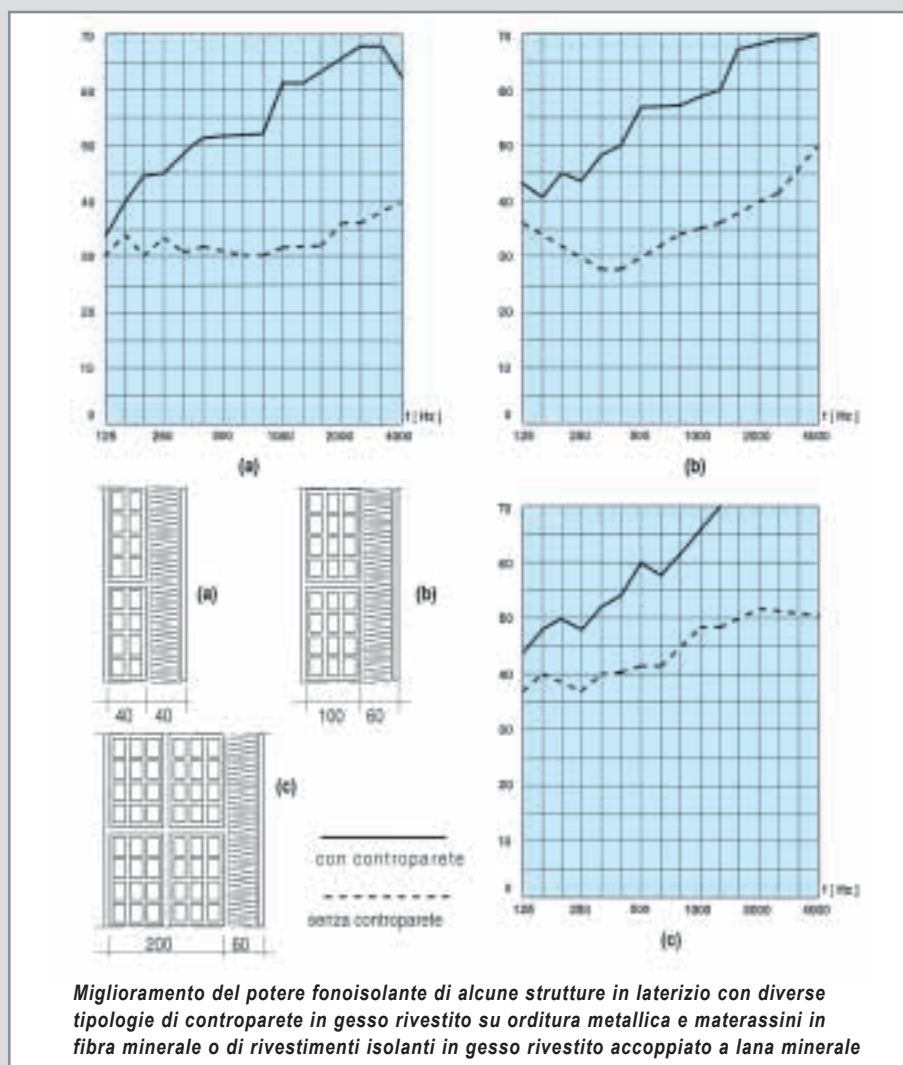
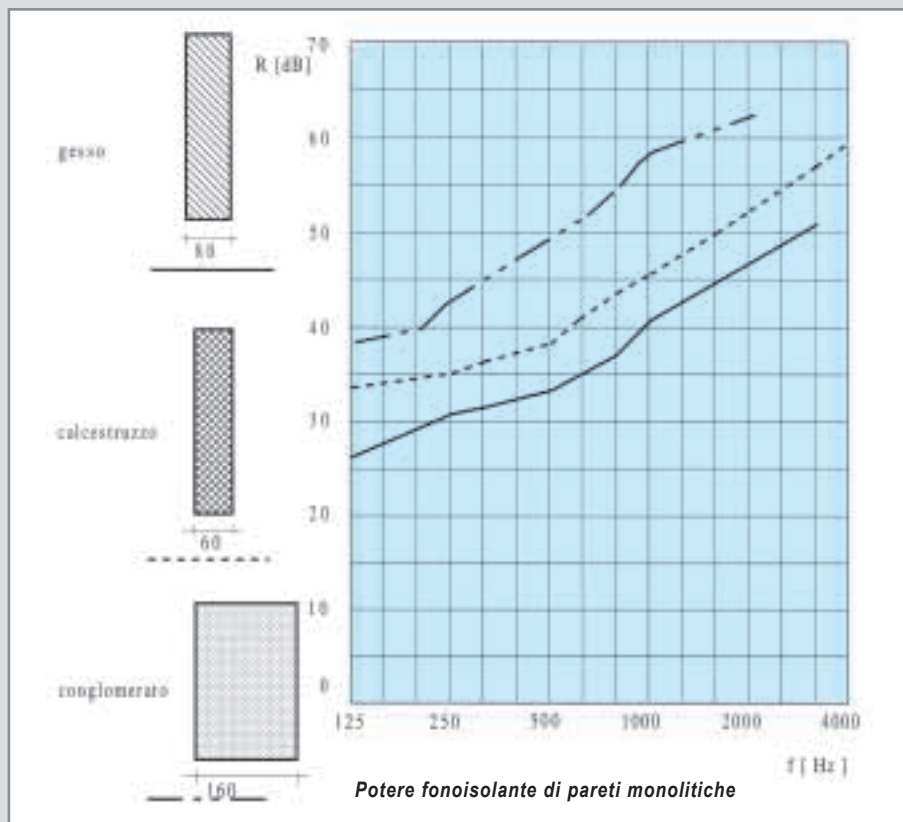
## Contropareti ad orditura metallica e rivestimenti isolanti

Il rivestimento di pareti in muratura con lastre di gesso rivestito e interposizione di pannelli fonoassorbenti in fibra minerale consente di migliorare sensibilmente il potere fonoisolante del tramezzo.

Le contropareti ad orditura metallica Knauf sono state ideate per costituire il secondo paramento di una partizione verticale a due strati il cui primo paramento sia già esistente o, per necessità strutturali, debba essere necessariamente in laterizio o in calcestruzzo (pareti perimetrali).

Il miglioramento del potere fonoisolante che comporta questo tipo di intervento è legato alla massa della lastra o dell'insieme di lastre di gesso impiegate, allo spessore dell'intercapedine e al tipo di materiale fonoassorbente presente nell'intercapedine.

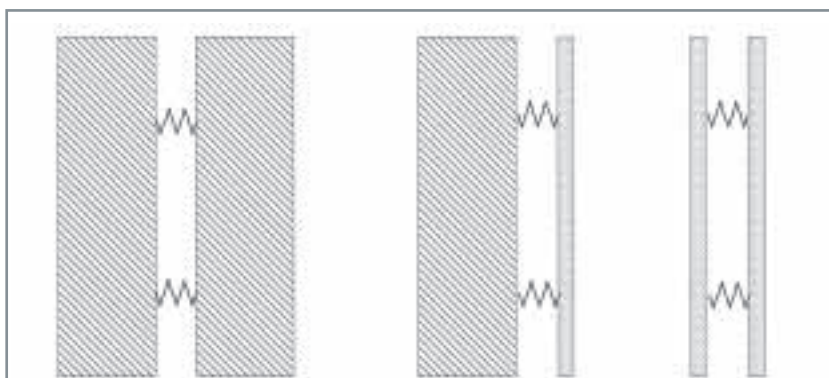
Il funzionamento ottimale dal punto di vista acustico si ottiene limitando al minimo indispensabile le connessioni rigide fra parete e controparete, in modo da evitare i ponti acustici: la completa separazione fra i due parametri rappresenta la soluzione ideale.



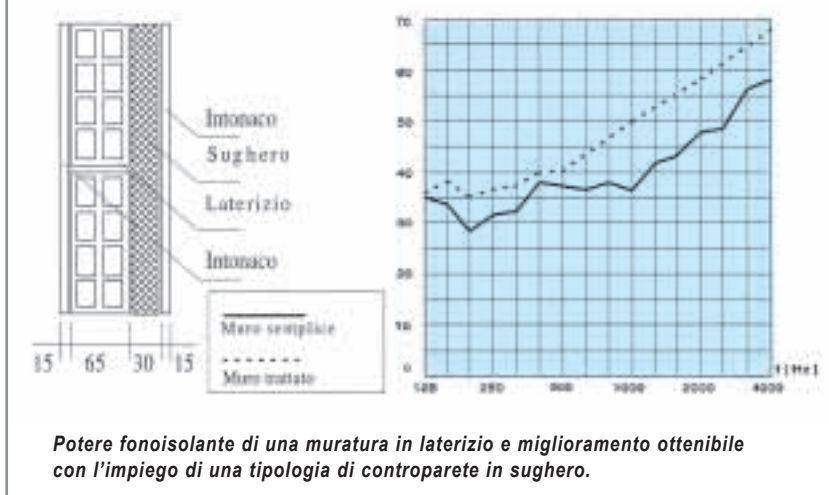


L'incremento del potere fonoisolante è più elevato (fino a +20 dB) quando la controparete è applicata a pareti in muratura leggera (muratura di mattoni pieni a due o più teste, blocchi di cls, muratura in c.a. ...).

In generale possiamo dire che, per ottenere significativi incrementi del potere fonoisolante di pareti pesanti (che hanno già, grazie alla loro massa, un R elevato), è necessario applicare forti spessori di fibra di vetro e, ove possibile, doppiare la controparete su entrambi i lati: in questo modo si sommano gli incrementi dati dai due rivestimenti.



*Principi di funzionamento delle pareti e contropareti leggere in cartongesso.*



*Potere fonoisolante di una muratura in laterizio e miglioramento ottenibile con l'impiego di una tipologia di controparete in sughero.*

I rivestimenti isolanti in gesso rivestito accoppiato a lana minerale sono la risposta Knauf alla necessità di creare finiture isolanti a partizioni verticali in muratura sia esterne che interne. Il potere fonoisolante che si raggiunge è connesso essenzialmente allo spessore del pannello in lana minerale applicato alla lastra in gesso rivestito ed allo spessore della lastra stessa.

Analogamente al caso delle contropareti, una corretta messa in opera, che escluda o riduca al minimo i ponti acustici, è fondamentale.

Le isolastre Knauf con fibra minerale possono essere impiegate come rivestimento di murature perimetrali o interne in sostituzione o a completamento del tradizionale intonaco. Nelle pagina seguente l'elenco delle certificazioni acustiche

### Controsoffitti ad orditura metallica

#### Il solaio che funziona come una parete semplice

Un solaio di tipo massiccio funziona dal punto di vista acustico in maniera analoga ad un divisorio di tipo monolitico: la massa del solaio incide moltissimo nell'attenuazione delle onde sonore, e le sue vibrazioni saranno tanto più attutite quanto maggiore sarà il suo peso superficiale.

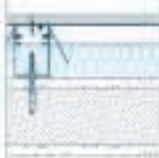



Seguendo la legge di massa, possiamo dire che l'inerzia del solaio riduce l'energia sonora trasmessa, e che l'isolamento acustico varia proporzionalmente al logaritmo della massa del solaio.

In realtà tale legge non è assoluta ma puramente indicativa, essendo necessario per avere una valutazione esatta dell'isolamento acustico considerare gli effetti secondari dovuti ai difetti di tenuta, alle discontinuità strutturali, ai percorsi secondari costituiti da canali e cavedi: insomma tutti i fenomeni che, unitamente ai fenomeni di risonanza e coincidenza, rendono la legge di massa valida con buona approssimazione per un numero limitato di casi e per una ristretta banda di frequenze.

#### Il solaio che funziona come una parete doppia

Quando applichiamo ad un solaio un controsoffitto in gesso rivestito, creiamo un divisorio doppio: ciò equivale a separare la partizione orizzontale in due elementi divisi da una lama d'aria.

Tale lama d'aria, compresa tra il solaio e il controsoffitto, assicura tra essi un legame elastico simile ad una molla. Le controsoffittature in gesso

TIPOLOGIA DI PARETE	SPESSORE mm	DESCRIZIONE	Potere Fonoisolante Rw dB	Certificato n° Istituto
	194.5	<ul style="list-style-type: none"> <li>Controparete W623 con lastra A13 (GKB 12.5 mm) solo su un lato, su tramezzo da 8 cm intonacato</li> <li>lana minerale spess. 40 mm densità 40 Kg/m<sup>3</sup></li> </ul>	56	208452 ISTITUTO GIORDANO
	279	<ul style="list-style-type: none"> <li>Controparete W623, struttura bifacciale con lastra A13 (GKB 12.5 mm) per lato su tramezzo da 8 cm intonacato</li> <li>Doppio strato di lana minerale spess. 40 mm densità 40 Kg/m<sup>3</sup></li> </ul>	60	208453 ISTITUTO GIORDANO
	177.5	<ul style="list-style-type: none"> <li>Controparete W625 con lastra A13 (GKB 12.5 mm) solo su un lato, su tramezzo da 8 cm intonacato</li> <li>Lana minerale spess. 40 mm densità 40 Kg/m<sup>3</sup></li> </ul>	58	208454 ISTITUTO GIORDANO
	255	<ul style="list-style-type: none"> <li>Controparete W625 struttura bifacciale con una lastra VIDIWALL spess. 12.5 mm per lato, su tramezzo da 12 cm non intonacato</li> <li>Doppio strato di lana minerale spess. 40 mm densità 40 Kg/m<sup>3</sup></li> </ul>	64	208451 ISTITUTO GIORDANO

rivestito su orditura metallica possono essere impiegate per migliorare le prestazioni acustiche delle partizioni orizzontali.

I principi di funzionamento di questo componente sono analoghi a quelli relativi alle contropareti. In particolare, analogamente al caso delle contropareti, una installazione efficace dal punto di vista acustico dovrebbe limitare al minimo indispensabile le trasmissioni per via solida fra controsoffitto e solaio e fra controsoffitto e pareti laterali (ponti acustici).

La presenza di un pannello fibroso fonoassorbente (lana minerale) fra il controsoffitto e il solaio è fondamentale, in quanto impedisce la messa in fase di risonanza dei due strati quando essi vibrano con la stessa frequenza ed inoltre limita il funzionamento come cassa di risonanza della cavità (fenomeni di eco fluttuante, soprattutto per elevate distanze di sospensione).

## Contropareti e controsoffitti: metodo di calcolo

L'incremento di potere fonoisolante DRw può essere ricavato da prove di laboratorio oppure si calcola in funzione della frequenza di risonanza (fo) del sistema "struttura di base-rivestimento".

Per strati aggiuntivi non direttamente collegati alla struttura di base, realizzati con montanti e correnti e con la cavità riempita con materiale poroso avente resistenza al flusso dell'aria > 5 kPas/m<sup>2</sup> (ad es contropareti o

controsoffitti in gesso rivestito con fibra minerale nell'intercapedine) la frequenza di risonanza può essere calcolata con la formula seguente:

$$f_0 = 160 \sqrt{\frac{0,111}{d} \left( \frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)}$$

dove:

$d$  è lo spessore della cavità [m]  
(distanza tra parete esistente e gesso rivestito)

$m'_1$  è la massa per unità di superficie della struttura di base in  $\text{kg/m}^2$

$m'_2$  è la massa per unità di superficie della struttura di rivestimento in  $\text{kg/m}^2$

In funzione di  $f_0$  dalla tabella seguente si ricava il valore di DRw

Frequenza di risonanza $f_0$	DRw
$f_0 < 80$	$35 - R_w/2$
$80 < f_0 < 125$	$32 - R_w/2$
$125 < f_0 < 200$	$28 - R_w/2$
$200 < f_0 < 250$	-2
$250 < f_0 < 315$	-4
$315 < f_0 < 400$	-6
$400 < f_0 < 500$	-8
$500 < f_0 < 1600$	-10
$f_0 > 1600$	-5

### Calcolo dell'indice di potere fonoisolante in opera ( $R'w$ )

Per valutare l'indice di potere fonoisolante apparente ( $R'w$ ) è necessario considerare oltre che l'indice di potere fonoisolante ( $Rw$ ) della partizione stessa anche le prestazioni acustiche delle partizioni laterali collegate alla parete divisoria.

In particolare per calcolare  $R'w$  il rapporto tecnico UNI TR 11175 propone il seguente metodo di calcolo, il quale considera separatamente i 13 percorsi di trasmissione sonora (1 attraverso la parete divisoria e 12, 3 per lato, attra-

Ponendo :

$D$ : superficie elemento divisorio lato locale sorgente

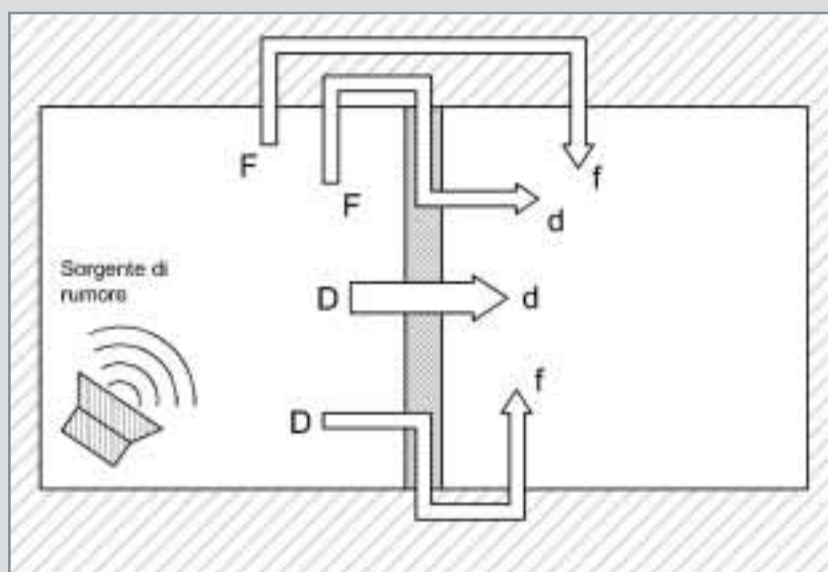
$d$ : superficie elemento divisorio lato locale ricevente

$F$ : superficie struttura laterale lato locale sorgente

$f$ : superficie struttura laterale lato locale ricevente

Si ottengono i 13 percorsi "ij" del rumore attraverso le strutture considerati nel calcolo:

- Un percorso diretto ( $Dd$ )
- Tre percorsi laterali ( $Ff$ ,  $Fd$ ,  $Df$ ) per ognuno dei quattro lati dell'elemento divisorio



$$R'_{w,i} = -10 \log \left( 10^{-\frac{R_{w,i}}{10}} + \sum_{j=1}^n 10^{-\frac{R_{w,i,j}}{10}} + \sum_{j=1}^n 10^{-\frac{R_{w,i,j}}{10}} + \sum_{j=1}^n 10^{-\frac{R_{w,i,j}}{10}} \right)$$

dove:

$R_w, ij$  è l'indice di valutazione del potere fonoisolante caratterizzante il percorso  $ij$

$n$  è il numero di lati dell'elemento divisorio (generalmente quattro)

### Calcolo di $R_{w,ij}$

Ai fini del calcolo del potere fonoisolante apparente tra due ambienti adiacenti, si deve quindi determinare il valore dell'indice di valutazione di potere fonoisolante per ogni singolo percorso di trasmissione sonora, mediante la relazione:

$$R_{w,ij} = \frac{R_{w,i} + R_{w,j}}{2} + \Delta R_{w,ij} + K_{ij} + 10 \lg \frac{S}{l_0 l_0}$$

dove:

$R_{w,i}$  è l'indice di valutazione di potere fonoisolante della struttura "i" priva di elementi di rivestimento (pavimenti galleggianti, contropareti, controsoffitti) (dB)

$R_{w,j}$  è l'indice di valutazione di potere fonoisolante della struttura "j" priva di elementi di rivestimento (pavimenti galleggianti, contropareti, controsoffitti) (dB)

$DR_{w,ij}$  è l'incremento dell'indice di valutazione di potere fonoisolante dovuto all'apposizione di strati di rivestimento lungo il percorso i-j (pavimenti galleggianti, contropareti, controsoffitti)

$K_{ij}$  è l'indice di riduzione delle vibrazioni del percorso i-j (dB)

$S$  è la superficie della partizione ( $m^2$ )

$l_0$  è la lunghezza di riferimento pari a 1 m.

$l_{ij}$  è la lunghezza del giunto tra le strutture ij considerate

Nel caso si stia analizzando il percorso diretto (Dd) la formula si riduce a:

$$R_{w,Dd} = R_{w,D} + \Delta R_{w,Dd}$$

Note riguardanti  $R_{wi}$

Nel caso di strutture rivestite con strati addizionali, gli indici  $R_{wi}$  e  $R_{wj}$  da inserire nella formula per il calcolo di  $R_{wij}$  sono quelli propri delle strutture di base, privi di strati addizionali quali contropareti, controsoffitti o pavimenti galleggianti.

Per quanto riguarda le strutture laterali va inserito il valore di  $R_w$  misurato in laboratorio in direzione longitudinale (RLw). In mancanza di questo dato è possibile utilizzare in prima approssimazione il valore di  $R_w$  misurato in direzione perpendicolare.

Per ricavare i valori di RLw di strutture in gesso rivestito è possibile consultare le tabelle riportate alle pagine seguenti.

## Calcolo di $DR_{wij}$

$DR_{wij}$  si calcola mediante la formula:

$$\Delta R_{w,ij} = \Delta R_{w,i} + \frac{\Delta R_{w,j}}{2}$$

se  $DR_{wi} < DR_{wj}$

oppure

$$\Delta R_{w,ij} = \Delta R_{w,j} + \frac{\Delta R_{w,i}}{2}$$

se  $DR_{wi} > DR_{wj}$

Dove:

$DR_{wi}$ : incremento di  $R_w$  dovuto allo strato di rivestimento sul lato i

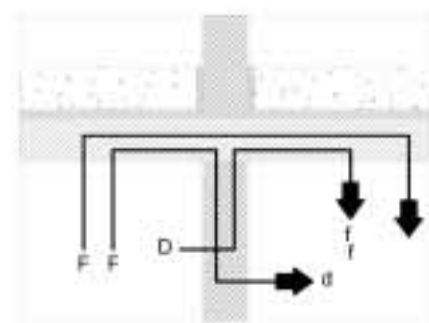
$DR_{wj}$ : incremento di  $R_w$  dovuto allo strato di rivestimento sul lato j

Ovviamente nel caso non sia presente alcuno strato di rivestimento  $DR_w = 0$

Nota riguardante  $DR_{w,ij}$

Gli strati di rivestimento da considerarsi nel calcolo di  $DR_{w,ij}$  sono solo quelli che effettivamente vengono attraversati dal percorso del rumore preso in

esame. Quindi ad esempio, nel caso si stiano considerando dei solai soprastanti a una parete divisoria, i pavimenti galleggianti del piano superiore non andranno considerati in quanto non influenti (v. figura).



## Calcolo di $K_{ij}$

L'indice di riduzione delle vibrazioni  $K_{ij}$ , caratteristico del percorso i-j, può essere determinato dalla tabella seguente in funzione del tipo di giunto e del parametro  $M$  definito come:

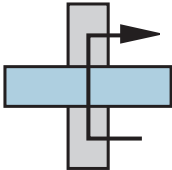
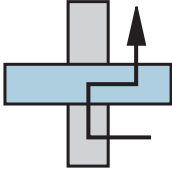
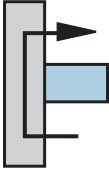
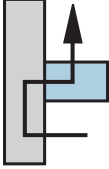
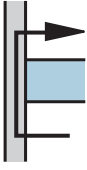

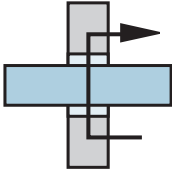
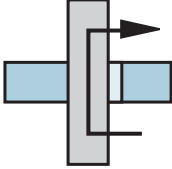
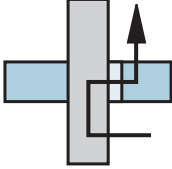
$$M = \log \frac{m'_{ii}}{m'_i}$$

dove:

$m_{1i}$  è la massa superficiale dell'elemento perpendicolare all'elemento "i" con esso connesso nel giunto considerato ( $kg/m^2$ )

$m'_i$  è la massa superficiale dell'elemento "i" nel percorso laterali i-j ( $kg/m^2$ )

Nelle tabelle delle pagine seguenti sono riportati, in funzione di  $M$ , i valori di  $K_{ij}$  in base al tipo di giunto ed al tipo di percorso considerati.

TIPO DI GIUNZIONE	TIPO DI TRASMISSIONE	Kij
Rigida a croce		$K_{13} = 8.7 + 17,1M + 5.7 M^2$
		$K_{12} = 8.7 + 5.7 M^2$
Rigida a T		$K_{13} = 5.7 + 14,1M + 5.7 M^2$
		$K_{12} = 5.7 + 5.7 M^2$
Struttura omogenea e facciata leggera		$K_{13} = 5 + 10M \quad K_{13} > 5 \text{ dB}$
		$K_{12} = 10 + 10 M $
Strutture omogenee con strato desolidarizzante		$K_{13} = 5.7 + 14,1M + 5.7 M^2 + 12$
		$K_{24} = 3,7 + 14,1M + 5,7M^2 \quad 0 > K_{24} > -4 \text{ dB}$
		$K_{12} = 5.7 + 5.7 M^2 + 6$

TIPO DI GIUNZIONE	TIPO DI TRASMISSIONE	Kij
Struttura omogenea con angolo		$K_{12} = 15  M  - 3 \quad k_{12} > -2 \text{ dB}$
Struttura omogenea con cambio di spessore		$K_{12} = 5M^2 - 5$
Doppia parete leggera e struttura omogenea		$K_{13} = 10 + 20M \quad K_{13} > 10 \text{ dB}$
		$K_{24} = 3 + 14,1M + 5,7 M^2 \quad m'1/m'2 > 3$
		$K_{12} = 10 + 10 M $
Pareti doppie leggere accoppiate		$K_{13} = 10 + 20M$
		$K_{12} = 10 + 10 M $

Il valore dell'indice Kij deve in ogni caso essere superiore o almeno uguale ad un valore minimo dato dalla:

$$K_0 = 10 \log \left[ I_0 I_0 \left( \frac{1}{S_i} + \frac{1}{S_j} \right) \right]$$

dove:

Si è la superficie dell'elemento i nell'ambiente sorgente [m<sup>2</sup>]

Sj è la superficie dell'elemento j nell'ambiente ricevente [m<sup>2</sup>]

lij è la lunghezza del giunto ij [m]

l0 è la lunghezza di riferimento pari a 1 m

Valore  $R'w$  ovvero  $Rw$  stimato per l'isolamento acustico e valore  $R_{L,w}$  stimato per l'isolamento acustico longitudinale di pareti e solai senza intercapedine e rigidi (valori di calcolo)  
(dalla Norma DIN 4109 Suppl. 1 Tab. 1, 21 e 25).

Elementi costruttivi laterali massa di rifinitura di superficie m <sup>2</sup> , valore medio 300 kg/m <sup>2</sup> (costruzione massiva)		Senza trasmissione laterale (costruzione a telaio, dati calcolati)		
Massa di rifinitura della superficie m <sup>2</sup> dell'elemento strutturale divisorio  kg/m <sup>2</sup>	Valore stimato di isolamento acustico (isolamento acustico) $R_w$ dB	Valore stimato in laboratorio per l'isolamento acustico (potere fonoassorbente) $R_w$ dB	Valore stimato di isolamento acustico longitudinale $R_{L,w}$ dB	
	Solai e pareti	Solai e pareti	Solai	Pareti laterali
85 <sup>II</sup>	34	34	39	41
90 <sup>II</sup>	35	35	40	42
95 <sup>II</sup>	36	36	41	43
105 <sup>II</sup>	37	37	42	44
115 <sup>I</sup>	38	38	43	45
125 <sup>II</sup>	39	39	44	46
135	40	40	45	47
150	41	41	47	49
160	42	42	48	50
175	43	43	49	51
190	44	44	50	52
210	45	45	51	53
230	46	46	52	54
250	47	47	53	55
270	48	48	54	56
295	49	50	55	57
320	50	51	56	58
350	51	53	58	60
380	52	54	59	61
410	53	56	60	62
450	54	58	61	63
490	55	59	63	65
530	56	60	64	66
580	57	61	65	67
630	58 <sup>II</sup>	62	66	68
680	59 <sup>II</sup>	63	67	69
740	60 <sup>II</sup>	64	68	70
810	61 <sup>II</sup>	65	69	71
880	62 <sup>II</sup>	66	70	72
960	63 <sup>II</sup>	67	71	73
1040	64 <sup>II</sup>	68	72	74



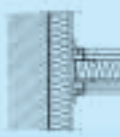
Valore  $R'w$  o  $Rw$  stimato per l'isolamento acustico e valore  $R_{L,w}$  stimato per l'isolamento acustico longitudinale di pareti in muratura (valori di calcolo) (dalla Norma DIN 4109 Suppl. 1 Tab. 1, 2, 3, 21 e 25).

Elementi costruttivi laterali - massa superficiale laterale media m <sup>2</sup> · Medio = 300 kg/mq - Costruzione massiccia (Costruzione massiccia)					Senza trasmissione laterale (costruzione a telaio; dati di calcolo)	
Materiali della parete in muratura (interacco in gesso, un lato di 10 mm, $\geq 10$ Kg/mq)	Peso specifico apparente del materiale  Il peso specif. apparente della parete kg/m <sup>3</sup>	Spessore parete  mm	Massa superf.  kg/m <sup>2</sup>	Valore stimato per l'isolamento acustico (isolamento acustico)  $R'_{L,w}$  dB	Valore stimato, in laboratorio, dell'isolamento acustico (parete laterale)  $R_{L,w}$  dB	Valore stimato di isolamento acustico longitudinale  $R_{L,w}$  dB
Blocchi di cemento cellulare legati (secondo la Norma DIN 4165),	500 (450)	125	56	29	29	36
		175	79	33	33	40
		250	113	38	38	45
		300	135	40	40	47
		365	164	42	42	50
	700 (650)	125	81	33	33	40
		175	114	38	38	45
		250	163	42	42	50
		300	195	44	44	52
		365	237	46	46	55
Mattoni (secondo la Norma DIN 105) Blocchi di cemento (secondo la Norma DIN 106)	Mattoni leggeri forati (Norma DIN 105) legati con malta leggera	800 (770)	115	100	36	43
			175	145	41	48
			240	195	44	52
			300	241	47	55
			365	291	49	57
	Mattoni pieni, mattoni forati, Klinker pieni, Klinker forati, Klinker in maiolica, Blocchi di cemento pieno, Blocchi di cemento forato, legati con malta normale.	1200 (1180)	115	146	41	48
			175	217	45	53
			240	293	49	57
			300	364	51	60
			365	441	54	63
		1400 (1360)	115	166	42	50
			175	248	47	55
			240	336	50	59
			300	418	53	62
			365	506	55	65
	1600 (1540)	240	380	52	54	61
		300	472	54	57	64
		365	572	57	61	67
	1800 (1720)	240	423	53	56	62
		300	526	56	60	65
		365	638	58	62	68
Blocchi forati in calcestruzzo leggero (secondo la Norma DIN 18151) con additivi porosi (secondo la Norma DIN 4226 Parte 2)	800 (820)	240	207	44	44	53
		300	256	47	47	55
		365	309	49	50	58
	1000 (1000)	240	250	47	47	55
		300	310	49	50	58
		365	375	52	52	61
	1200 (1180)	240	293	49	50	57
		300	364	51	53	60
		365	441	54	58	63
Blocchi forati in calcestruzzo normale con giunti chiusi (secondo la Norma DIN 18153)	1800 (1720)	240	423	53	56	62
		300	526	56	60	65
		365	638	58	62	68
Calcestruzzo normale (secondo la Norma DIN 1045) con giunti chiusi	2400 (2300)	150	355	51	53	60
		200	470	54	58	64
		250	585	57	61	67

Valore  $R'w$  ovvero  $Rw$  stimato per l'isolamento acustico e valore stimato  $RL,w$  di pareti in muratura con rivestimenti a vista flessibili in lastre di gesso rivestito.

Elementi costruttivi laterali - massa superficiale $m^2$ - medio 300 kg/m <sup>2</sup> - Costruzione massiccia							
Materiale della parete in muratura (massa in gesso, si lato: 10 mm, 2 10 kg/m <sup>2</sup> )	Peso specifico opponente del rivestimento  (1) Valori peso specif. opponente della parete  kg/m <sup>2</sup>	Spessore parete  mm	Massa superficiale  kg/m <sup>2</sup>	Valore stimato $R'w$ per l'isolamento acustico dB			
				W 624		W 623 / W 625 / W 626	
				lastre accoppiate con lana m. Knauf MF  12,5/30 mm	12,5/50 mm	Rivestimenti a vista in cartongesso metallico  12,5/40 mm	2x12,5/40 mm
Blocchi di cemento cellulare legati (secondo la Norma DIN 4165)	500 (450)		125	56	46	47	48
			175	79	47	48	49
			250	113	47	48	49
			300	135	47	48	49
			365	164	48	49	50
	700 (650)		125	81	47	48	49
			175	114	47	48	49
			250	163	48	49	50
			300	195	49	50	51
			365	237	50	51	52
Mattoni (secondo la Norma DIN 105) Blocchi di cemento (secondo la Norma DIN 106)	Mattoni leggeri forati Tipo W1 e Tipo A e B e Norma DIN 105 legati con malta leggera	800 (770)	115	100	47	48	49
			175	145	48	49	50
			240	195	48	49	50
			300	241	50	51	52
			365	291	52	53	54
	Mattoni pieni, mattoni forati, Klinker pieni, Klinker forati, Klinker in maiolica, Blocchi di cemento pieno, Blocchi di cemento forati, legati con malta normale.	1200 (1180)	115	146	47	48	49
			175	217	49	50	51
			240	293	52	53	54
			300	364	54	55	56
			365	441	55	56	57
		1400 (1360)	115	166	48	49	50
			175	248	50	51	52
			240	336	53	54	55
			300	418	55	56	57
			365	506	56	57	58
		1600 (1540)	240	380	54	55	56
			300	472	56	57	58
			365	572	57	58	59
		1800 (1720)	240	423	55	56	57
			300	526	57	58	59
			365	638	58	59	60
Blocchi forati in calcestruzzo leggero (secondo la Norma DIN 18151) con additivi porosi (secondo la Norma DIN 4226 Parte 2)	800 (820)		240	207	49	50	51
			300	256	51	52	53
			365	309	53	54	55
	1000 (1000)		240	250	51	52	53
			300	310	53	54	55
			365	375	54	55	56
	1200 (1180)		240	293	52	53	54
			300	364	54	55	56
			365	441	55	56	57
Blocchi forati in calcestruzzo normale (secondo la Norma DIN 18183) con giunti chiusi	1800 (1720)		240	423	55	56	57
			300	526	57	58	59
			365	638	58	59	60
Calcestruzzo normale (secondo la Norma DIN 1045) con giunti chiusi	2400 (2300)		150	355	54	55	56
			200	470	56	57	58
			250	585	58	59	60

(Dalla DIN 4109 Suppl. 1, Tab. 1, 2, 3, 8, 21, 25, 31 e dalla relazione di ricerca "Isolamento acustico con rivestimenti a vista" - Fisica delle costruzioni 2/1987)

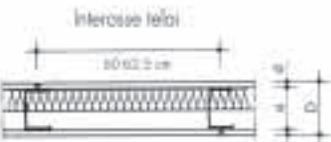
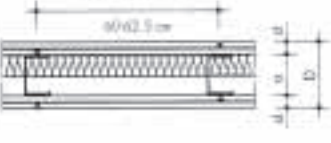
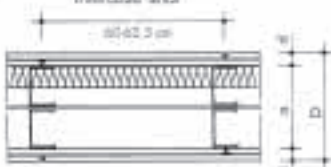
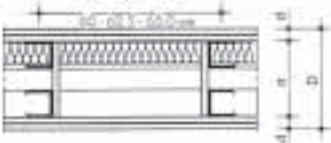
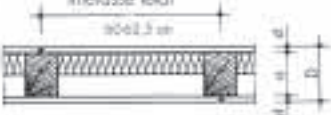
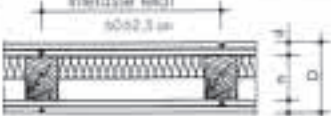
Senza trasmissione laterale - Costruzione a telai - documentazione di calcolo nella Norma DIN 4109					
Valore stimato in laboratorio $R_{w, dB}$ per l'isolamento acustico				Valore stimato $R_{w, dB}$ per l'isolamento acustico longitudinale	
W 624 lastre accoppiate con fibro n. NF Knauf		W 623 / W 625 / W 626 rivestimenti a vista su struttura metallica		W 623 / W 624 / W 625 / W 626	
12,5/30 mm	12,5/50 mm	12,5/40 mm	2x12,5/40 mm	 W 623 / W 624 / W 625 / W 626 Rivestimento a vista continuo	 Rivestimento a vista interrotto da una parete divisoria

46	47	47	48	49	57
47	48	48	49	52	60
50	51	52	53	53	64
52	53	54	55	54	66
54	55	56	57	56	68
47	48	48	49	52	61
50	51	52	53	54	63
54	55	56	57	56	67
56	57	58	59	57	69
58	59	60	61	57	70
48	49	50	51	53	63
53	54	55	56	55	66
56	57	58	59	57	69
59	60	61	62	57	71
61	62	63	64	57	72
53	54	55	56	55	67
57	58	59	60	57	70
61	62	63	64	57	71
63	64	65	66	58	72
66	67	68	69	58	73
54	55	56	57	56	67
59	60	61	62	57	70
62	63	64	65	57	72
65	66	67	68	58	73
67	68	69	70	58	74
64	65	66	67	57	72
66	67	68	69	58	73
69	70	71	72	58	74
65	66	67	68	57	73
68	69	70	71	58	74
70	71	72	73	58	75
56	57	58	59	57	70
59	60	61	62	57	71
61	62	63	64	58	72
59	60	61	62	57	71
61	62	63	64	57	72
64	65	66	67	58	73
61	62	63	64	57	72
63	64	65	66	58	73
66	67	68	69	58	74
65	66	67	68	58	73
68	69	70	71	58	74
70	71	72	73	59	75
63	64	65	66	57	72
66	67	68	69	58	73
69	70	71	72	58	74



Valore stimato  $R'w$  o  $Rw$  per l'isolamento acustico e valore  $RL,w$  per l'isolamento acustico longitudinale di pareti Knauf

Elementi costruttivi laterali - massa media parete laterale - m <sup>2</sup> medio 300 kg/m <sup>2</sup>				Costruzione massiccia		
Sistema Knauf	Dimensioni mm			Spessore della fibra minerale mm $E \geq 50 \text{ kg/m}^3$	Valore stimato per l'isolamento acustico (isolamento acustico)	
	D	d	a		$R'w$ dB	Documentazione prova <sup>1)</sup> o DIN


W 111 	75	12,5	50	40	45	DIN 4109 Suppl. 1 Tabella 9 - Riga 3
	100		75	40	46	811419 U.B.
	125		100	60	47	821170 U.B.
				40	46	811418 U.B.
				60	47	821170.3 U.B.
	80	49	821170.4 U.B.			
W 112 	100	2x12,5	50	40	48	81992 U.B.
	125		75	40	48	81994 U.B.
	150		100	60	51	821170.2 U.B.
				40	50	811417 U.B.
				80	53	82560.5 U.B.
155	12,5+15	100				
W 115 	155	2x12,5	105	40	53	82560.2 U.B.
	205		155	40	54	82560.4 U.B.
	255		205	40	54	82560.7 U.B.
				80	55	82560.6 U.B.
W 116 	220	2x12,5	170	40	51	82560.1 U.B.
W 121 	85	12,5	60	40	38	DIN 4109 Suppl. 1 Tabella 9 Riga 1
	105		80			
W 122 	110	2x12,5	60	40	46	DIN 4109 Suppl. 1 Tabella 9 Riga 2
	130		80			

1) I certificati di prova si riferiscono:

I.G.F. = Istituto Ferraris di Torino

U.B. = Università di Braunschweig

Senza trasmissione laterale - costruzione a telaio - Dati di calcolo secondo la norma DIN 4109

Spessore della lana minerale mm $\geq 5 \text{ kg/m}^3$	Valore stimato in laboratorio per l'isolamento acustico (potere fonoassorbente)			Valore stimato in laboratorio $R_{w, \text{lab}}$ per l'isolamento acustico longitudinale					
	$R_{w, \text{lab}}$ dB	Documentazione pavia o DIN I)	Rigo					Documentazione DIN	Rigo
				Investimento continuo senza giunti di separazione	Investimento continuo con giunto di separazione	Investimento interrotto			

40	45	DIN 4109 Suppl. 1 Tabella 9 23	1	53	53	73	DIN 4109 Suppl. 1 Tab. 32	1
40	46		2					
60	47		3					
40	47		4					
60	48		5					3
80	51							
40	50	DIN 4109 Suppl. 1 Tab. 23 (27363/9 I.G.F.)	6	54	57	> 75	DIN 4109 Suppl. 1 Tab. 32	2
40	51		7					
60	52 (56)		8					2
40	53		9					
80	56		11					4
60	59	27363/12 I.G.F.						
40	61	DIN 4109 Suppl. 1 Tabella 23	23	54	57	> 75	DIN 4109 Suppl. 1 Tab. 32	2
80	63		24					2
40	63		25					4
80	65		26					
40	ca. 51	B2560-1 U.B.		54	57	> 75	DIN 4109 Suppl. 1 Tab. 32	2
								2
								4
40	38	DIN 4109 Suppl. 1 Tabella 24	1	50	54	62	DIN 4109 Suppl. 1 Tab. 33	2
								4
								5
40	46	DIN 4109 Suppl. 1 Tabella 24	2	54	-	62	DIN 4109 Suppl. 1 Tab. 33	3
								5

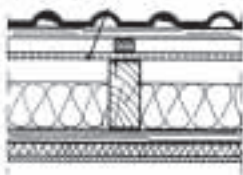





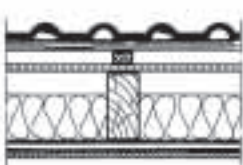
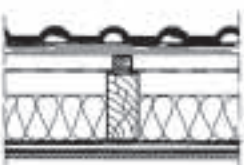


## Vetratura su pareti divisorie leggere

Valore stimato R'w per l'isolamento acustico (dB)

Rapporto superfici: (superficie parete totale / parete vetrata)		1 solo vetro	>1	≥1,3	≥1,6	≥2	≥2,5	≥3,2	≥4	≥5	≥6,4	≥8	Solo parete	Sistema di costruzione pareti Knauf Sistema N
Vetrata semplice	4 mm	30	31	32	33	34	35	36	37 <sup>1)</sup>	38	39	40	49	Knauf Parete con orditura metallica  <b>W 111</b> (100 mm)
	6 mm	31,5	32,5	33,5	34,5	35,5	36,5	37,5	38,5 <sup>1)</sup>	39,5	40,5	41,5		
	8 mm	33	34	35	36	37	38	39	40 <sup>1)</sup>	41	42	43	51	Knauf Parete con orditura metallica  <b>W 112</b> (100 mm)
Vetrata doppia	4+6 mm	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45		
	4+8 mm	33	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46		
	6+8 mm	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47		
	4+6 mm	39	40	41	42	43	44	45	46 <sup>1)</sup>	47	48	49	52	Knauf Parete con orditura metallica  <b>W 112</b> (150 mm)
	4+8 mm	40	41	42	43	44	45	46	47 <sup>1)</sup>	48	49	50		
	6+8 mm	41	42	43	44	45	46	47	48 <sup>1)</sup>	49	50	51		

1) Altezze effettuate: verbale di calcolo Knauf fisico delle costruzioni Nr. 44717B.

## Valore stimato R'<sub>w</sub> di tetti con rivestimenti Knauf

Descrizione del sistema		Knauf sistema N°	Realizzazione	Dimensioni lastre Knauf [d]		Isolamento acustico	
A con pannello di masonite (fissa al legno tralicciati)	B con fogli di masonite			Spessore della fibra minerale mm	R <sub>w</sub> dB	Certificati di collaudi N°	
<b>Rivestimento con lastre accoppiate Knauf MF</b>							
 A Pannello di masonite	 B Foglio di masonite	D 624	A	12,5	120 + 30	46	Knauf Fisica delle costruzioni 71084
			B	(+ 30 MF)		44	
			A	12,5	120 + 50	46	
			B	(+ 50 MF)		45	
<b>Rivestimento con Panel Element Knauf</b>							
 A	 B	K 351	A	20	120	42	Knauf Fisica delle costruzioni 71284
			B			40	
<b>Rivestimento con lastre Knauf GKB da 9.5 mm</b>							
 A	 B	D 111 D 112	A	10	120	43	Knauf Fisica delle costruzioni 71384
			B			40	
<b>Rivestimento con lastre Knauf GKB/GKF</b>							
 A	 B	D 111 D 112	A	12,5	120	50	Knauf Fisica delle costruzioni 71184
			B			44	
			A	2 x 12,5		52	
			B			48	
<b>Rivestimento con lastre Knauf Fireboard</b>							
 A	 B	K 21	A	20	120	47	Knauf Fisica delle costruzioni 71484
			B			46	



Valore stimato R'w per l'isolamento acustico di sistemi di solai pieni con controsoffitti in lastre di gesso rivestito e/o con pavimenti continui galleggianti.

(La documentazione deriva dalla norma DIN 4109-11.89 Suppl. 1 Tab. 11, 12, 13 e 15)

Sistemi di solai pieni di tipo massivo	Sistemi Knauf	
	Knauf - sistemi di controsoffittatura	Knauf - sistemi di pavimentazione
       	 <b>① =</b>	
	Controsoffitti con lastre Knauf GK. Uno strato isolante in fibra spessore 40 mm. Sistemi Knauf: <ul style="list-style-type: none"> <li>D 111</li> <li>D 112</li> <li>D 113</li> <li>D 114</li> </ul> <b>②</b>	<b>① + ② =</b>
	Controsoffitti in lastre Knauf GK. Altezza di aggancio $\geq 200$ mm. Strato di isolante in fibra 50 mm di spessore Sistemi Knauf: <ul style="list-style-type: none"> <li>D 111</li> <li>D 112</li> <li>D 113</li> <li>D 114</li> </ul> <b>③</b>	<b>① + ② + ④ =</b> + <b>④</b> Pavimento galleggiante $\Delta L_w [NM] \geq 24$ dB Sistemi Knauf: F 31 <b>① + ③ + ④ =</b>
		<b>① + ③ =</b>
		+ <b>④</b> Pavimento continuo flottante $WW^{(1)} \geq 24$ dB <b>① + ④ =</b> Sistemi Knauf: F 31

1)  $WW^{(1)}$  = Valore di miglioramento (diminuzione) del livello di rumore di calpestio (dB) su soletta normalizzata di riferimento (=  $\Delta L_w$ ).

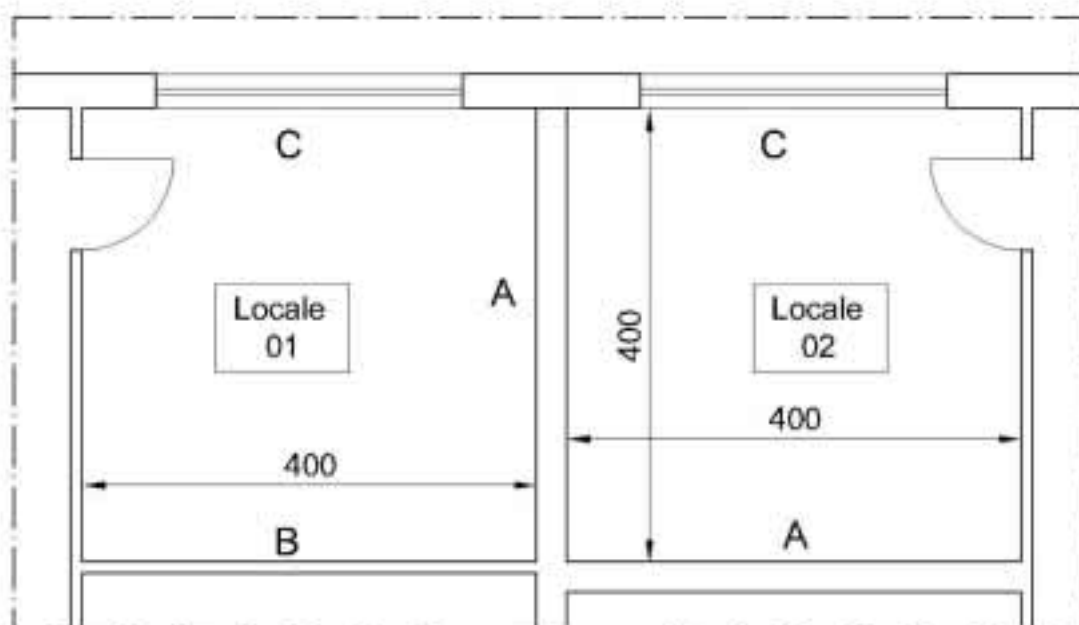
Massa di riferimento delle superfici, compreso, se c'è, l'intonaco, il massetto di collegamento, l'isolamento o il massetto continuo in strato di separazione kg/m <sup>2</sup>	Massa media di elemento m <sup>2</sup> L <sub>min</sub> delle pareti laterali (kg/m <sup>2</sup> )						Numero delle pareti o dei rivestimenti a vista fissati con viti		
	150	200	250	300	350	400	1	2	3
	Valore stimato per l'isolamento acustico: R' <sub>w</sub> (dB)						Valore di correzione per R' <sub>w</sub> (dB)		
150	40	40	40	41	41	41	0	0	0
200	43	43	43	44	44	44			
250	46	46	46	47	47	47			
300	48	48	48	49	49	49			
350	50	50	50	51	51	51			
400	52	52	52	53	53	53			
450	53	53	53	54	54	54			
500	54	54	54	55	55	55			
600	56	56	56	57	57	57	0	0	0
150	46	47	48	49	50	51	+1	+3	+6
200	48	49	50	51	52	53			
250	50	51	52	53	54	55			
300	52	53	54	55	56	57			
400	54	55	56	57	58	59			
450	55	56	57	58	59	60			
500	56	57	58	59	60	61			
600	57	58	59	60	61	62			
150	49	50	51	52	53	54	+1	+3	+6
200	51	52	53	54	55	56			
250	53	54	55	56	57	58			
300	55	56	57	58	59	60			
350	56	57	58	59	60	61			
400	57	58	59	60	61	62			
450	58	59	60	61	62	63			
500	59	60	61	62	63	64			
600	59	60	61	62	63	64			
150	49	50	51	52	53	54	+1	+3	+6
200	51	52	53	54	55	56			
250	54	55	56	57	58	59			
300	56	57	58	59	60	61			
350	58	59	60	61	62	63			
400	59	60	61	62	63	64			
450	59	60	61	62	63	64			
500	59	60	61	62	63	64			
600	59	60	61	62	63	64			
150	49	50	51	52	53	54	+1	+3	+6
200	51	52	53	54	55	56			
250	54	55	56	57	58	59			
300	56	57	58	59	60	61			
350	58	59	60	61	62	63			
400	59	60	61	62	63	64			
450	59	60	61	62	63	64			
500	59	60	61	62	63	64			
600	59	60	61	62	63	64			
150	46	47	48	49	50	51	+1	+3	+6
200	48	49	50	51	52	53			
250	50	51	52	53	54	55			
300	52	53	54	55	56	57			
350	53	54	55	56	57	58			
400	54	55	56	57	58	59			
450	55	56	57	58	59	60			
500	56	57	58	59	60	61			
600	57	58	59	60	61	62			

## 4.3 Potere fonoisolante apparente:

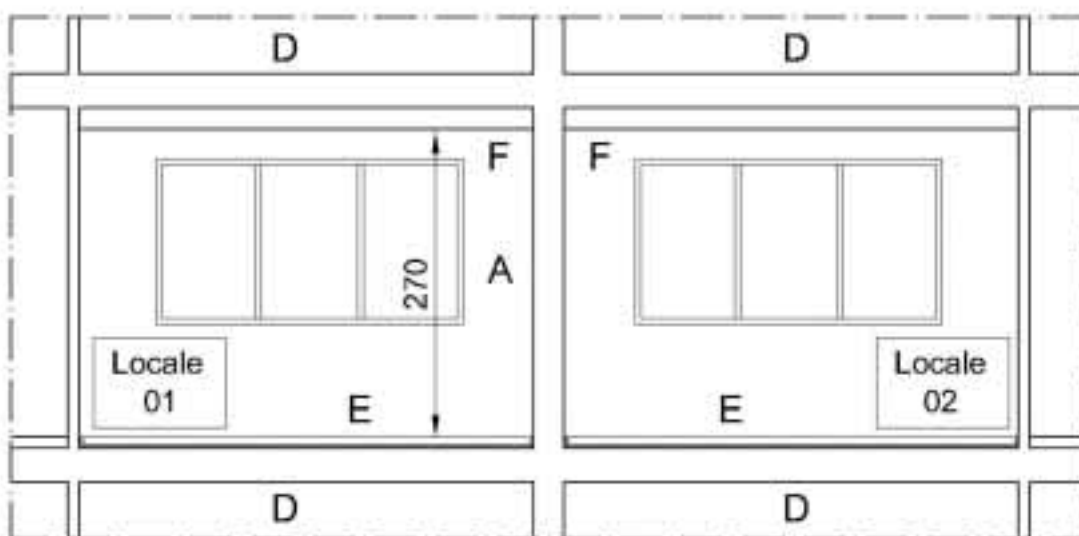
### Esempio di calcolo 1 (locali uffici)

Pianta e sezione dei locali in esame

**Pianta**



**Sezione**



## Partizione divisoria

Cod.	Descrizione	Sup. [m <sup>2</sup> ]	Rw [dB]	m' [kg/m <sup>2</sup> ]
A	Parete Knauf a doppia struttura metallica (5 lastre)	10,8	63	65

## Partizioni locale 01

Cod.	Descrizione	Sup. [m <sup>2</sup> ]	Rw [dB]	m' [kg/m <sup>2</sup> ]
B	Parete a singola struttura in lastre in gesso rivestito (sp. 10 cm, 4 lastre) collegata a parete divisorio mediante rivestimento interrotto	10,8	57 (RLw)	50
C	Parete esterna tipo Knauf AQUAPANEL a doppia struttura metallica	10,8	60	70
D	Solaio con travetti precompressi (interasse = 50 cm) e pignatte tipo B da 20 cm con 4 cm di soletta in calcestruzzo e 1,5 cm di intonaco all'intradosso.	16	50	360

## Partizioni locale 02

Cod.	Descrizione	Sup. [m <sup>2</sup> ]	Rw [dB]	m' [kg/m <sup>2</sup> ]
A	Parete Knauf a doppia struttura metallica (5 lastre)	10,8	63	65
C	Parete esterna tipo Knauf AQUAPANEL a doppia struttura metallica	10,8	60	70
D	Solaio con travetti precompressi (interasse = 50 cm) e pignatte da 20 cm con 4 cm di soletta in calcestruzzo e 1,5 cm di intonaco all'intradosso.	16	50	360

## Strati aggiuntivi locale 01

Cod.	Descrizione	DRw [dB]
E	Pavimento galleggiante realizzato con strato resiliente (s = 5 mm) e massetto in calcestruzzo (s = 5 cm)	7
F	Controsoffitto appeso realizzato con lastre continue in gesso rivestito e fibra minerale nell'intercapedine (sp. intercapedine 18 cm)	10

## Strati aggiuntivi locale 02

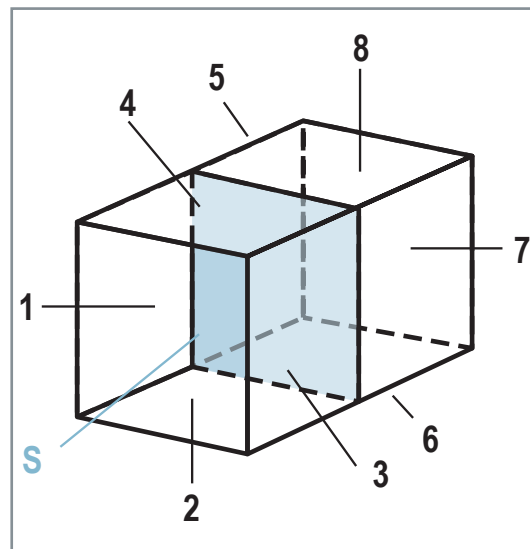
Cod.	Descrizione	DRw [dB]
E	Pavimento galleggiante realizzato con strato resiliente (s = 5 mm) e massetto in calcestruzzo (s = 5 cm)	7
F	Controsoffitto appeso realizzato con lastre continue in gesso rivestito e fibra minerale nell'intercapedine (sp. intercapedine 18 cm)	10

## Tipologia di collegamenti tra parete divisoria e partizioni laterali

Collegamento	Tipologia
Tra parete divisoria (A) e pareti esterne (C)	Collegamento a croce o a T tra pareti leggere
Tra parete divisoria (A) e solai a pavimento (E)	Collegamento a T tra strutt. omog. e pareti leggere, trasmissione attraverso strutture omogenee
Tra parete divisoria (A) e pareti interne (B-A)	Collegamento a croce o a T tra pareti leggere
Tra parete divisoria (A) e solai a soffitto (E)	Collegamento a T tra strutt. omog. e pareti leggere, trasmissione attraverso strutture omogenee

## Calcolo di Rwij e R'w

Utilizzando il metodo di calcolo descritto in precedenza si ottengono i seguenti valori per i singoli percorsi di trasmissione del rumore (Rw<sub>ij</sub>):



Pareti 1 e 5 = pareti esterne (tipo C)

Pareti 3 e 7 = pareti interne (tipo B e A)

Percorso	Rw <sub>ij</sub> [dB]
S (percorso diretto)	63
1-5	75,04
2-6	60,15
3-7	77,97
4-8	64,65
1-S	77,51
2-S	84,91
3-S	76,83
4-S	87,91
S-5	77,51
S-6	84,91
S-7	78,69
S-8	87,91

Dai valori dei singoli Rw<sub>ij</sub> si ricava:

$$R'w = 57,13 \text{ dB} = 57 \text{ dB}$$

Il risultato è maggiore di 50 dB (valore minimo prescritto nel DPCM 5-12-1997)

## 4.4 Potere fonoisolante apparente:

### Esempio di calcolo 2 (locali civile abitazione)

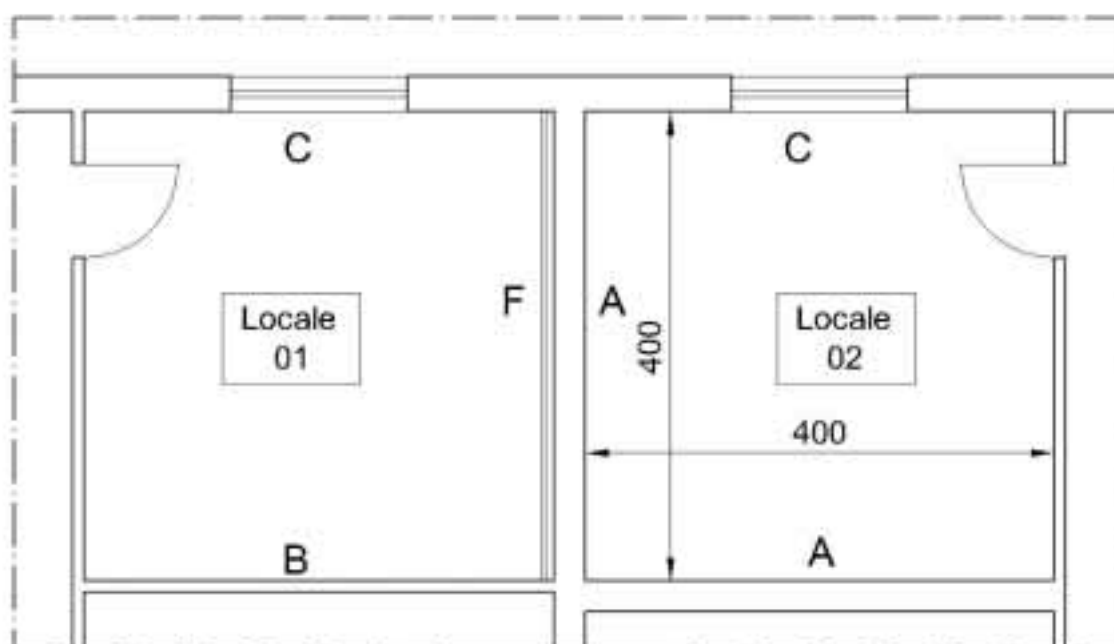
#### Pianta e sezione dei locali in esame

Di seguito si riporta il calcolo per una parete di separazione tra due ambienti di civile abitazione.

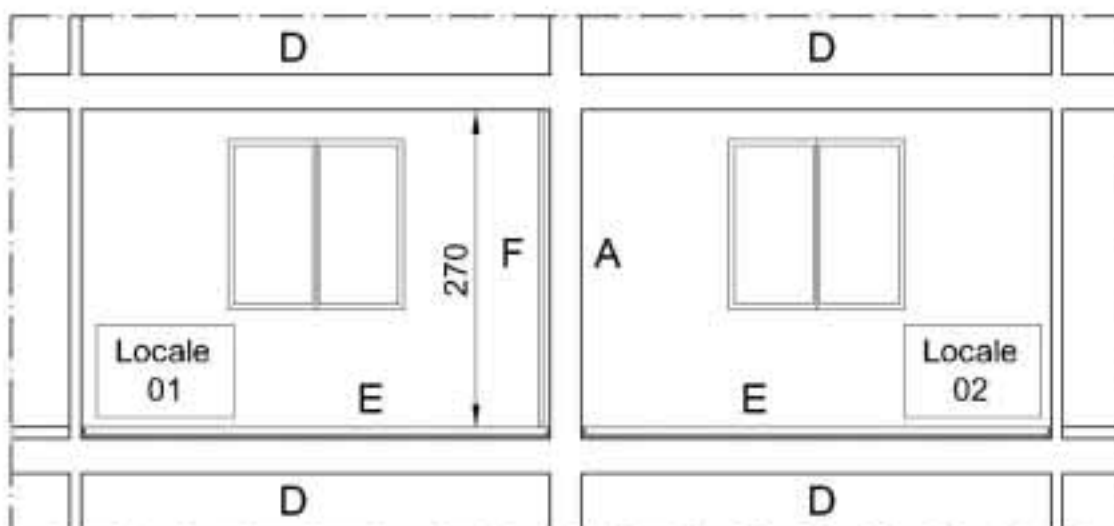
Viene presa in considerazione prima la parete nuda, poi la parete con applicata una controparete in lastre in gesso rivestito.

#### Ipotesi 1 (parete nuda)

Pianta



Sezione



## Partizione divisoria

Cod.	Descrizione	Sup. [m <sup>2</sup> ]	Rw [dB]	m' [kg/m <sup>2</sup> ]
A	Parete in muratura (25 cm) intonacata su ambo i lati	10,8	45	222

## Partizioni locale 01

Cod.	Descrizione	Sup. [m <sup>2</sup> ]	Rw [dB]	m' [kg/m <sup>2</sup> ]
B	Parete in muratura (8 cm) intonacata su ambo i lati	10,8	42	135
C	Parete a intercapedine: forati da 8 cm intonacata esterno; intercapedine di aria 4 cm; forati da 12 cm intonacati su ambo i lati (1,5 cm)	10,8	47	240
D	Solaio con travetti precompressi e pignatte da 20 cm con 4 cm di soletta in calcestruzzo e 1,5 cm di intonaco all'intradosso.	16	50	360

## Partizioni locale 02

Cod.	Descrizione	Sup. [m <sup>2</sup> ]	Rw [dB]	m' [kg/m <sup>2</sup> ]
A	Parete in muratura (25 cm) intonacata su ambo i lati	10,8	45	222
C	Parete a intercapedine: forati da 8 cm intonacata esterno; intercapedine di aria 4 cm; forati da 12 cm intonacati su ambo i lati (1,5 cm)	10,8	47	240
D	Solaio con travetti precompressi e pignatte da 20 cm con 4 cm di soletta in calcestruzzo e 1,5 cm di intonaco all'intradosso.	16	50	360

## Strati aggiuntivi locale 01

Cod.	Descrizione	DRw [dB]
E	Pavimento galleggiante realizzato con strato resiliente (s = 5 mm) e massetto in calcestruzzo (s = 5 cm)	7

## Strati aggiuntivi locale 02

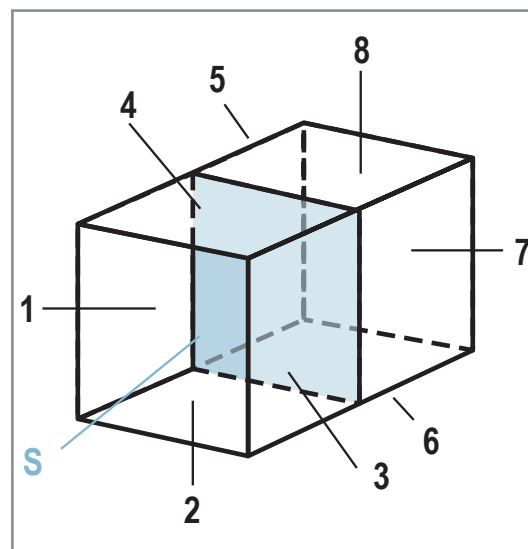
Cod.	Descrizione	DRw [dB]
E	Pavimento galleggiante realizzato con strato resiliente (s = 5 mm) e massetto in calcestruzzo (s = 5 cm)	7

## Tipologia di collegamenti tra parete divisoria e partizioni laterali

Collegamento	Tipologia
Tra parete divisoria (A) e pareti esterne (C)	Collegamento rigido a T tra strutture omogenee
Tra parete divisoria (A) e solai a pavimento (E)	Collegamento rigido a croce tra strutture omogenee
Tra parete divisoria (A) e pareti interne (B-A)	Collegamento rigido a croce tra strutture omogenee
Tra parete divisoria (A) e solai a soffitto (E)	Collegamento rigido a croce tra strutture omogenee

## Calcolo di Rwij e R'w

Utilizzando il metodo di calcolo descritto in precedenza si ottengono i seguenti valori per i singoli percorsi di trasmissione del rumore (Rw<sub>ij</sub>):



Pareti 1 e 5 = pareti esterne (tipo C)

Pareti 3 e 7 = pareti interne (tipo B e A)

Percorso	Rw <sub>ij</sub> [dB]
S (percorso diretto)	45
1-5	59,92
2-6	69,84
3-7	61,85
4-8	74,34
1-S	57,39
2-S	67,43
3-S	58,15
4-S	70,43
S-5	57,39
S-6	67,43
S-7	59,39
S-8	70,43

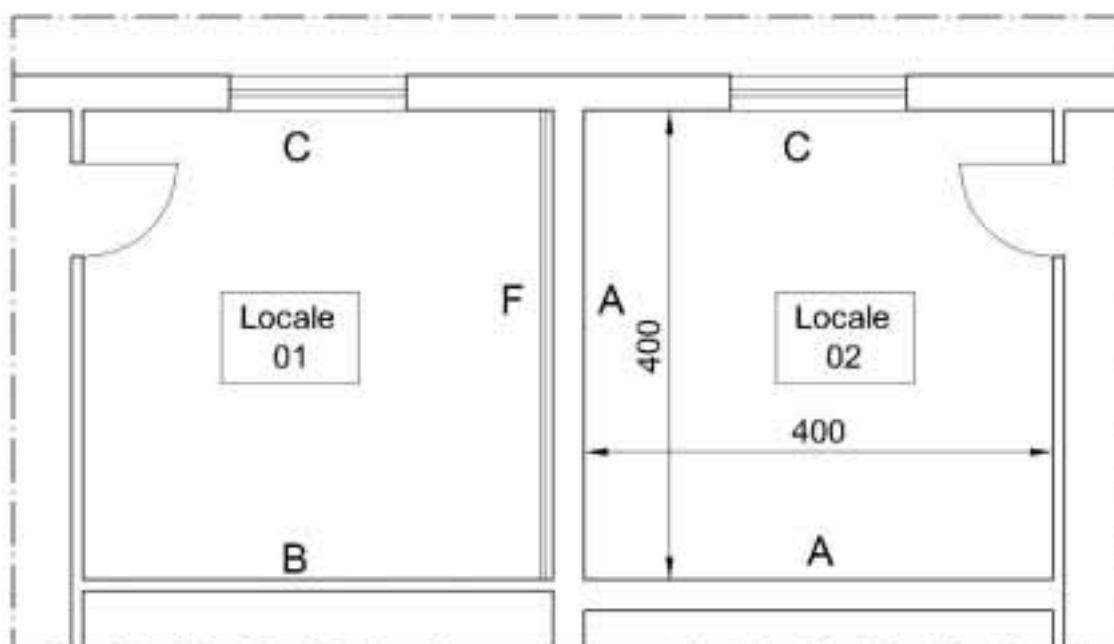
Dai valori dei singoli Rw<sub>ij</sub> si ricava:

$$R'w = 43,88 \text{ dB} = 44 \text{ dB}$$

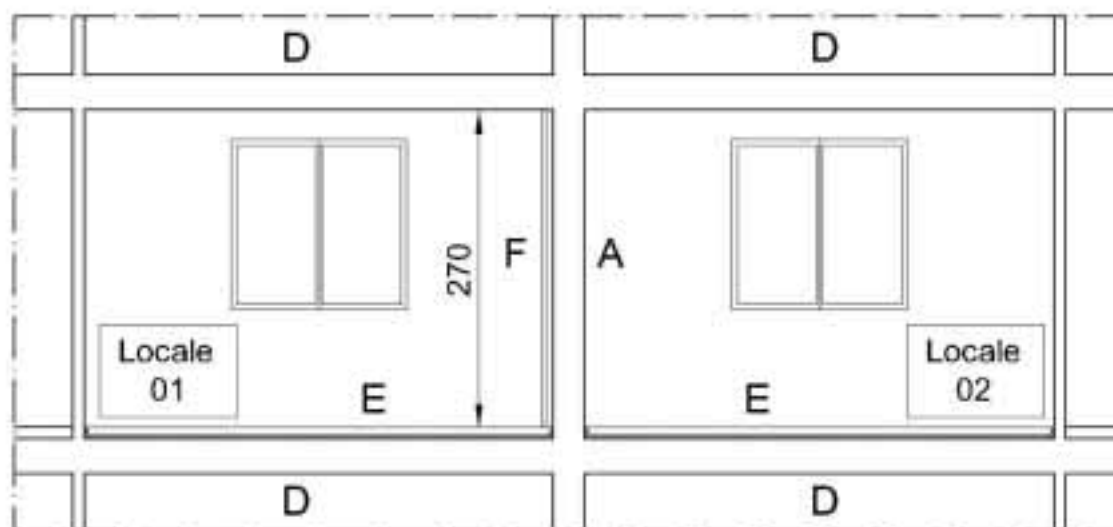
Il risultato è inferiore al valore minimo prescritto nel DPCM 5-12-1997 (50 dB)

Ipotesi 2 (parete con controparete)

Pianta



Sezione





## Partizione divisoria

Cod.	Descrizione	Sup. [m <sup>2</sup> ]	Rw [dB]	m' [kg/m <sup>2</sup> ]
A	Parete in muratura (25 cm) intonacata su ambo i lati	10,8	45	222

## Partizioni locale 01

Cod.	Descrizione	Sup. [m <sup>2</sup> ]	Rw [dB]	m' [kg/m <sup>2</sup> ]
B	Parete in muratura (8 cm) intonacata su ambo i lati	10,8	42	135
C	Parete a intercapedine: forati da 8 cm intonacata esterno; intercapedine di aria 4 cm; forati da 12 cm intonacati su ambo i lati (1,5 cm)	10,8	47	240
D	Solaio con travetti precompressi e pignatte da 20 cm con 4 cm di soletta in calcestruzzo e 1,5 cm di intonaco all'intradosso.	16	50	360

## Partizioni locale 02

Cod.	Descrizione	Sup. [m <sup>2</sup> ]	Rw [dB]	m' [kg/m <sup>2</sup> ]
A	Parete in muratura (25 cm) intonacata su ambo i lati	10,8	45	222
C	Parete a intercapedine: forati da 8 cm intonacata esterno; intercapedine di aria 4 cm; forati da 12 cm intonacati su ambo i lati (1,5 cm)	10,8	47	240
D	Solaio con travetti precompressi e pignatte da 20 cm con 4 cm di soletta in calcestruzzo e 1,5 cm di intonaco all'intradosso.	16	50	360

## Strati aggiuntivi locale 01

Cod.	Descrizione	DRw [dB]
E	Pavimento galleggiante realizzato con strato resiliente (s = 5 mm) e massetto in calcestruzzo (s = 5 cm)	7
F	Controparete continua in lastre in gesso rivestito su montanti metallici (spessore intercapedine 8 cm)	12,5

## Strati aggiuntivi locale 02

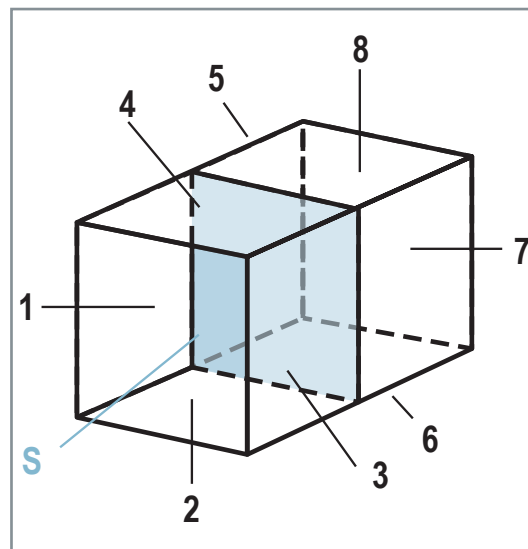
Cod.	Descrizione	DRw [dB]
E	Pavimento galleggiante realizzato con strato resiliente (s = 5 mm) e massetto in calcestruzzo (s = 5 cm)	7

## Tipologia di collegamenti tra parete divisoria e partizioni laterali

Collegamento	Tipologia
Tra parete divisoria (A) e pareti esterne (C)	Collegamento rigido a T tra strutture omogenee
Tra parete divisoria (A) e solai a pavimento (E)	Collegamento rigido a croce tra strutture omogenee
Tra parete divisoria (A) e pareti interne (B-A)	Collegamento rigido a croce tra strutture omogenee
Tra parete divisoria (A) e solai a soffitto (E)	Collegamento rigido a croce tra strutture omogenee

## Calcolo di Rwij e R'w

Utilizzando il metodo di calcolo descritto in precedenza si ottengono i seguenti valori per i singoli percorsi di trasmissione del rumore (Rw<sub>ij</sub>):



Pareti 1 e 5 = pareti esterne (tipo C)

Pareti 3 e 7 = pareti interne (tipo B e A)

Percorso	Rw <sub>ij</sub> [dB]
S (percorso diretto)	57,5
1-5	57,92
2-6	69,84
3-7	61,85
4-8	74,34
1-S	69,89
2-S	76,43
3-S	70,65
4-S	77,93
S-5	69,89
S-6	76,43
S-7	71,89
S-8	77,93

Dai valori dei singoli Rw<sub>ij</sub> si ricava:

$$R'w = 53,35 \text{ dB} = 53 \text{ dB}$$

Grazie all'applicazione della controparete la parete rispetta il requisito minimo imposto dal DPCM 5-12-1997 (Rw minimo = 50 dB)

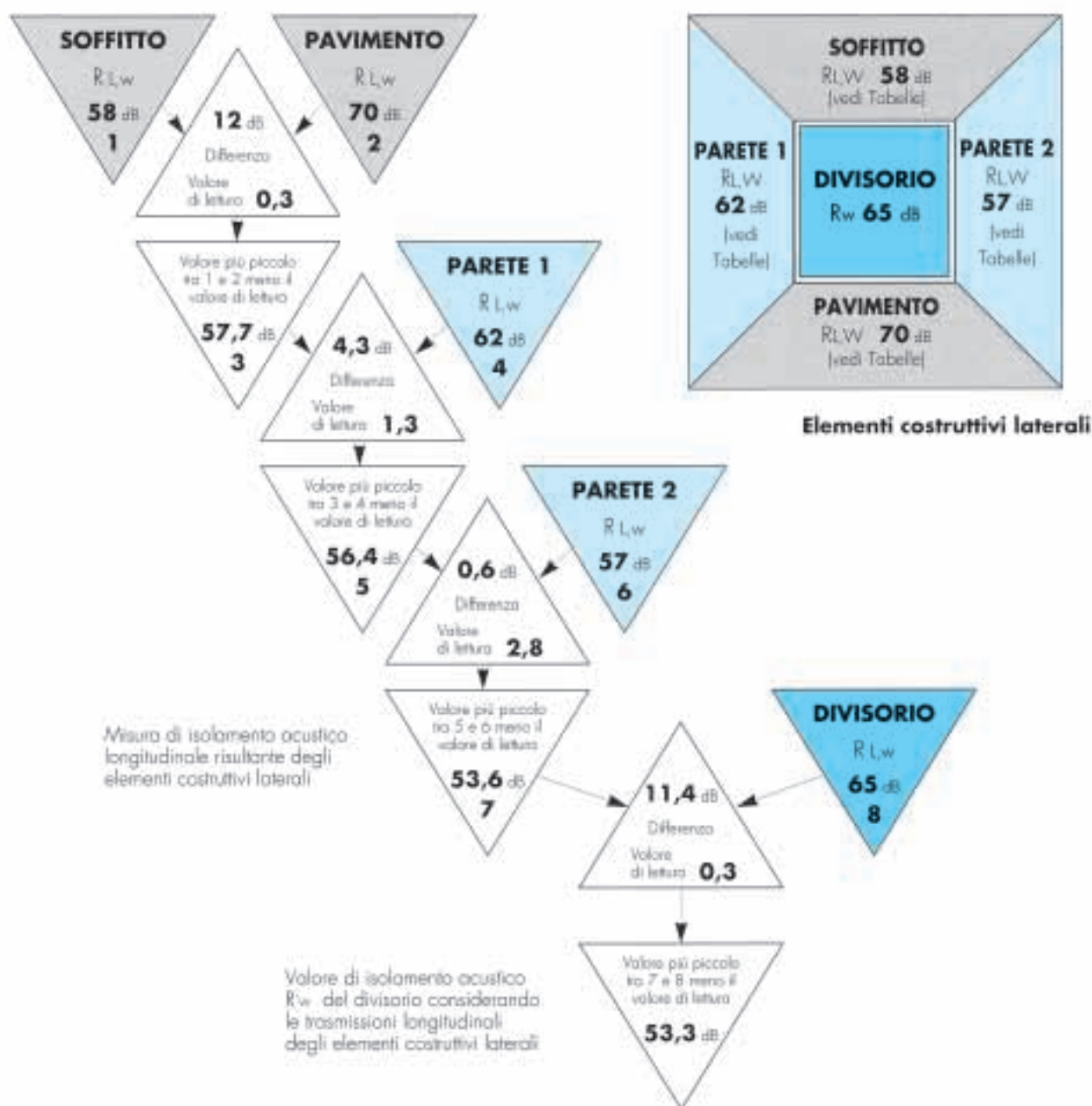
## 4.5 Potere fonoisolante apparente:

### Esempio di calcolo 3 (metodo grafico)

Di seguito è rappresentato un metodo grafico per la determinazione di  $R'w$  a partire da  $Rw$  e  $RLw$ . Tale metodo esegue in forma semplificata i calcoli previsti dal metodo analitico e fornisce utili informazioni per una stima di massima dell'indice di potere fonoisolante apparente.

Per semplificare l'inserimento dei dati sono riassunti in tabelle i principali valori di isolamento acustico longitudinale ( $RLw$ ) desunti dalla norma DIN 4109.

#### Modello per la determinazione analitica dell'isolamento acustico



Differenza

0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5	13,0	13,5	14,0	14,5	15,0	>	
3,0	2,8	2,5	2,3	2,1	1,9	1,8	1,6	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7	-0,8	-0,9	-1,0

Valore di lettura (composizione di livelli sonori)

## SOLAIO SUPERIORE

## Collegamenti a soffitto

Valore stimato di isolamento acustico longitudinale  $R_{L,w}$

### Strutture di solaio con componenti massivi

Peso per unità di superficie $\text{kg/m}^2$	$R_{L,w}$ dB
100	41
200	51
300	56
350	58
400	60

### Controsoffitti in lastre di gesso rivestito

Tipi di collegamento		Massa superficiale del rivestimento $\text{kg/m}^2$	$R_{L,w}$ in dB		
			senza MF	con interpolazione di strato in fibra minerale 50 mm	100 mm
Controsoffitti con superficie continua					
Collegamento del divisorio al controsoffitto, strato di rivestimento continuo (per $R_{L,w} \geq 55$ dB è necessaria una interruzione, per esempio con un giunto di dilatazione).		1 $\geq 9$	40	51	57
		1 $\geq 11$	43	55	59
		2 $\geq 22$	50	56	-
Collegamento del divisorio al controsoffitto con interruzione dello strato di rivestimento del controsoffitto.		1 $\geq 11$	43	58	-
Collegamento del divisorio al solaio rustico, con interruzione dello strato di rivestimento e della struttura del controsoffitto e del rivestimento del divisorio.		2 $\geq 22$	50	63	-
Collegamento del divisorio al solaio rustico, con rivestimento completo del divisorio.		1 $\geq 11$	60		

## SOLAIO INFERIORE

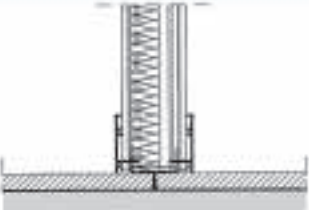
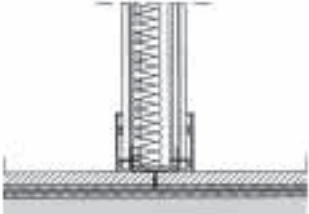
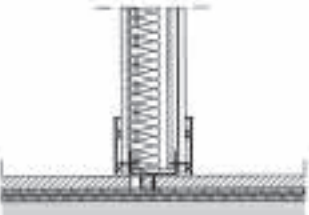
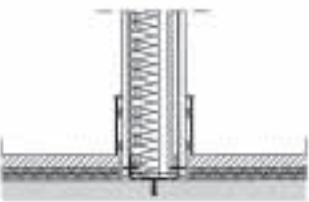
## Collegamenti a pavimento

Valore stimato di isolamento acustico longitudinale  $R_{L,w}$

### Solai di tipo massivo senza pavimentazione o con il massetto di collegamento (sottofondo)

Peso per unità di superficie incluso il massetto di sottofondo kg / m <sup>2</sup>	$R_{L,w}$ dB
100	41
200	51
300	56
350	58
400	60

### Solai di tipo massivo o su telaio in legno con pavimento su strato di separazione / pavimenti galleggianti

Tipi di collegamento		$R_{L,w}$ dB			
		Sottofondo in gesso, cemento, o anidrite	Pavimenti in calce getata	Sottofondo a secco	Pavimenti sopra- elevati
Pavimento su strato di separazione		da 42 o 46	da 48 o 50	—	—
Pavimento continuo galleggiante		38	44	57	53
Pavimento con giunto di dilatazione		55		—	53
Pavimento interrotto		70		—	—

## PARETI

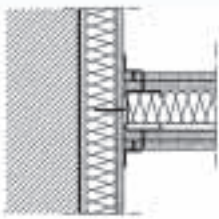
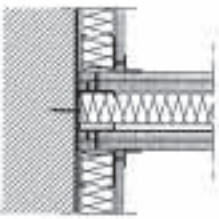
## Collegamenti alle pareti laterali

Valore stimato di isolamento acustico longitudinale  $R_{L,w}$

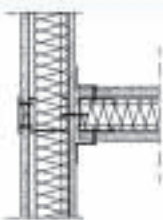
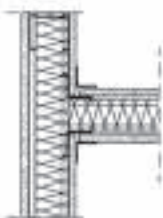
### Pareti laterali di tipo massivo

Peso per unità di superficie kg / m <sup>2</sup>	$R_{L,w}$ dB
100	43
200	53
300	58
350	60
400	62

### Pareti laterali di tipo massivo con rivestimenti isolanti o contropareti su orditura metallica in gesso rivestito

Tipi di collegamento	Massa superficiale della parete massiva kg/m <sup>2</sup>	$R_{L,w}$ dB
Rivestimento isolante continuo con lastre accoppiate MF. 	100	53
	200	57
	250	57
	300	58
	400	58
Controparete isolante con intercapedine ≥ 60 mm. 	100	63
	200	70
	250	71
	300	72
	400	73

### Pareti laterali su orditura metallica in gesso rivestito

Collegamento del divario	Rivestimento del lato interno della parete laterale (numero degli strati)	$R_{L,w}$ dB
Rivestimento continuo della parete laterale. * 	1	53
	2	57
* per $R_{L,w} \geq 55$ rivestimento con interruzione.		
Stuttura e rivestimento della parete laterale interrotti. 	1	73
	2	> 75

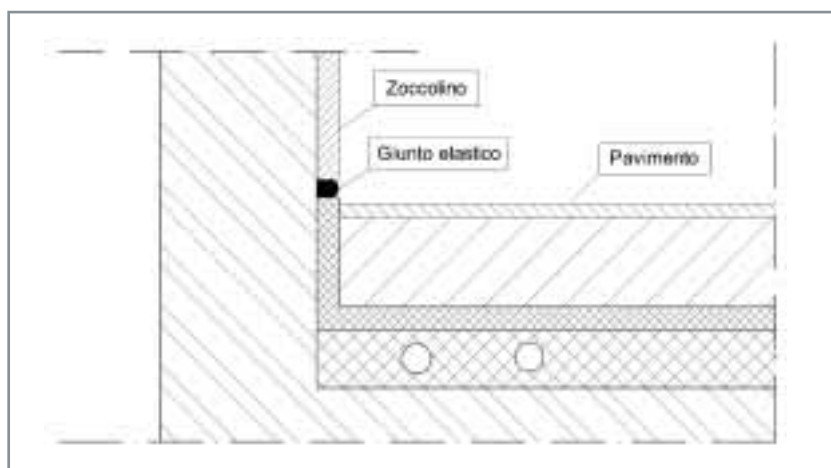
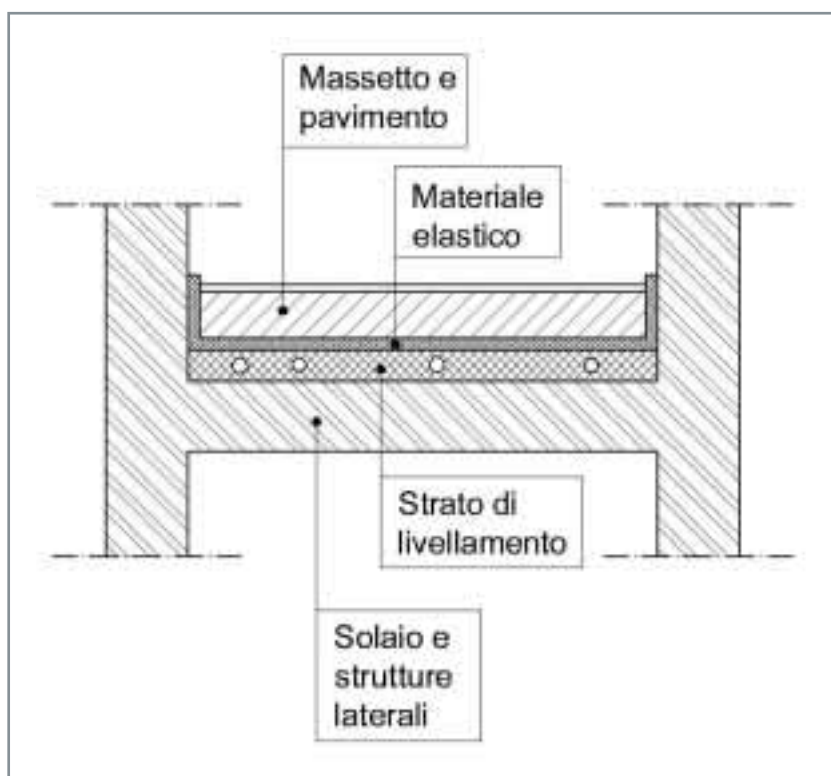


## 4.6 Rumore impattivo

Un primo banale intervento per limitare la trasmissione dei rumori di calpestio tra ambienti consiste semplicemente nell'utilizzare uno strato di rivestimento superficiale elastico smorzante (moquette, tappeti, rivestimenti in linoleum ecc.).

Non essendo sempre realizzabili tali tipologie di interventi in genere si procede col desolidarizzare la parte "vibrante" dalle strutture laterali mediante la realizzazione di un massetto galleggiante. Tale sistema costruttivo ha il vantaggio di assolvere le prescrizioni legislative (DPCM 5-12-1997) consentendo all'utente di utilizzare qualsiasi tipo di rivestimento.

La posa di un massetto galleggiante consiste sostanzialmente nel realizzare una "vasca" di materiale elastico smorzante, al di sopra del solaio strutturale e dell'eventuale strato di livellamento, all'interno della quale alloggiare il massetto e la pavimentazione. Questa "vasca" dovrà desolidarizzare completamente pavimento e massetto da tutte le strutture al contorno.



È quindi di fondamentale importanza garantire il completo distacco di massetto e pavimento dalle strutture circostanti. Pertanto bisognerà prestare particolare attenzione:

- alla posa dello strato resiliente, il quale dovrà essere privo di discontinuità, sormontato e non lacerato
- alla posa del pavimento, che non dovrà entrare in contatto con le pareti laterali
- alla posa degli zoccolini, o dei rivestimenti in piastrelle a parete, che non dovranno entrare in contatto rigido con il pavimento

### Rumore impattivo: metodi di calcolo

L'indice del livello di rumore di calpestio in opera ( $L'_{nw}$ ) può essere calcolato con la seguente formula

$$L'_{nw} = L_{nweq} - \Delta L_w + K$$

dove:

$L_{nweq}$  è il livello di rumore da calpestio equivalente riferito al solaio "nudo", privo dello strato di pavimento galleggiante [dB]

$\Delta L_w$  è l'indice di valutazione relativo alla riduzione dei rumori di calpestio dovuto alla presenza di pavimento galleggiante o rivestimento resiliente [dB]

$K$  è la correzione da apportare per la presenza di trasmissione laterale di rumore. Il suo valore dipende dalla massa superficiale del solaio "nudo" e dalla massa superficiale delle strutture laterali [dB]

Il valore di  $L_{nweq}$ , relativo alla struttura priva di pavimento galleggiante



può essere ricavata da prove di laboratorio oppure calcolata con la seguente formula.

$$L_{n\text{req}} = 164 - 35 \log \frac{m'}{m'_0}$$

dove:

$m'$  è la massa superficiale del solaio "nudo" ( $\text{kg/m}^2$ )

$m'_0$  è la massa di riferimento pari a  $1 \text{ kg/m}^2$

Tale formula è utilizzabile per solai di tipo "omogeneo" (ad esempio solai in CLS) aventi massa per unità di area ( $m'$ ) compresa tra 100 e  $600 \text{ kg/m}^2$ .

Per i solai tipo laterocemento invece si propone di utilizzare la formula:

$$L_{n\text{req}} = 160 - 30 \log \frac{m'}{m'_0}$$

L'indice  $DLw$  può essere ricavato da certificati di laboratorio conformi alle seguenti normative: UNI EN ISO 140-6

nel caso di strati resilienti utilizzati sotto il massetto (pavimenti galleggianti). Si fa presente che per i "pavimenti galleggianti" si richiede che la prova venga effettuata su un campione di almeno  $10 \text{ m}^2$  di massetto.

UNI EN ISO 140-8

nel caso di strati resilienti utilizzati come rivestimento (ad esempio rivestimenti in linoleum).

L'indice  $DLw$  può anche essere ricavato analiticamente, per quanto riguarda i pavimenti galleggianti, mediante le seguenti formule:

$$\Delta L_w = 30 \log \frac{f}{f_0} + 3 \quad (\text{per pavimenti galleggianti realizzati con massetto in calcestruzzo})$$

$$\Delta L_w = 40 \log \frac{f}{f_0} - 3 \quad (\text{per pavimenti galleggianti realizzati con massetto a secco})$$

dove:

$f$  è la frequenza di riferimento pari a  $500 \text{ Hz}$

$f_0$  è la frequenza di risonanza del sistema massetto+strato resiliente, calcolata in base alla seguente relazione:

$$f_0 = 160 \sqrt{\frac{s'}{m'}}$$

dove:

$s'$  è la rigidità dinamica dello strato resiliente interposto ottenuta secondo prove di laboratorio conformi alla UNI EN 29052-1; 1993 [ $\text{MN/m}^3$ ]. Tale prestazione deve essere fornita dal produttore del materiale resiliente.

$m'$  è la massa superficiale del massetto soprastante lo strato resiliente [ $\text{kg/m}^2$ ]

## Calcolo di K

Il valore dell'indice  $K$  è ricavabile dalla seguente tabella. Esso dipende dalla massa superficiale del solaio "nudo", privo di pavimento galleggiante e dalla massa superficiale media della pareti laterali.

La massa superficiale media delle pareti laterali si calcola facendo la media ponderata secondo la dimensione delle varie strutture, senza considerare le masse proprie di eventuali strati di rivestimento (ad esempio eventuali contropareti).

Indice K		Massa sup. media pareti laterali [ $\text{kg/m}^2$ ]								
		100	150	200	250	300	350	400	450	500
Massa sup. solaio nudo [ $\text{kg/m}^2$ ]	150	2	1	1	1	1	0	0	0	0
	200	2	1	1	1	1	0	0	0	0
	250	3	2	2	1	1	1	1	1	1
	300	3	2	2	1	1	1	1	1	1
	350	3	2	2	2	1	1	1	1	1
	400	3	3	2	2	2	1	1	1	1
	450	3	3	2	2	2	2	1	1	1
	500	3	3	2	2	2	2	1	1	1
	550	4	3	3	3	2	2	2	2	2
	600	4	3	3	3	2	2	2	2	2

## 4.7 Soluzioni tecniche Knauf





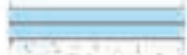
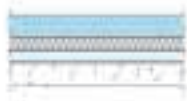

### Sottofondi a secco Knauf

F12

#### Isolamento da rumore di calpestio - solette massive

L'isolamento da rumore di calpestio per solette massive sono da calcolare secondo la norma DIN 4109, all. 1.

Nella seguente tabella sono stati raccolti l'incremento dell'isolamento dal rumore di calpestio  $\Delta L_{w,R}$  per diverse stratigrafie di pavimenti.

Stratigrafie pavimentazioni	Stratigrafie pavimentazioni + stratigrafia al di sotto dello stato portante	Spessore totale mm	Riduzione rumore di calpestio (incremento isolamento rumore di calpestio) soletta massiva $\Delta L_{w,R}$ (dB)	Certificati
	• Brio 18 / Brio 23 • 20 mm EPS	38 / 43	16	ita 0034.04-P85
	• Pavilestre 2x 12,5 • 10 mm: Fibre di legno oppure • 10 mm: Lana minerale oppure • 20 mm: EPS oppure • 7 mm: PE - foglio in etilene	35 35 45 32	16	ita 0034.04-P85 ita 0034.04-P85 IBP P-BA 143/92 IBP GS 545/79
	• Brio 18 / Brio 23 • 10 mm: Fibre di legno oppure • 10 mm: Lana minerale	28 / 33	17	ita 0034.04-P85
	• Brio 18 + Brio 18 <sup>1)</sup> • 10 mm: Fibre di legno oppure • 10 mm: Lana minerale	46	18	ita 0034.04-P85
	• Pavilestre 2x 12,5 • 35 mm Knauf Trockenschüttung PA	60	20	IBP GS 244/81
	• Brio 18 / Brio 23 • 10 mm: Lana minerale <sup>2)</sup> oppure • 10 mm: Fibre di legno • 20 mm Knauf Trockenschüttung PA	48 / 53 (senza strato di separazione)	22	ita 0121.98-P130
	• Pavilestre 2x 12,5 • 8 mm: Fibre di legno • 35 mm Knauf Trockenschüttung PA	68	22	IBP GS 246/81

<sup>1)</sup> testato senza incollaggio

<sup>2)</sup> strato di separazione necessario (lastra Knauf  $\geq 9,5$  mm)

#### Indicazioni sugli strati isolanti (al di sotto dello strato di lastra)

Per le misure sono stati utilizzati:

- Fibre di legno  
Densità 240 kg/m<sup>3</sup> Rigidità dinamica 40 MN/m<sup>3</sup>
- EPS = EPS DEO secondo norma DIN 4108-10.  
Per solette senza requisiti di isolamento di calpestio  
(corrisponde al PS 20 di una volta)
- Lana minerale  
Densità 180 kg/m<sup>3</sup>  
Utilizzare solo pannelli idonei per i pavimenti ad elementi finiti  
accoppiati con il gesso raccomandati dal produttore di lana minerale
- Trockenschüttung PA  
Densità 500 kg/m<sup>3</sup>

#### Annotazioni sulla tabella

- I valori valgono per gli elementi preaccoppiati e per le combinazioni di stratigrafie
- Per gli strati del massetto evidenziato in blu il  $\Delta L_{w,R}$  è stato calcolato. I valori degli strati del massetto integrati si basano sull'esperienza (equiparazione lana minerale/fibre di legno; valore di misura per la lastra Brio 18 equiparato alla lastra Brio 23)

Valore stimato per il livello di rumore di calpestio  $L_{nw}$  di sistemi di solai pieni massicci con controsoffitti in lastre di gesso rivestito e/o pavimenti galleggianti.

(La documentazione deriva dalla norma DIN 4109 11.89 - Suppl. 1 Tab. 11, 16)

Sistemi di solai pieni di tipo massivo	Massa di riferimento della superficie compreso massetto di collegamento (botteforido) o massetto continuo se strato elastico di separazione e intonaco posato direttamente		$L_{nw}$ dB
	Knauf - sistemi di controsoffittatura	kg/m <sup>2</sup>	
			135
			160
			190
			225
			270
			320
			380
			450
			530
			135
			160
			190
			225
			270
			320
			380
			450
			530
			135
			160
			190
			225
			270
			320
			380
			450
			530

Knauf - Sistemi di pavimentazione ④	Valore di miglioramento del rumore di calpestio ΔLw dB del rivestimento del solaio o del pavimento galleggiante					
	16	18	20	22	26	32
Livello stimato nella norma del rumore di calpestio Lw dell'intera struttura + 2 dB (aggiunta di sicurezza)						

+ ④

Rivestimento del solaio o pavimento galleggiante

Sistemi Knauf:

F 141

F 142

F 31

① + ④ =

72	70	68	66	62	56
71	69	67	65	61	55
70	68	66	64	60	54
68	66	64	62	58	52
65	63	61	59	55	49
63	61	59	57	53	47
60	58	56	54	50	44
57	55	53	51	47	41
55	53	51	49	45	39

① + ② + ④ =

61	59	57	55	51	45
60	58	56	54	50	44
60	58	56	54	50	44
59	57	55	53	49	43
59	57	55	53	49	43
58	56	54	52	48	42
57	55	53	51	47	41
55	53	51	49	45	39
53	51	49	47	43	37

① + ③ + ④ =

61	59	57	55	51	45
60	58	56	54	50	44
60	58	56	54	50	44
58	56	54	52	48	42
55	53	51	49	45	39
53	51	49	47	43	37
50	48	46	44	40	34
47	45	43	41	37	31
45	43	41	39	35	29

### Esempio di calcolo

Si consideri un solaio in calcestruzzo da 20 cm (massa superficiale =  $2300 \times 0,2 = 460 \text{ kg/m}^2$ ) rivestito con un sottofondo a secco Knauf tipo Pavilastre 2 x 12,5 + 35 mm di materiale granulare.

$$L_{nweq} = 164 - 35 \log(460) = 70,8 \text{ dB}$$

$$DLw \text{ (da certificato Knauf)} = 22 \text{ dB}$$

$K = 2$  (ipotizzando pareti laterali aventi una massa superficiale media pari a  $150 \text{ kg/m}^2$ )

$$L'_{nw} = 70,8 - 22 + 2 = 50,8 \text{ dB}$$

Il risultato è inferiore a 63 dB, valore massimo prescritto dal DPCM 5-12-1997 per i locali di civile abitazione.

### 4.8 Isolamento acustico delle facciate

Per caratterizzare la capacità di abbattere i rumori provenienti dall'esterno di una facciata il D.P.C.M. 5-12-1997 richiede di verificare l'indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato rispetto al tempo di riverberazione, a 2 metri di distanza della facciata ( $D_{2m,Tw}$ ).

Tale indice dipende dal potere fonoisolante apparente della facciata ( $R'_{w}$ ), dalla forma esterna della facciata e dalle dimensioni della stanza in esame.

Le procedure utilizzate per calcolare  $D_{2m,Tw}$  di seguito esposte sono tratte dal rapporto tecnico UNI TR 11175.

#### Isolamento acustico delle facciate: Metodo di calcolo

Calcolo di  $D_{2m,Tw}$

L'indice  $D_{2m,Tw}$  viene calcolato con la seguente formula

$$D_{2m,Tw} = R'_{w} + \Delta L_{f} + 10 \log \left( \frac{V}{6T_0 S_{ext}} \right)$$

dove:

$R'_{w}$  è l'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente della facciata [dB]

$DL_{fs}$  è il termine correttivo che quantifica l'influenza delle caratteristiche della facciata [dB]

$V$  è il volume interno del locale considerato [ $\text{m}^3$ ]

$T_0$  è il tempo di riverberazione di riferimento, assunto pari a 0,5 s

$Stot$  è la superficie di facciata vista dall'interno [ $\text{m}^2$ ]

#### Calcolo di $R'_{w}$

L'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente ( $R'_{w}$ ) della facciata è calcolato sulla base dei valori dell'indice di valutazione del potere fonoisolante ( $R_w$ ) dei singoli elementi che la costituiscono (elementi opachi e serramenti) e sulla base degli indici di isolamento acustico ( $D_{nwi}$ ) dei piccoli elementi presenti su di essa.

Per piccoli elementi si intendono gli elementi della facciata, con l'eccezione di porte e finestre, con area minore di  $1 \text{ m}^2$ . Ad esempio vengono considerati piccoli elementi le bocchette di ventilazione, gli ingressi d'aria e i cassonetti delle tapparelle.

$$R'_{w} = -10 \log \left( \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{S_{tot}} 10^{-\frac{R_{wi}}{10}} + \frac{A_0}{S_{ext}} \sum_{i=1}^n 10^{-\frac{D_{nwi}}{10}} \right) - K$$

dove:

$R_{wi}$  è l'indice di valutazione del potere fonoisolante dell'elemento i-esimo costituente la facciata [dB]

$S_i$  è la superficie dell'elemento i-esimo di facciata visto dall'interno del locale [ $\text{m}^2$ ]

$A_0$  sono le unità di assorbimento di riferimento, pari a  $10 \text{ m}^2$

$D_{nwi}$  è l'indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato del piccolo elemento i-esimo [dB]

$K$  è la correzione relativa al contributo della trasmissione laterale

#### Calcolo di $K$

Il contributo della trasmissione laterale è solitamente trascurabile. Se però elementi di facciata rigidi e pesanti (quali calcestruzzo o mattoni) sono collegati rigidamente ad altri elementi rigidi all'interno dell'ambiente ricevente, come pavimenti o pareti divisorie, la trasmissione laterale può contribuire alla trasmissione sonora totale. Ciò potrebbe diventare rilevante se sono richiesti elevati requisiti di isolamento dal rumore.

Di conseguenza, a favore di sicurezza, nei casi che comportano la presenza di elementi rigidi si può considerare la trasmissione laterale in maniera "globale" diminuendo il potere fonoisolante di 2 dB. ( $K = 2 \text{ dB}$ ).

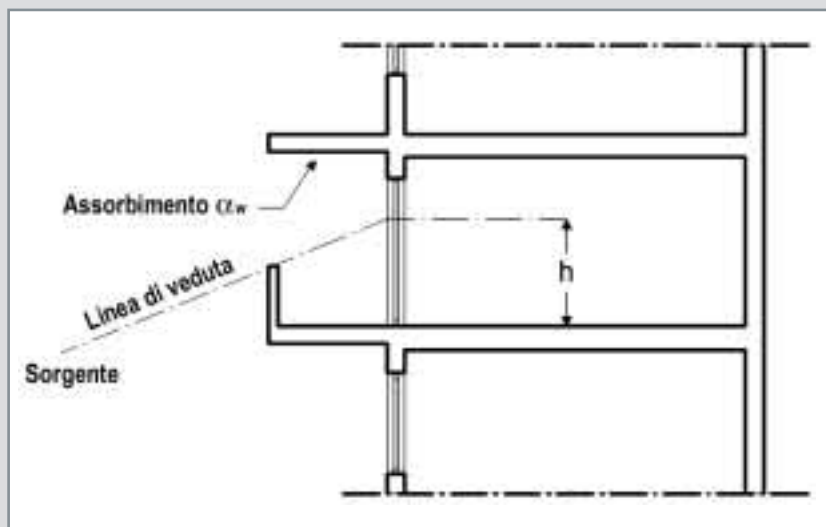
Altrimenti  $K = 0$



## Calcolo di DLfs

Il termine correttivo che quantifica l'influenza delle caratteristiche della facciata dipende dalla forma della facciata, dall'assorbimento acustico delle eventuali superfici sottobalcone ( $a_w$ ) e dal modo di incidenza delle onde sonore.

La direzione dell'onda sonora incidente sulla facciata si caratterizza mediante l'altezza definita dalla intersezione tra la linea di veduta dalla sorgente ed il piano di facciata.



Nella tabella seguente sono riportati alcuni valori di DLfs.

La forma della facciata è definita dalla sua sezione verticale, in cui sono riportati solo gli schermi acustici significativi, (ad esempio i parapetti dei balconi a sezione piena). L'assorbimento  $a_w$  si riferisce all'indice di valutazione dell'assorbimento acustico come definito dalla norma UNI EN ISO 11654.

	Facciata piana	Ballatoio			Ballatoio			Ballatoio			Ballatoio		
$a_w$	NSA	$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$	$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$	$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$	$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$
$h < 1,5 \text{ m}$	0	-1	-1	0	-1	-1	0	0	NSA	1	NSA		
$1,5 \text{ m} \leq h \leq 2,5 \text{ m}$	0	NSA			-1	0	2	0	1	3	NSA		
$h > 2,5 \text{ m}$	0	NSA			1	1	2	2	2	3	3	4	6

	Balcone			Balcone			Balcone			Terrazza					
										Schermature aperte			Schermature chiuse		
$a_w$	$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$	$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$	$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$	$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$	$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$
$h < 1,5 \text{ m}$	-1	-1	0	0	0	1	1	1	2	2	1	1	3	3	3
$1,5 \text{ m} \leq h \leq 2,5 \text{ m}$	-1	1	3	0	2	4	1	1	2	3	4	5	5	6	7
$h > 2,5 \text{ m}$	1	2	3	2	3	4	1	1	2	4	4	5	6	6	7

Legenda - Ballatoio: terrazza continua - Balcone: terrazza discontinua limitata lateralmente - NSA: Non si applica



### Esempio di calcolo

Si considerino i seguenti dati di ingresso:

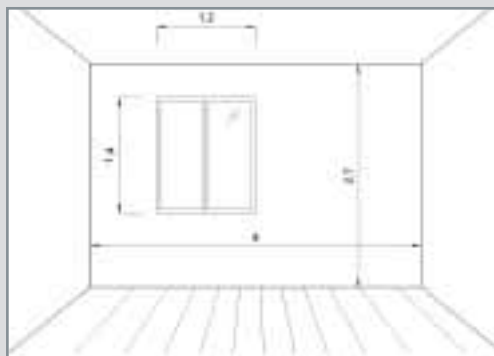
Parete esterna (dimensione complessiva 4 x 2,7 m = 10,8 m<sup>2</sup>) costituita da:

- Finestra (doppio vetro con intercapedine d'aria 4-12-4): Superficie 1,68 m<sup>2</sup>,  $R_w = 30$  dB
- Parete opaca realizzata con tecnologia Knauf Aquapanel (doppia struttura metallica): Superficie 9,12 m<sup>2</sup> (al netto della finestra),  $R_w = 60$  dB (stimabile per pareti leggere a doppia struttura)

Volume del locale: 4 x 4 x 2,7 = 43,2 m<sup>3</sup>

Facciata piana:  $DL_f = 0$

Trasmissioni laterali nulle:  $k = 0$



Utilizzando la formula precedentemente descritta si ottiene

$$R_{-} = -10 \lg \left( \frac{1,68}{10,8} 10^{-\frac{30}{10}} + \frac{9,12}{10,8} 10^{-\frac{60}{10}} \right) - 0 = 38 \text{ dB}$$

$$D_{in,dlf} = 38 + 0 + 10 \lg \left( \frac{43,2}{6 \cdot 0,5 \cdot 10,8} \right) = 39,2 \text{ dB}$$

Dal calcolo si osserva che pur utilizzando una parete ad elevatissimo potere fonoisolante (60 dB), l'inserimento di una finestra a basso potere fonoisolante vanifica l'isolamento acustico dai rumori provenienti dall'esterno.

La prestazione complessiva della parete può essere ulteriormente diminuita nel caso che sulla parete vengano montati cassonetti e/o bocchette di aerazione con basso indice di isolamento acustico. In particolare si segnala che la presenza del foro di aerazione dei locali cucina, se non è adeguatamente silenziato, vanifica qualsiasi intervento di isolamento dai rumori esterni.

### Grafici superfici finestrate e bocchette di aerazione

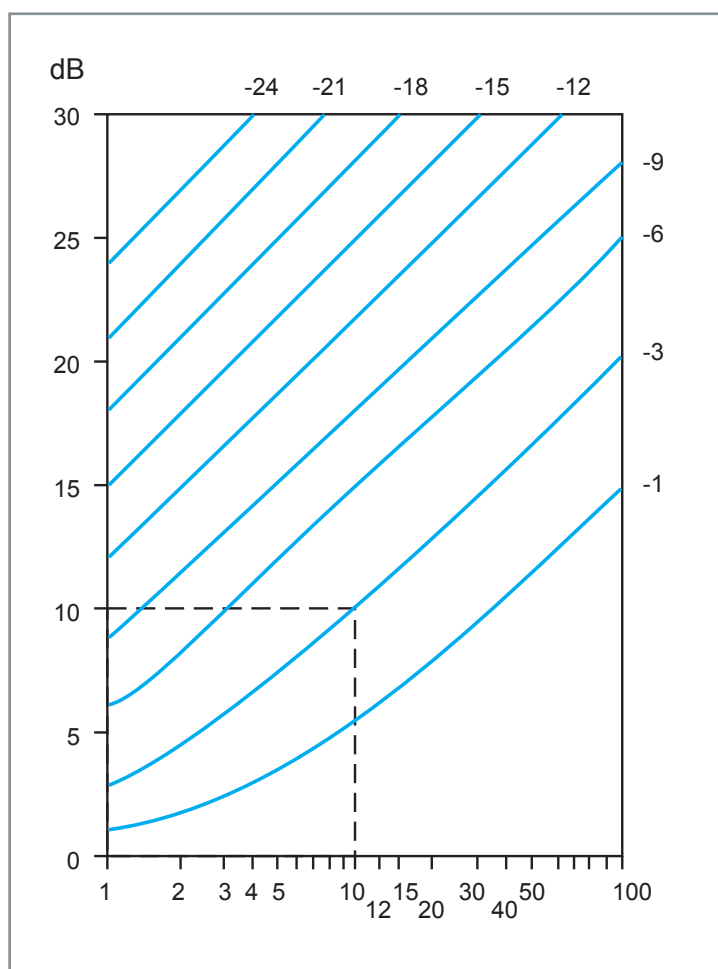
Di seguito si riportano due utili grafici che permettono di stimare l'influenza negativa sull'isolamento acustico di facciata delle superfici finestrate e delle bocchette di aerazione non silenziate.

#### Grafico 1: incidenza delle superfici finestrate

In ascissa (asse x) inserire il rapporto tra superfici opache e superfici finestrate.

In ordinata (asse y) la differenza tra potere fonoisolante di superfici opache e superfici finestrate.

All'incrocio si ottiene il decremento da sommare all'indice di potere fonoisolante delle superfici opache.



#### Esempio di calcolo:

Superfici opache:  $R_w = 50$  dB; Superficie = 20 m<sup>2</sup>

Superfici finestrate:  $R_w = 40$  dB; Superficie = 2 m<sup>2</sup>

Rapporto tra superfici = 20/2 = 10 (asse x)

Differenza tra  $R_w = 50 - 40 = 10$  dB (asse y)

Incrocio = -3 dB

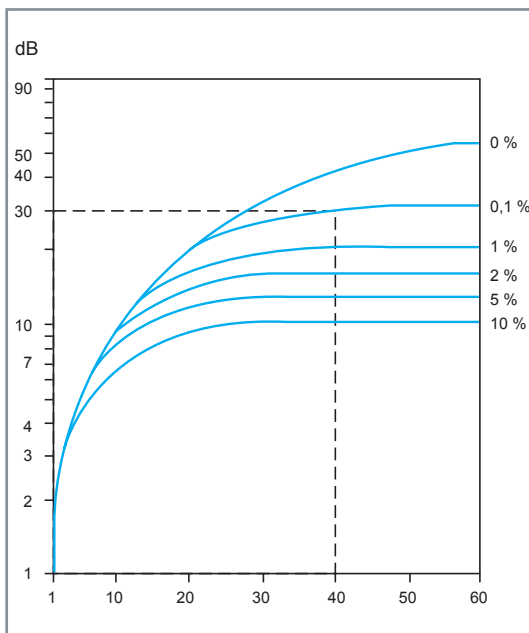
$R_w$  complessivo = 50 - 3 = 47 dB

Grafico 2: incidenza delle aperture (bocchette di aerazioni non silenziate)

In ascissa (asse x) inserire il valore di potere fonoisolante della parete (priva di aperture).

In ordinata (asse y) il valore di potere fonoisolante richiesto (con le aperture).

All'incrocio si ottiene il valore percentuale massimo di aperture possibili.



Esempio di calcolo:

Potere fonoisolante parete priva di aperture:  $R_w = 40$  dB (asse x);

Potere fonoisolante richiesto alla parete:  $R_w = 30$  dB (asse y)

Incrocio: curva 0,1 %

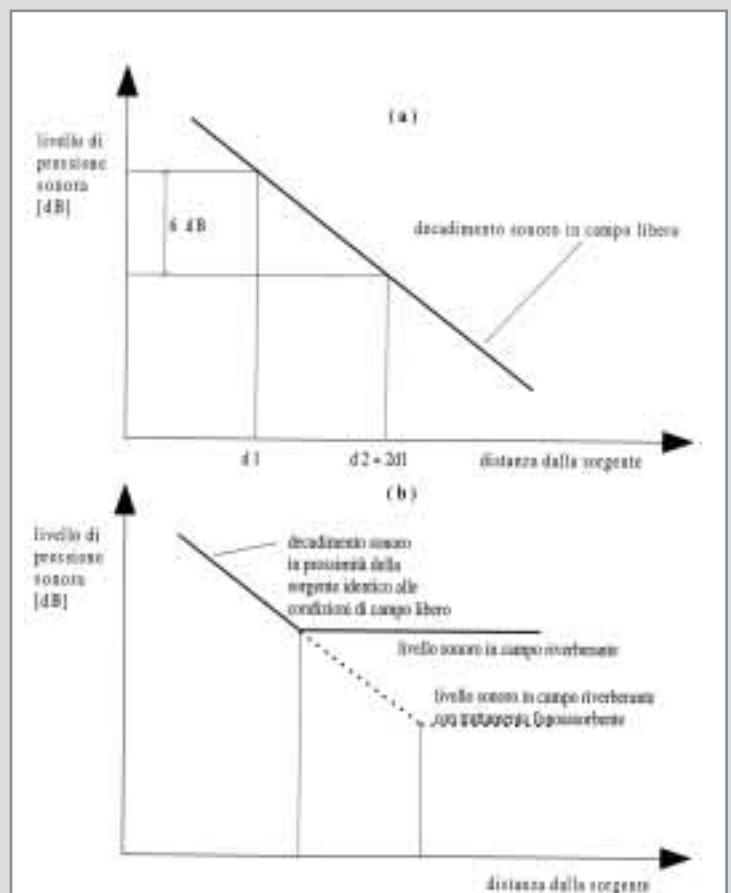
La percentuale massima di foratura può essere lo 0,1 % della parete complessiva

## 5 La correzione acustica degli ambienti confinati

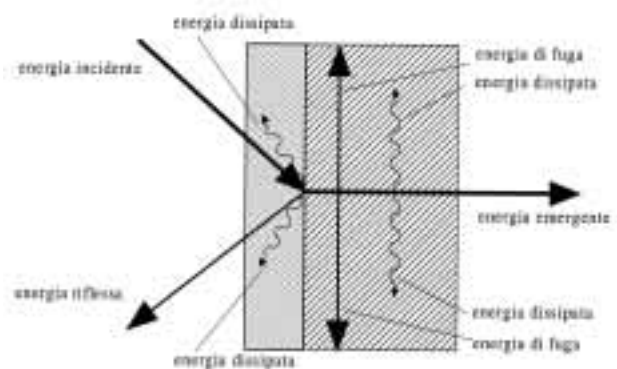
### 5.1 Assorbimento

Un'onda sonora in campo libero diminuisce la sua intensità sonora in dipendenza della distanza percorsa, con un decadimento pari a 6 dB per il raddoppio della distanza fra sorgente e ricevitore.

In campo riverberante il decadimento ha le stesse caratteristiche che in campo libero nelle immediate vicinanze della sorgente, dopodiché non è più in relazione alla distanza dalla stessa ma con l'assorbimento dell'ambiente.



Rappresentazione del decadimento sonoro in campo libero (a) e in ambiente riverberante confinato (b).



Trasformazioni dell'energia sonora incidente sulla superficie di una parete

Una sorgente sonora che agisce in uno spazio chiuso genera un livello di pressione sonora costituito da suoni diretti e suoni riflessi. A partire da una certa distanza dalla sorgente tale livello si stabilizza su valori relazionabili alle caratteristiche di assorbimento dell'ambiente stesso.

Quando un'onda sonora incide una superficie qualunque la sua energia viene dissipata in parte dalla massa della parete sotto forma di energia termica, un'altra parte passa al di là della parete e si propaga nell'ambiente confinante, ed una parte ancora viene riflessa nell'ambiente da cui essa proviene. L'energia riflessa è ovviamente una frazione dell'energia incidente, che continua a "rimbalzare" da una parete all'altra dell'ambiente: tanto più le pareti saranno fonoassorbenti, tanto più l'energia sonora decadrà rapidamente.

L'assorbimento di un qualsiasi materiale è legato all'angolo di incidenza dell'onda acustica: all'interno di un ambiente chiuso si considera come angolo di incidenza un valore medio fra tutte le direzioni delle onde riverberate.

Il coefficiente di assorbimento di un materiale è definito come il rapporto fra l'energia acustica assorbita (con varie modalità che vedremo) e l'energia acustica incidente tale materiale.

Coeff. di assorbimento =  $E_{\text{assorbita}} / E_{\text{incidente}}$

Il coefficiente di assorbimento può variare da 0 a 1. Per l'unità non si ha alcuna riflessione e fisicamente ciò equivale ad avere uno spazio aperto al posto della superficie (tutta l'energia acustica viene assorbita). È importante notare come il coefficiente di assorbimento possa cambiare anche considerevolmente con la frequenza.

L'assorbimento  $a$  di una parete omogenea di area  $s$  ( $m^2$ ) è dato dalla seguente relazione:

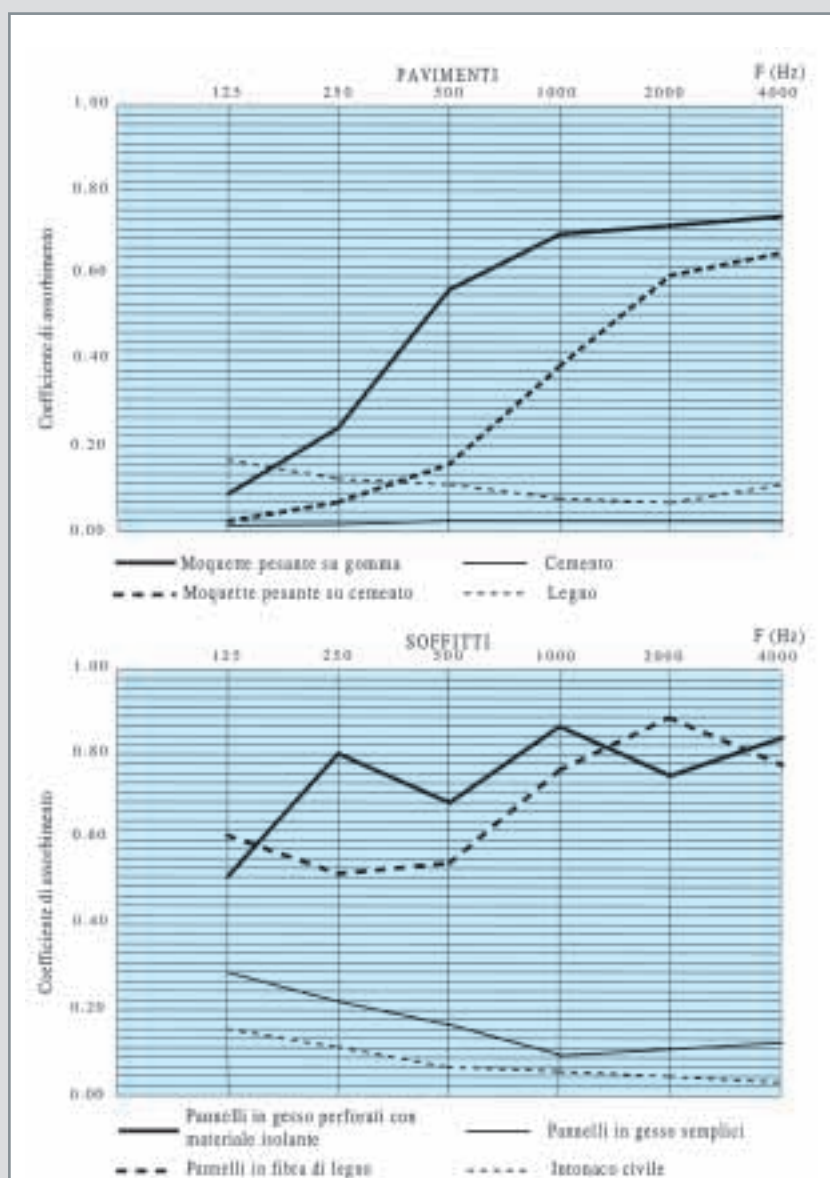
$$a = \alpha \cdot s$$

di conseguenza l'assorbimento di una parete composta da materiali differenti con  $\alpha$  diversi è dato da:

$$a = \sum \alpha_i S_i = \alpha_m \cdot S$$

Il coefficiente di assorbimento medio della parete è dato da

$$\alpha_m = \frac{\sum \alpha_i S_i}{S}$$



Variazione del potere fonoassorbente al variare della frequenza per alcuni materiali

## 5.2 Materiali fonoassorbenti

I materiali fonoassorbenti possono essere distinti sostanzialmente in tre grandi categorie, in funzione del principio fisico che provoca l'assorbimento acustico: i materiali porosi, i pannelli vibranti, i risonatori. Ciascuna di queste tipologie ha peculiarità diverse che la rendono più o meno adatta per un determinato impiego.

Per tutte vale il principio in base al quale il fonoassorbimento si attua mediante la trasformazione in calore di parte dell'energia sonora incidente.

## Materiali porosi

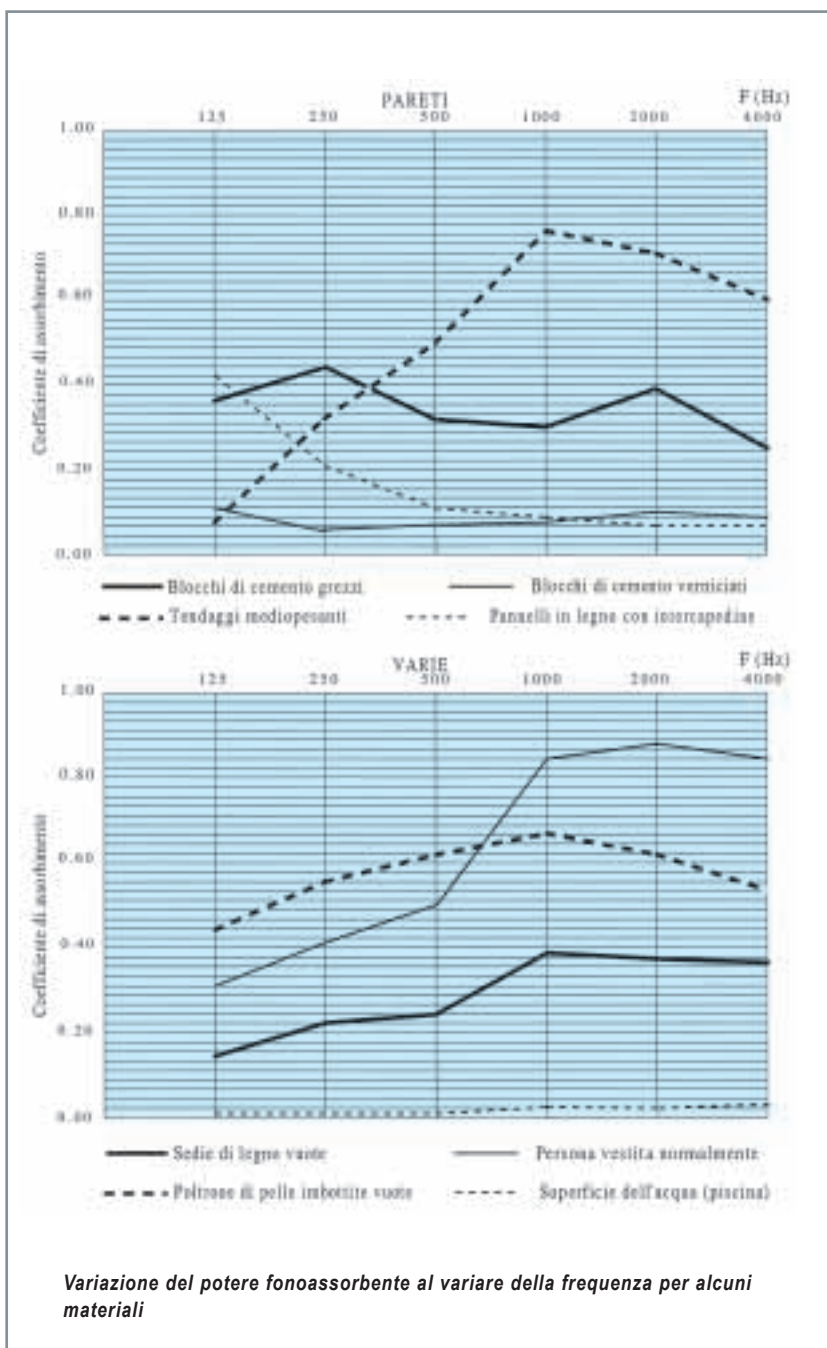
Nei materiali porosi l'assorbimento avviene per trasformazione dell'energia sonora in calore a causa dell'attrito che le onde sonore incontrano all'interno di essi.

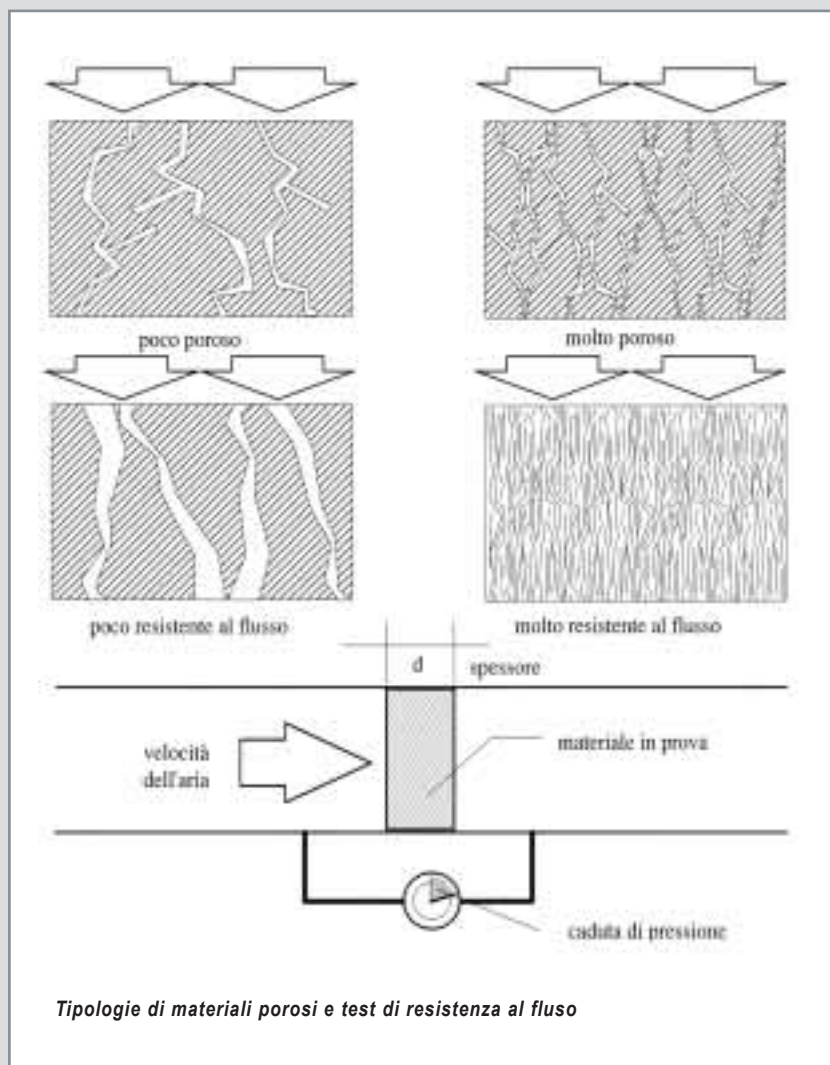
I materiali porosi esercitano la loro funzione secondo due parametri fondamentali: la loro trasparenza acustica, e cioè la capacità di lasciare entrare le onde sonore al loro interno, e la loro resistenza al flusso. L'efficacia del fonoassorbimento dipende dal giusto bilanciamento dei due parametri. In altre parole si può semplicemente dire che un buon materiale fonoassorbente dovrà essere sufficientemente trasparente ai suoni ma dovrà anche essere in grado di disperdere l'energia mediante la resistenza al flusso.

La trasparenza acustica è correlata alla porosità del materiale e la resistenza al flusso alla complessità di percorso indotta dall'orientamento dei fori. Nei materiali composti da fibre minerali, ad esempio, si distinguono quelli a fibre orientate: tali pannelli hanno un'efficienza superiore se le fibre sono normali al flusso.

Un semplice metodo per valutare il grado di resistenza al flusso di un materiale poroso consiste nel misurare la caduta di pressione in un condotto.

Qualitativamente l'assorbimento acustico dei materiali porosi cresce con la frequenza e con lo spessore dei pannelli.





## Pannelli vibranti

Il funzionamento come materiali fonoassorbenti dei pannelli flessibili è legato fondamentalmente alla loro elasticità.

Se si pensa ad un elemento impermeabile all'aria e flessibile e ad un'onda sonora incidente sulla sua superficie, si nota che l'energia dell'onda sonora viene dissipata mediante la vibrazione dell'elemento stesso. In pratica la pressione acustica provoca una inflessione della membrana, la quale comincia a vibrare e diventa essa stessa fonte di onde sonore: quando queste onde sono in controfase rispetto alle onde incidenti si ha un annullamento di queste ultime.

Affinché il fonoassorbimento sia effettivo e completo è necessario che le vibrazioni siano smorzate dall'attrito interno alla superficie vibrante, dai supporti che la sostengono, ed eventualmente da materiale poroso sistemato dietro la superficie. I pannelli vibranti esercitano la loro funzione fonoassorbente spiccatamente alla loro frequenza di risonanza, e danno quindi un assorbimento di tipo molto selettivo. Le frequenze di risonanza dei pannelli vibranti si assestano mediamente alle basse frequenze: di qui nasce la loro complementarietà con i materiali porosi che invece sono più efficienti alle alte frequenze.

Per questa ragione un accurato assorbimento acustico si può ottenere con la combinazione dei due sistemi.

La frequenza di risonanza di un pannello vibrante è data da:

$$f_{ris} = 60 \sqrt{\frac{1}{m \cdot l}} \text{ Hz}$$

dove:

$m$  = massa superficiale in Kg/m<sup>2</sup>

$l$  = spessore dell'intercapedine d'aria in m

## Risonatori

Un altro sistema per assorbire le onde è costituito dai risonatori. Un semplice esempio di risonatore a cavità singola è una bottiglia: l'aria contenuta nella cavità di detta bottiglia si comporta a guisa di molla nei confronti della parte di aria che si trova nel collo, la quale se sollecitata da un'onda sonora oscilla avanti e indietro alla sua frequenza naturale, cioè alla frequenza di risonanza del recipiente, dissipando in tal modo l'energia acustica incidente.

Questo tipo di risonatore è denominato risonatore a cavità o risonatore di Helmholtz, e la sua frequenza di risonanza tipica è data dalla seguente formula:

$$f_{ris} = 60 \sqrt{\frac{1}{m \cdot l}} \text{ Hz}$$

dove:

$S$  = area della sezione trasversale del collo espressa in m<sup>2</sup>

$l$  = lunghezza del collo espressa in m.

$V$  = volume dell'aria contenuta nel recipiente espressa in m<sup>3</sup>

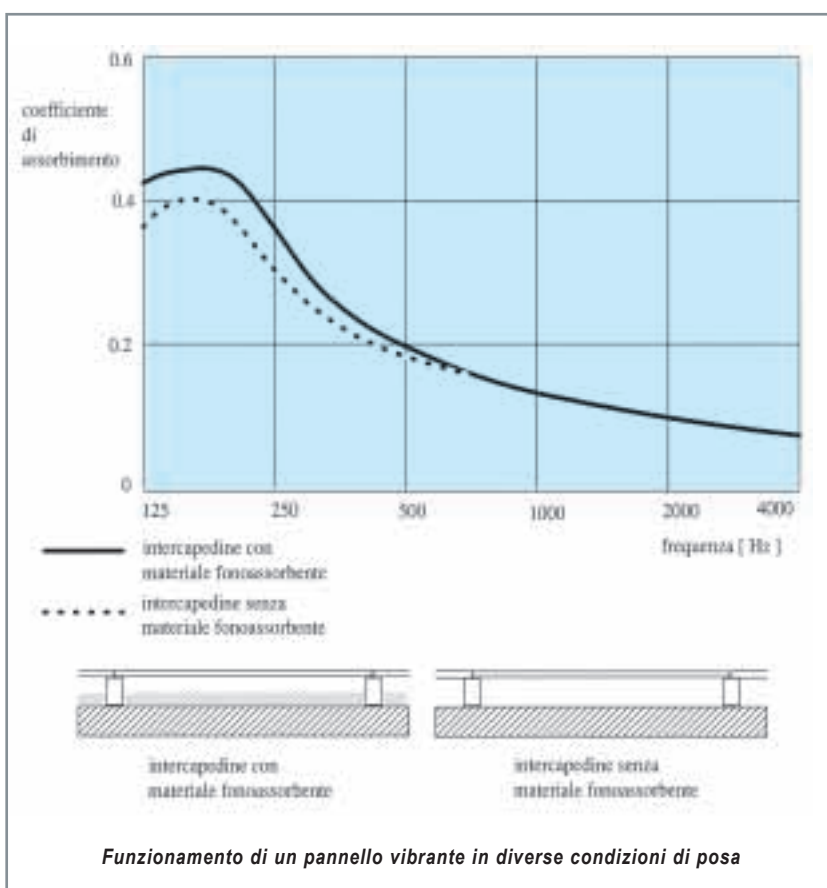
I risonatori a cavità si possono



considerare assorbitori acustici selettivi, nel senso che il loro rendimento è limitato ad una banda di frequenze molto ristretta: tale banda può essere allargata rivestendo le pareti interne del risonatore con materiali porosi, ma ciò comporta un appiattimento della curva di rendimento in frequenza che si attesta su valori decisamente più bassi.

Risulta quindi conveniente impiegare questo tipo di assorbitori laddove i suoni da eliminare abbiano uno spettro sonoro caratterizzato da componenti pure, per le quali divenga possibile il dimensionamento ad hoc delle cavità risonanti.

Un esempio tipico può essere individuato nelle lavorazioni industriali eseguite con le medesime tipologie di macchinari (tessiture, tornerie...).



Dovendo agire con dei risonatori su spettri sonori ampi, diviene necessario impiegare tipologie dimensionali differenti degli stessi. Questi sistemi sono denominati risonatori a cavità multiple.

I risonatori a cavità multiple sono costituiti generalmente da pannelli in lamiera, gesso rivestito o legno perforati con diversi diametri, recanti posteriormente ad una certa distanza una chiusura con pannelli rigidi: in altre parole sono casse acustiche con coperchi perforati, nelle quali ogni foro con il relativo spazio d'aria posteriore si comporta come un risonatore singolo, senza la necessità che detti spazi siano separati fra loro da setti.

Anche i risonatori multipli possono essere "trattati" posteriormente con materiali porosi per aumentarne lo spettro di azione. A differenza che per i risonatori singoli, tale trattamento non inficia considerevolmente il rendimento alle frequenze di risonanza, migliorando allo stesso tempo in modo considerevole

l'assorbimento su tutte le frequenze. La frequenza di risonanza di un risonatore multiplo è data approssimativamente dalla:

$$f_{ris} = 500 \sqrt{\frac{P}{1 (f+0,8d)}} \text{ Hz}$$

dove:

f = spessore della lastra in cm

d = diametro dei fori in cm

p = percentuale di superficie forata

l = spessore dell'intercapedine d'aria in cm

Si deve considerare che affinché sussistano le condizioni di un comportamento basato sull'effetto di risonanza, la superficie forata del pannello non deve superare il 20 - 30%, dopodiché il comportamento del pannello sarà semplicemente legato alla sua porosità.

La formula riportata considera fori con diametro compresi fra 10 e 20 mm., di conseguenza la sua applicabilità è consentita per intercapedini con profondità fino a 10 cm. circa: per profondità superiori l'influenza reciproca fra i vari risonatori è tale da non rendere possibile la selezione di una precisa gamma di frequenze.

Analogamente, se i fori hanno dimensioni diverse l'assorbimento è meno selettivo, in quanto le frequenze di risonanza sono legate al diametro dei fori, e non è possibile individuare una precisa frequenza di funzionamento.



### 5.3 La riverberazione

Una sorgente sonora in un ambiente delimitato irradia le onde verso le pareti; le onde che incidono sulle pareti, dopo un tempo iniziale occorrente a raggiungere la parete più vicina, si riflettono e vanno a colpire le altre pareti e così via. Dopo un transitorio dipendente dalle dimensioni dell'ambiente si avrà una situazione sonora stazionaria caratterizzata dal fatto che la potenza sonora dispersa è uguale alla potenza sonora immessa nell'ambiente dalla sorgente.

Se si considera un'ambiente completamente riflettente, si deve assumere che il livello di pressione sonora si elevi tanto quanto la sorgente immette con il solo assorbimento dovuto all'aria. In sostanza in un ambiente delimitato si avrà dopo breve tempo dall'accensione della sorgente un livello di pressione sonora ben maggiore di quello che la sorgente stessa è in grado di produrre, dipendente dal grado di assorbimento totale di cui l'ambiente è dotato.

Così come esiste un transitorio perché l'ambiente giunga a regime in dipendenza delle dimensioni dell'ambiente, si potrà osservare un altro importante fenomeno denominato riverberazione, che consiste nel permanere del suono per un certo periodo dopo lo spegnimento della sorgente.

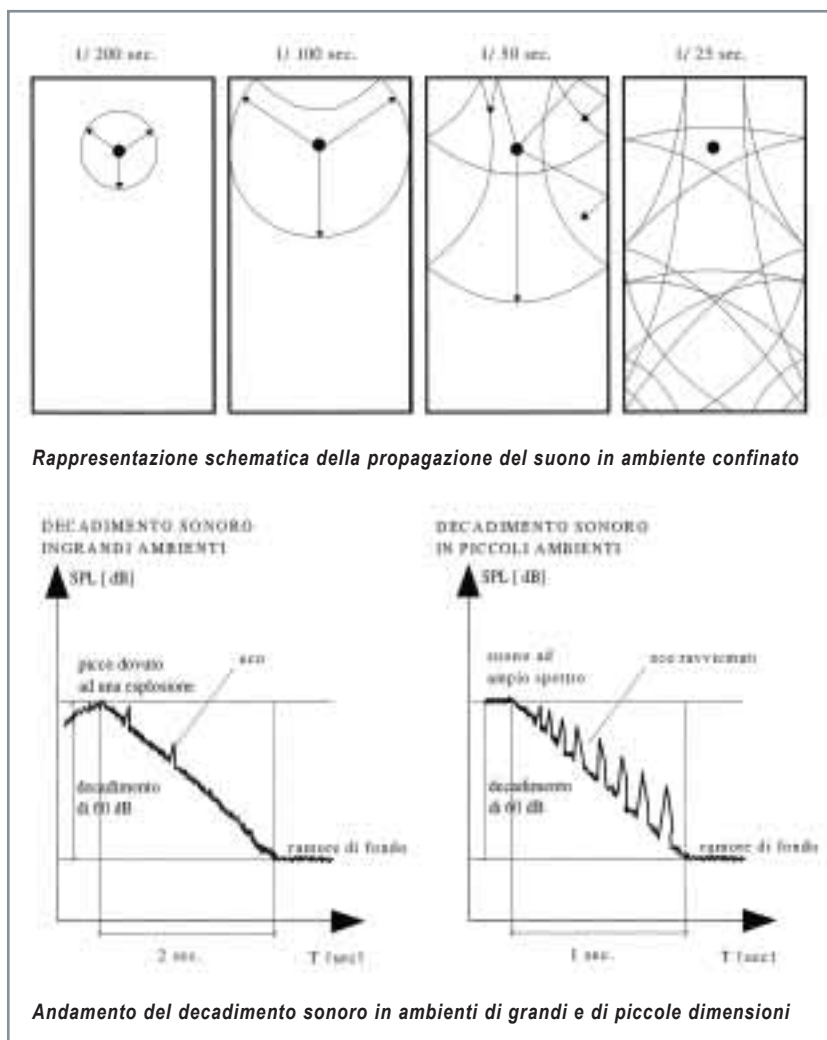
Il tempo impiegato dal suono per annullarsi completamente è tanto più lungo quanto meno assorbenti sono le pareti dell'ambiente: questo è dovuto al fatto che per cessare il suono deve esaurirsi l'energia essendo completamente assorbita o dissipata.

Nel caso in cui si sia in presenza di un ambiente caratterizzato da superfici

riverberanti il tempo di decadimento potrà durare anche per qualche secondo, potendo in questo modo essere udito con precisione dall'apparato uditivo umano. La parola e la musica sono linguaggi caratterizzati da suoni in successione più o meno rapida. La sovrapposizione dei suoni compromette l'intelligibilità della parola e la qualità della musica; la riverberazione eccessiva di un ambiente, essendo caratterizzata da un decadimento lento dei suoni, induce il fenomeno della sovrapposizione dei suoni emessi con le riflessioni dei suoni precedenti. Considerando un ambiente dotato di una geometria e di una distribuzione dei materiali fonoassorbenti in grado di consentire una distribuzione omogenea del suono, ne si può qualificare le caratteristiche acustiche mediante il tempo di riverberazione.

Il tempo di riverberazione è definito come il tempo che trascorre dalla fine dell'emanazione sonora alla riduzione dell'intensità sonora ad un milionesimo di quella di regime: più semplicemente si potrà dire che il tempo di riverberazione è dato dal tempo che impiega un suono a diminuire di 60 dB dallo spegnimento della sorgente.

Come si è già detto, il tempo di riverberazione è in grado di definire da solo il comportamento di un ambiente. Ambienti eccessivamente riverberanti fanno cattive qualità acustiche, ambienti troppo poco riverberanti non consentono una agevole diffusione dei suoni al loro interno.



Andamento del decadimento sonoro in ambienti di grandi e di piccole dimensioni

Esiste una semplice relazione analitica, la formula di Sabine, per prevedere il tempo di riverberazione in un qualunque ambiente nel quale il suono sia uniformemente diffuso in funzione del suo volume e dell'assorbimento totale.

$$T_0 = 0,16 \frac{V}{\Sigma \alpha_i S_i} = 0,16 \frac{V}{a_m \cdot S} = 0,16 \frac{V}{A}$$

dove:

$T_0$  = tempo di riverberazione in secondi

$V$  = volume

$S$  = superficie

$a_m$  = assorbimento medio

$A$  = assorbimento totale

La formula di Sabine è stata ottenuta empiricamente e con ipotesi semplificate dell'assorbimento specifico e medio. Una alternativa al metodo Sabine consiste nella formula di Eyring che risulta di più ampia validità, ed è espressa come di seguito:

$$T_0 = \frac{0,07 V}{S [-\log(1-\alpha)]}$$

Numerose fonti bibliografiche riportano diagrammi mediante i quali vengono identificate le migliori condizioni di tempo di riverberazione per le tipologie ambientali con riferimento all'uso cui sono preposte.

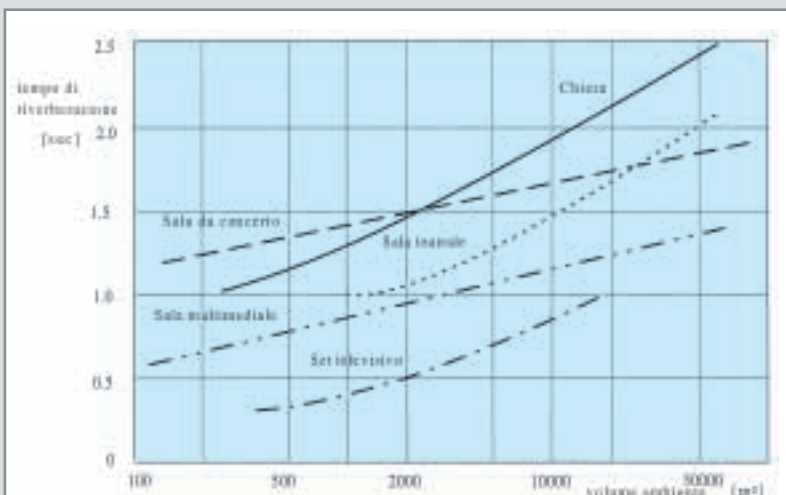
I tempi di riverberazione riportati nei diagrammi possono essere generalmente intesi con un range di tolleranza del 25% e sono validi per le frequenze al di sopra dei 500 Hz mentre per le basse frequenze risulta opportuno aumentare detto tempo di riverberazione di circa il 20% a 250 Hz e del 40% a 125 Hz. È inoltre opportuno che il Triv a 4000 Hz sia anch'esso leggermente superiore per compensare l'assorbimento dovuto all'aria che, trascurato nelle formule sopra esposte, diventa significativo alle alte frequenze e per

grandi ambienti.

Per questi motivi, per una progettazione corretta, è necessario effettuare una analisi in frequenza del tempo di riverberazione.

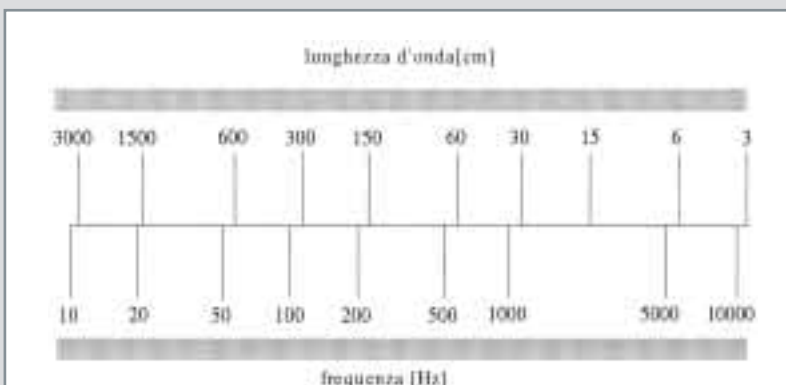
### 5.4 Il livello sonoro

Per una corretta idibilità è necessario che ogni ascoltatore presente in una sala riceva un livello di pressione sonora di almeno 45 dB. In ambienti non dotati di sistemi di amplificazione, in condizioni di assorbimento medie, il linguaggio parlato giunge a distanze di 20, 30 metri con livelli sufficienti. La voce umana, si ricordi, ha una potenza sonora media di 75 dB; i valori più alti di potenza sonora competono alle vocali, quelli più bassi alle consonanti, e l'incremento che l'oratore può portare alla propria voce varia da 5 a 10 dB circa.



Tempi di riverberazione ammissibili in funzione di volumetria e tipologia dell'ambiente

Sfruttando la riverberazione è possibile far giungere a tutti gli ascoltatori il suono al livello voluto, ma nel predisporre le zone riflettenti si deve tenere conto di alcune basilari indicazioni. Le superfici agiscono come riflettori alle varie frequenze in funzione della loro ampiezza, ciò a causa delle differenti lunghezze d'onda alle varie frequenze.



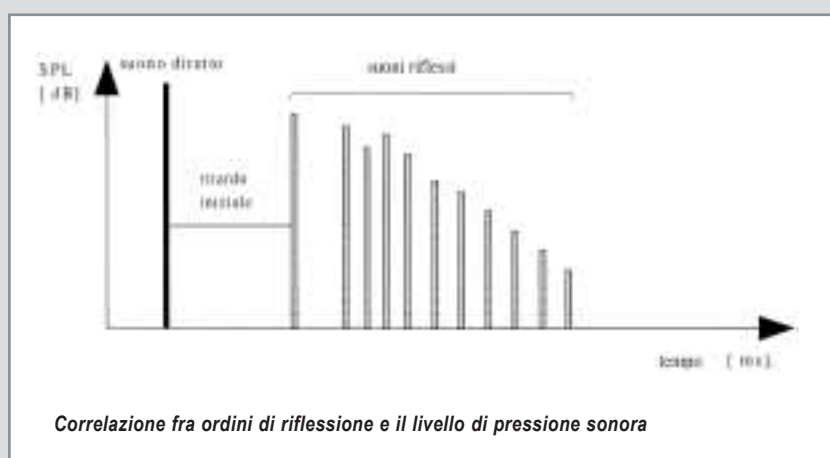
Correlazione fra la lunghezza dell'onda sonora e la sua frequenza

Una superficie riflettente perchè sia tale deve avere dimensioni grandi rispetto alla lunghezza d'onda del suo incidente: il suo orientamento condiziona la direzione dell'onda riflessa.

I raggi riflessi devono giungere alle postazioni di ascolto compiendo un tragitto sufficientemente breve per consentire al suono di non avere un ritardo maggiore di 0,027 secondi rispetto al suono diretto.

Considerando una velocità del suono di 334 m/sec si ha che la differenza fra i raggi di un suono diretto e il medesimo riflesso non deve superare i 9 m.

Fino ad un ritardo di 0,10 sec. si generano fenomeni di sovrapposizione di suoni ed eco ravvicinata, oltre tale ritardo si incorre nel vero e proprio fenomeno di eco.



Nella progettazione di un ambiente destinato ad uso pubblico, il progettista deve controllare, alla luce di quanto esposto, alcuni parametri fondamentali:

- Il tempo di riverberazione della sala e di conseguenza il fonoassorbimento della stessa.
- L'omogeneità della distribuzione del suono nell'ambiente dovuta alla disposizione dei materiali.
- Le modalità di riflessione dei raggi, le quali sono direttamente relazionate alla geometria dell'ambiente.

La maggior difficoltà che si riscontra nella progettazione acustica degli ambienti è dovuta al fatto che i materiali mutano le loro proprietà di fonoassorbimento al variare della frequenza.

Per questo motivo è necessario conoscere con sufficiente precisione a quale uso sarà preposto l'ambiente in oggetto, onde poter valutare la tipologia dello spettro di frequenza e di conseguenza le caratteristiche relative alle superfici e alle componenti più idonee.

È evidente come tale approccio sia estremamente complesso e difficile da tradurre in pratica. Risulta comunque di grande aiuto la conoscenza dei fenomeni e del comportamento fisico dei materiali.

È indispensabile, per il progettista, disporre di un'opportuna documentazione tecnica dei materiali che indichi con sufficiente precisione il comportamento acustico degli stessi.

## 5.5 Metodo di calcolo del T60 ottimale di un locale

Per il calcolo del tempo di riverberazione ottimale, il quale risulta essere comunque una caratteristica estremamente soggettiva, sono stati proposti vari algoritmi.

Un possibile metodo di calcolo è il seguente.

Viene definito il T60 ottimale alla frequenza di 1000 Hz con la formula:

$$T_{60ott1000Hz} = k^3 \sqrt{V}$$

dove:

k coefficiente correttivo

V volume del locale [m<sup>3</sup>]

Il coefficiente "k" varia in base alla destinazione d'uso del locale:

Per locali destinati a conferenze (parlato) k = 0,30

Per locali destinati a cinema k = 0,40

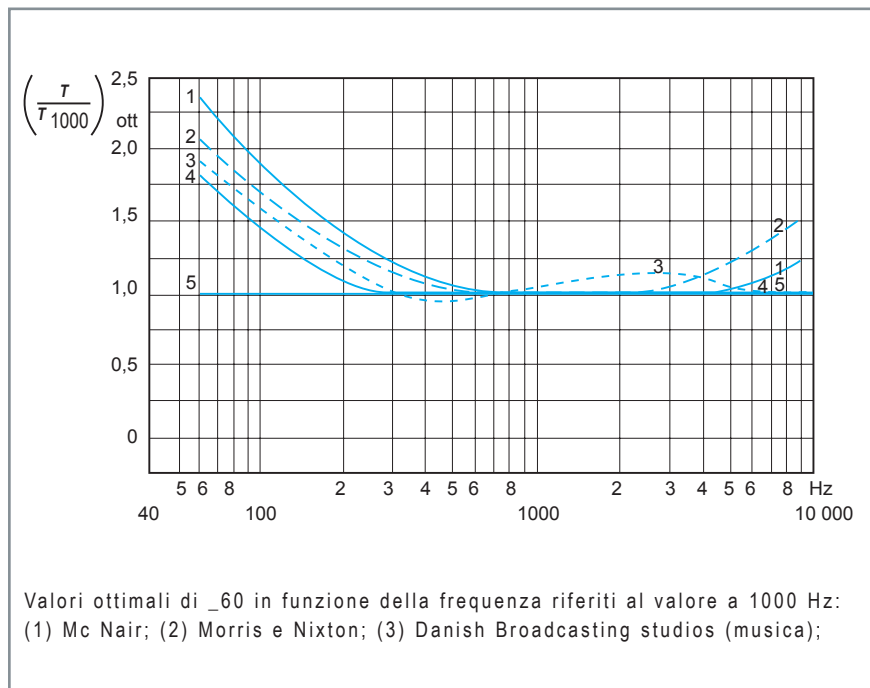
Per locali destinati a rappresentazioni teatrali k = 0,50

Per locali destinati all'ascolto di musica (classica) k = 0,55

Si ricava il valore di T60 ottimale alle varie frequenze moltiplicando il valore a 1000 Hz con i seguenti coefficienti di proporzionalità.

Coefficienti di proporzionalità per il calcolo di T60 ottimale alle varie frequenze.	
125 Hz	1,75
250 Hz	1,3
500 Hz	1,1
1000 Hz	1
2000 Hz	1,05
4000 Hz	1,1

Altre proposte di coefficienti di proporzionalità elaborati da vari istituti di ricerca sono riassunti nel seguente grafico.



## Esempio di calcolo

Si consideri una piccola sala conferenze di 280 m<sup>3</sup> realizzata con le seguenti finiture ed elementi di arredo:

		Coefficienti di assorbimento acustico ( $\alpha_i$ )					
Materiale	Sup. [m <sup>2</sup> ]	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Pavimentazione: parquet di legno	72	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05
Pareti laterali: piccole finestre	15,87	0,35	0,25	0,18	0,12	0,06	0,04
Pareti laterali: Lastre in gesso rivestito	97,65	0,3	0,15	0,1	0,07	0,07	0,07
Pareti laterali: Lastre Knauf Danoline M1	20,64	0,45	0,7	0,7	0,65	0,75	0,8
Soffitto: Lastre in gesso rivestito	52,8	0,3	0,15	0,1	0,07	0,07	0,07
Soffitto: Lastre Knauf foratura circolare 8/18 ribassamento 40 cm	19,2	0,56	0,84	0,53	0,56	0,43	0,48

		Coefficienti di assorbimento acustico ( $\alpha_i$ )					
Elementi di arredo	numero	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Sedia o sedile metallico o in legno, occupato	42	0,3	0,4	0,6	0,8	0,85	0,85

Utilizzando la formula di Sabine

$$T_{60} = \frac{0,16V}{A}$$

dove:

V volume del locale [m<sup>3</sup>]

A area di assorbimento equivalente totale dell'ambiente [m<sup>2</sup>]

E dove il parametro A, caratterizzante la capacità dell'ambiente di assorbire le onde sonore, è definito da:

$$A = \sum_{i=1}^k S_i \alpha_i + \sum_{j=1}^m n_j A_j$$

dove:

S<sub>i</sub> superficie i-esima (m<sup>2</sup>)

$\alpha_i$  coefficiente di assorbimento della superficie i-esima

n<sub>j</sub> numero di elementi del j-esimo tipo

A<sub>j</sub> assorbimento totale di un elemento del j-esimo tipo

Si ottiene:

Tempo di riverberazione calcolato (T60) [s]						
125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	
0,52	0,58	0,63	0,61	0,6	0,59	

## Calcolo T60 ottimale

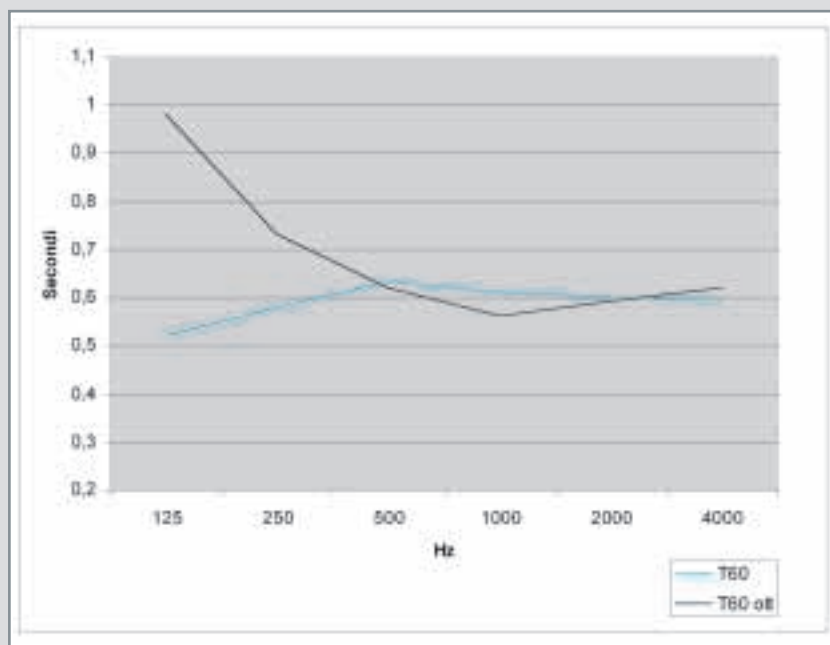
Considerando K = 0,30 si ottengono i seguenti valori

Tempo di riverberazione ottimale calcolato (T60ott) [s]						
125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	
0,98	0,73	0,62	0,56	0,59	0,62	

I valori di T60 risultano essere sempre prossimi o inferiori ai valori di T60 ottimale.

In particolare alle basse frequenze si osserva che T60 è sensibilmente inferiore al T60 ottimale. Questo fatto è da ritenersi positivo in quanto una buona attenuazione delle basse frequenze consente una maggiore intelligibilità del parlato.

Il grafico che segue mostra il confronto dei valori di T60 e T60 ott.



Il metodo di calcolo precedentemente esposto del T60 ottimale "accetta" tempi di riverberazione elevati alle basse frequenze in quanto tali frequenze sono difficili da assorbire.

Ne consegue che la sala è da considerarsi "acusticamente adeguata".

### 5.6 Soluzioni tecniche Knauf

#### Correzione acustica

Come è stato anticipato parlando delle diverse tipologie di materiali fonoassorbenti, ogni materiale o sistema, in funzione delle sue modalità di assorbimento (come materiale poroso, membrana vibrante o risonatore) ha un funzionamento migliore in certe frequenze e peggiore in altre.

E dunque utile combinare tra loro i vari sistemi, al fine di sfruttare al meglio le proprietà di ognuno di essi: il sistema più valido in tal senso consiste nell'accoppiare materiali porosi a materiali che funzionano a membrana o come risonatori, ottenendo in tal modo un alto valore del coefficiente di assorbimento acustico su tutte le frequenze.

#### Lastre e pannelli forati

Knauf produce componenti per la realizzazione di controsoffittature e contropareti in gesso rivestito liscio o forato.

Le lastre in gesso rivestito liscio si comportano agli effetti del fonoassorbimento come pannelli vibranti, con una apprezzabile capacità di assorbimento alle basse frequenze.

Le lastre in gesso rivestito forato hanno un funzionamento a risonatore multiplo: con percentuali e tipi di foratura diversi, sono tutte dotate di ottime proprietà fonoassorbenti diversificate, come rendimento, in spettro di frequenza.

Si può dire che il comportamento di un controsoffitto o di una controparete realizzati con lastre forate e con l'interposizione di materiali fibrosi nell'intercapedine richiami tutti e tre i principi di funzionamento dei materiali fonoassorbenti: diversificando i tipi di foratura, gli spessori dell'intercapedine, il tipo e gli spessori dei materiali fibrosi e alternando superfici forate a superfici lisce, è possibile modificare l'assorbimento a tutte le frequenze.

Queste caratteristiche rendono questi sistemi adatti ad interventi diversi: il progettista può impiegarli laddove è soltanto richiesto un contributo di fonoassorbimento per impedire livelli di pressione sonora troppo elevati (ristoranti, mense, bar, etc.) o, con filosofie applicative più raffinate, per creare situazioni di comfort di grado superiore (uffici, sale riunioni, etc.). Nella progettazione acustica di auditorium, sale multimediali, cinema, etc. conoscere con precisione le caratteristiche di fonoassorbimento è fondamentale per poter procedere ad un accurato posizionamento di componenti e materiali di rivestimento. Sovente nel corso dello studio di questi ambienti ci si ritrova nella necessità di dover diversificare le proprietà acustiche di alcuni elementi costruttivi, ad esempio del soffitto, per consentire una corretta diffusione sonora.

Il sistema Knauf di controsoffitti modulari offre la possibilità di comporre su di un unico reticolo soffitti con aree ad assorbimento (pannelli lisci o con vari tipi di foratura), pur mantenendo la assoluta ispezionabilità e la possibilità di modificare le caratteristiche di assorbimento sem-

plicemente sostituendo, per esempio, pannelli forati a pannelli lisci.

Le controsoffittature fonoassorbenti, perforate e non, basano come si è detto il loro funzionamento sulla combinazione di differenti principi.

Sostanzialmente esse si comportano come risonatori multipli e pannelli vibranti, con caratteristiche di assorbimento in frequenza variabili in funzione dei seguenti parametri: percentuale di foratura, altezza di pendinatura, natura e caratteristiche geometriche dei materiali fonoassorbenti.

Su questi aspetti può intervenire il progettista per ottenere il risultato voluto.

### Percentuale di foratura

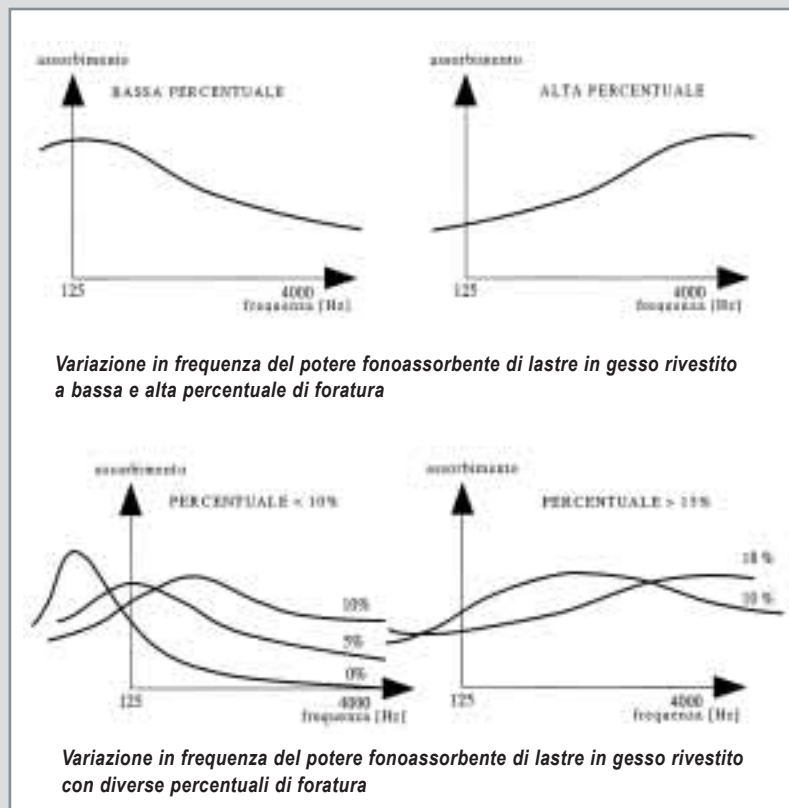
La percentuale di superficie occupata dai fori agisce sull'assorbimento acustico sulla base del seguente principio: basse percentuali di foratura determinano un elevato assorbimento alle basse frequenze e ridotto assorbimento alle alte; alte percentuali di foratura inducono il fenomeno contrario, e cioè un ridotto assorbimento acustico alle basse frequenze ed elevato assorbimento alle alte.

Con una percentuale di foratura inferiore al 10% l'assorbimento diminuisce sensibilmente alle alte frequenze, mentre per le basse la caduta è ridotta.

Con una percentuale di fori tra il 10 e il 15% si ottiene il massimo valore di assorbimento acustico per i prodotti in gesso forato, con un massimo assorbimento acustico nella gamma di frequenze 250, 500 e 1000 Hz.

Con foratura superiore al 15% l'assorbimento acustico diminuisce alle basse frequenze.

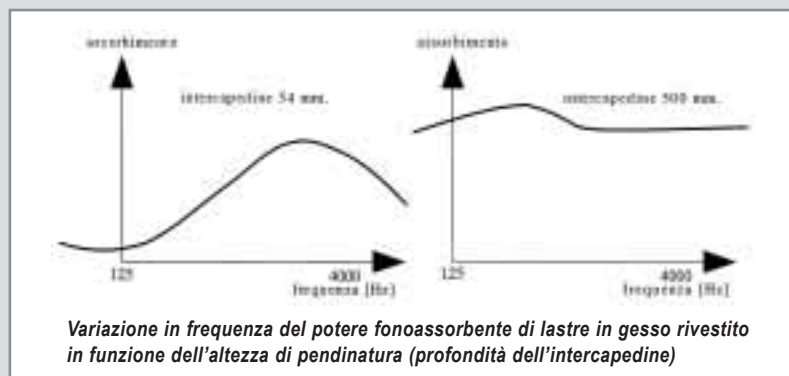
Aumentando la superficie forata i pannelli accoppiati a materassini in lana minerale tendono a raggiungere il coefficiente di assorbimento tipico del materassino senza però arrivare ad eguagliarlo.



### Intercapedine

La profondità dell'intercapedine fra il soffitto e le lastre forate interviene come parametro significativo per le altezze di sospensione comprese tra 200 e 500 mm. Con intercapedini minori di 200 mm il rendimento, al diminuire dello spessore della intercapedine, si sposta alle medie e alte frequenze e ne interessa un range ristretto (comportamento selettivo). Aumentando la profondità dell'intercapedine si ottiene un aumento dell'assorbimento acustico alle basse frequenze con scarsi vantaggi per le alte frequenze, mentre altezze di sospensione del controsoffitto superiori a 500 mm non comportano ulteriori vantaggi.

Si nota comunque che, all'aumentare dell'altezza di sospensione, il coefficiente di assorbimento migliora in generale su tutte le frequenze, e l'assorbimento diviene in generale meno selettivo. È opportuno notare che intercapedini maggiori di 1200 mm. possono dar luogo a fenomeni di risonanza (flutter echo).





## Velo insonorizzante

Il velo insonorizzante in fibra di cellulosa accoppiato alle lastre in gesso perforate ne influenza il comportamento acustico in funzione delle proprie caratteristiche di permeabilità dell'aria. Un'elevata permeabilità all'aria del velo insonorizzante è associata ad un elevato assorbimento alle basse frequenze, al contrario si può notare in presenza di ridotta permeabilità all'aria un elevato potere fonoassorbente attestato sulle alte frequenze.

## Lana minerale

Lo spessore dello strato coibente e la sua densità sono proporzionali all'assorbimento acustico ottenibile per l'intero spettro di frequenza. Tale assorbimento può essere migliorato, per le medie frequenze, dalla presenza di una pellicola accoppiata ad una faccia del pannello.

Il massimo assorbimento acustico si ha per densità dell'ordine di  $50 \text{ Kg/m}^3$  del pannello in fibra minerale.

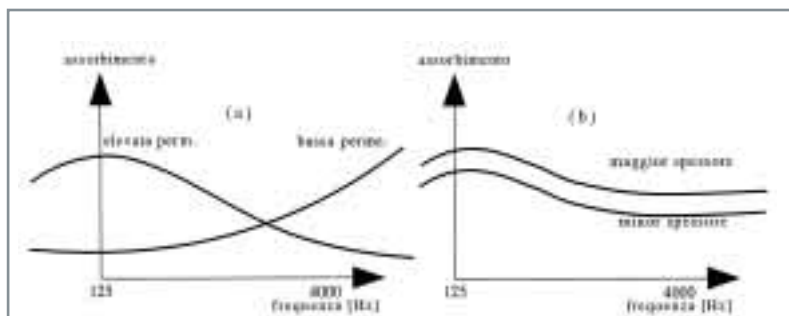
## Dimensioni dei fori

Fori di piccole dimensioni e disposti a brevissimi intervalli permettono un assorbimento acustico maggiore alle alte frequenze.

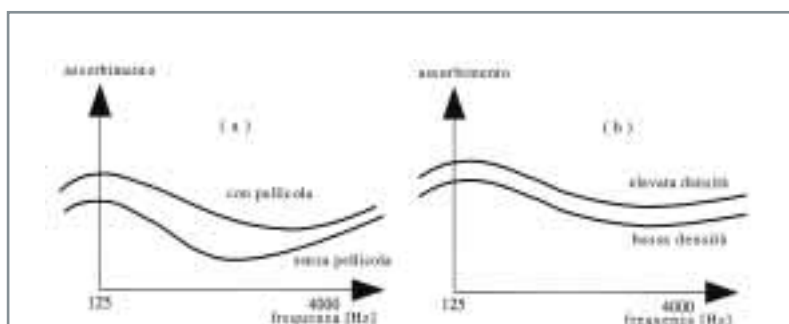
Fori grandi ad intervalli maggiori permettono una maggiore riflessione acustica delle alte frequenze e, perciò, un minore assorbimento acustico delle stesse.

## Struttura superficiale

La struttura superficiale delle lastre agisce sull'assorbimento acustico (fenomeno di dispersione acustica): una superficie ruvida permette un assorbimento acustico migliore alle alte frequenze.



Variazione in frequenza del potere fonoassorbente di lastre in gesso rivestito in funzione della permeabilità all'aria del velo insonorizzante (a) e dello spessore del pannello isolante in fibra ad esse accoppiato (b)



Variazione in frequenza del potere fonoassorbente di lastre in gesso rivestito in funzione della densità del pannello isolante in fibra ad esse accoppiato (b) e della presenza di pellicola sintetica (a)

## Velo insonorizzante contro lana minerale

Un velo insonorizzante incollato su lastre forate in gesso rivestito permette, in generale, un assorbimento acustico maggiore della lana minerale su lastre forate.

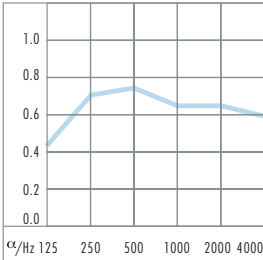
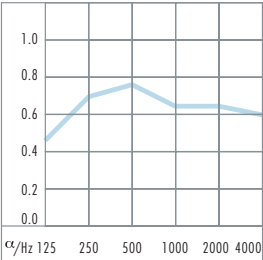
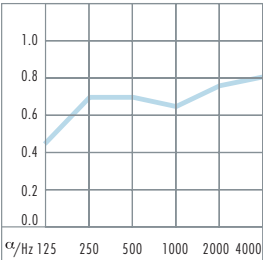
Con altezze di sospensione minori di 100 mm la punta di assorbimento del velo insonorizzante si sposta verso le frequenze più alte e, contemporaneamente, l'intervallo di assorbimento si restringe. Un materassino in lana minerale permette un assorbimento acustico su una banda più ampia. La soluzione ottimale prevede l'impiego di entrambi i materiali.

**Segue: 5.7 Diagrammi di assorbimento acustico delle lastre Knauf forate e fessurate.**

Sistema	Composizione della struttura	Gradi di assorbimento acustico																								
D111 D112 D114	<p>Rivestimento con lastre forate Knauf spessore 12,5 mm.</p> <p>Foratura <b>Circolare Regolare 6/18</b> Percentuale di superficie forata <b>8,7%</b> Strato in velo di fibra Paratex 45 g/m².</p> <p>a = Distanza aerea <b>400</b> mm. b = Distanza aerea <b>60</b> mm.</p>	<div><div>Senza feltro fonoassorbente in fibra minerale <table><tr><td>0.55</td><td>0.83</td><td>0.56</td><td>0.52</td><td>0.37</td><td>0.38</td></tr><tr><td>0.19</td><td>0.30</td><td>0.74</td><td>0.70</td><td>0.35</td><td>0.59</td></tr></table><p><math>\alpha_s</math> a b</p></div><div>Con feltro fonoassorbente in fibra minerale <table><tr><td>0.62</td><td>0.83</td><td>0.71</td><td>0.64</td><td>0.42</td><td>0.51</td></tr><tr><td>0.33</td><td>0.64</td><td>0.99</td><td>0.63</td><td>0.29</td><td>0.45</td></tr></table><p><math>\alpha_s</math> a b</p></div></div>	0.55	0.83	0.56	0.52	0.37	0.38	0.19	0.30	0.74	0.70	0.35	0.59	0.62	0.83	0.71	0.64	0.42	0.51	0.33	0.64	0.99	0.63	0.29	0.45
0.55	0.83	0.56	0.52	0.37	0.38																					
0.19	0.30	0.74	0.70	0.35	0.59																					
0.62	0.83	0.71	0.64	0.42	0.51																					
0.33	0.64	0.99	0.63	0.29	0.45																					
D111 D112 D114	<p>Rivestimento con lastre forate Knauf spessore 12,5 mm.</p> <p>Foratura <b>Circolare Regolare 8/18</b> Percentuale di superficie forata <b>15,5%</b> Strato in velo di fibra Paratex 45 g/m².</p> <p>a = Distanza aerea <b>400</b> mm. b = Distanza aerea <b>60</b> mm.</p>	<div><div>Senza feltro fonoassorbente in fibra minerale <table><tr><td>0.56</td><td>0.84</td><td>0.53</td><td>0.56</td><td>0.43</td><td>0.48</td></tr><tr><td>0.16</td><td>0.23</td><td>0.67</td><td>0.82</td><td>0.48</td><td>0.69</td></tr></table><p><math>\alpha_s</math> a b</p></div><div>Con feltro fonoassorbente in fibra minerale <table><tr><td>0.68</td><td>0.93</td><td>0.76</td><td>0.84</td><td>0.56</td><td>0.65</td></tr><tr><td>0.29</td><td>0.55</td><td>1.07</td><td>0.86</td><td>0.45</td><td>0.56</td></tr></table><p><math>\alpha_s</math> a b</p></div></div>	0.56	0.84	0.53	0.56	0.43	0.48	0.16	0.23	0.67	0.82	0.48	0.69	0.68	0.93	0.76	0.84	0.56	0.65	0.29	0.55	1.07	0.86	0.45	0.56
0.56	0.84	0.53	0.56	0.43	0.48																					
0.16	0.23	0.67	0.82	0.48	0.69																					
0.68	0.93	0.76	0.84	0.56	0.65																					
0.29	0.55	1.07	0.86	0.45	0.56																					
D111 D112 D114	<p>Rivestimento con lastre forate Knauf spessore 12,5 mm.</p> <p>Foratura <b>Circolare Regolare 10/23</b> Percentuale di superficie forata <b>14,8%</b> Strato in velo di fibra Paratex 45 g/m².</p> <p>a = Distanza aerea <b>400</b> mm. b = Distanza aerea <b>60</b> mm.</p>	<div><div>Senza feltro fonoassorbente in fibra minerale <table><tr><td>0.56</td><td>0.86</td><td>0.55</td><td>0.57</td><td>0.42</td><td>0.45</td></tr><tr><td>0.19</td><td>0.22</td><td>0.69</td><td>0.80</td><td>0.44</td><td>0.63</td></tr></table><p><math>\alpha_s</math> a b</p></div><div>Con feltro fonoassorbente in fibra minerale <table><tr><td>0.67</td><td>0.94</td><td>0.76</td><td>0.80</td><td>0.55</td><td>0.64</td></tr><tr><td>0.29</td><td>0.58</td><td>1.10</td><td>0.82</td><td>0.53</td><td>0.83</td></tr></table><p><math>\alpha_s</math> a b</p></div></div>	0.56	0.86	0.55	0.57	0.42	0.45	0.19	0.22	0.69	0.80	0.44	0.63	0.67	0.94	0.76	0.80	0.55	0.64	0.29	0.58	1.10	0.82	0.53	0.83
0.56	0.86	0.55	0.57	0.42	0.45																					
0.19	0.22	0.69	0.80	0.44	0.63																					
0.67	0.94	0.76	0.80	0.55	0.64																					
0.29	0.58	1.10	0.82	0.53	0.83																					
D111 D112 D114	<p>Rivestimento con lastre forate Knauf spessore 12,5 mm.</p> <p>Foratura <b>Circolare Regolare 12/25</b> Percentuale di superficie forata <b>18,1%</b> Strato in velo di fibra Paratex 45 g/m².</p> <p>a = Distanza aerea <b>400</b> mm. b = Distanza aerea <b>60</b> mm.</p>	<div><div>Senza feltro fonoassorbente in fibra minerale <table><tr><td>0.60</td><td>0.87</td><td>0.52</td><td>0.56</td><td>0.43</td><td>0.51</td></tr><tr><td>0.17</td><td>0.21</td><td>0.63</td><td>0.81</td><td>0.46</td><td>0.68</td></tr></table><p><math>\alpha_s</math> a b</p></div><div>Con feltro fonoassorbente in fibra minerale <table><tr><td>0.67</td><td>0.92</td><td>0.75</td><td>0.84</td><td>0.62</td><td>0.73</td></tr><tr><td>0.29</td><td>0.51</td><td>1.12</td><td>0.85</td><td>0.45</td><td>0.58</td></tr></table><p><math>\alpha_s</math> a b</p></div></div>	0.60	0.87	0.52	0.56	0.43	0.51	0.17	0.21	0.63	0.81	0.46	0.68	0.67	0.92	0.75	0.84	0.62	0.73	0.29	0.51	1.12	0.85	0.45	0.58
0.60	0.87	0.52	0.56	0.43	0.51																					
0.17	0.21	0.63	0.81	0.46	0.68																					
0.67	0.92	0.75	0.84	0.62	0.73																					
0.29	0.51	1.12	0.85	0.45	0.58																					
D111 D112 D114	<p>Rivestimento con lastre forate Knauf spessore 12,5 mm.</p> <p>Foratura <b>Circolare Regolare 15/30</b> Percentuale di superficie forata <b>19,6%</b> Strato in velo di fibra Paratex 45 g/m².</p> <p>a = Distanza aerea <b>400</b> mm. b = Distanza aerea <b>60</b> mm.</p>	<div><div>Senza feltro fonoassorbente in fibra minerale <table><tr><td>0.56</td><td>0.86</td><td>0.51</td><td>0.55</td><td>0.43</td><td>0.50</td></tr><tr><td>0.15</td><td>0.21</td><td>0.62</td><td>0.80</td><td>0.46</td><td>0.63</td></tr></table><p><math>\alpha_s</math> a b</p></div><div>Con feltro fonoassorbente in fibra minerale <table><tr><td>0.66</td><td>0.90</td><td>0.77</td><td>0.83</td><td>0.63</td><td>0.71</td></tr><tr><td>0.29</td><td>0.52</td><td>1.08</td><td>0.87</td><td>0.53</td><td>0.70</td></tr></table><p><math>\alpha_s</math> a b</p></div></div>	0.56	0.86	0.51	0.55	0.43	0.50	0.15	0.21	0.62	0.80	0.46	0.63	0.66	0.90	0.77	0.83	0.63	0.71	0.29	0.52	1.08	0.87	0.53	0.70
0.56	0.86	0.51	0.55	0.43	0.50																					
0.15	0.21	0.62	0.80	0.46	0.63																					
0.66	0.90	0.77	0.83	0.63	0.71																					
0.29	0.52	1.08	0.87	0.53	0.70																					

Sistema	Composizione della struttura	Gradi di assorbimento acustico																													
D111 D112 D114	<p>Rivestimento con lastre forate Knauf spessore 12,5 mm.</p> <p>Foratura <b>Circolare Alternata 8/12/50</b> Percentuale di superficie forata <b>13,1%</b> Strato in velo di fibra Paratex 45 g/m<sup>2</sup>.</p> <p><b>a</b> = Distanza aerea <b>400</b> mm. <b>b</b> = Distanza aerea <b>60</b> mm.</p>	<p>Senza feltro fonoassorbente in fibra minerale</p> <table><tr><td>0.62</td><td>0.84</td><td>0.54</td><td>0.54</td><td>0.38</td><td>0.42</td><td>a</td></tr><tr><td>0.18</td><td>0.25</td><td>0.70</td><td>0.77</td><td>0.40</td><td>0.60</td><td>b</td></tr></table>	0.62	0.84	0.54	0.54	0.38	0.42	a	0.18	0.25	0.70	0.77	0.40	0.60	b	<p>Con feltro fonoassorbente in fibra minerale</p> <table><tr><td>0.65</td><td>0.89</td><td>0.73</td><td>0.77</td><td>0.49</td><td>0.61</td><td>a</td></tr><tr><td>0.30</td><td>0.61</td><td>1.11</td><td>0.75</td><td>0.36</td><td>0.47</td><td>b</td></tr></table>	0.65	0.89	0.73	0.77	0.49	0.61	a	0.30	0.61	1.11	0.75	0.36	0.47	b
0.62	0.84	0.54	0.54	0.38	0.42	a																									
0.18	0.25	0.70	0.77	0.40	0.60	b																									
0.65	0.89	0.73	0.77	0.49	0.61	a																									
0.30	0.61	1.11	0.75	0.36	0.47	b																									
D111 D112 D114	<p>Rivestimento con lastre forate Knauf spessore 12,5 mm.</p> <p>Foratura <b>Circolare Alternata 12/20/66</b> Percentuale di superficie forata <b>19,6%</b> Strato in velo di fibra Paratex 45 g/m<sup>2</sup>.</p> <p><b>a</b> = Distanza aerea <b>400</b> mm. <b>b</b> = Distanza aerea <b>60</b> mm.</p>	<p>Senza feltro fonoassorbente in fibra minerale</p> <table><tr><td>0.58</td><td>0.86</td><td>0.50</td><td>0.56</td><td>0.41</td><td>0.50</td><td>a</td></tr><tr><td>0.16</td><td>0.21</td><td>0.62</td><td>0.79</td><td>0.41</td><td>0.69</td><td>b</td></tr></table>	0.58	0.86	0.50	0.56	0.41	0.50	a	0.16	0.21	0.62	0.79	0.41	0.69	b	<p>Con feltro fonoassorbente in fibra minerale</p> <table><tr><td>0.66</td><td>0.94</td><td>0.78</td><td>0.85</td><td>0.59</td><td>0.74</td><td>a</td></tr><tr><td>0.28</td><td>0.55</td><td>1.07</td><td>0.85</td><td>0.43</td><td>0.59</td><td>b</td></tr></table>	0.66	0.94	0.78	0.85	0.59	0.74	a	0.28	0.55	1.07	0.85	0.43	0.59	b
0.58	0.86	0.50	0.56	0.41	0.50	a																									
0.16	0.21	0.62	0.79	0.41	0.69	b																									
0.66	0.94	0.78	0.85	0.59	0.74	a																									
0.28	0.55	1.07	0.85	0.43	0.59	b																									
D111 D112 D114	<p>Rivestimento con lastre forate Knauf spessore 12,5 mm.</p> <p>Foratura <b>Sparsa Plus 8/15/20</b> Percentuale di superficie forata <b>9,9%</b> Strato in velo di fibra Paratex 45 g/m<sup>2</sup>.</p> <p><b>a</b> = Distanza aerea <b>400</b> mm. <b>b</b> = Distanza aerea <b>60</b> mm.</p>	<p>Senza feltro fonoassorbente in fibra minerale</p> <table><tr><td>0.56</td><td>0.83</td><td>0.53</td><td>0.49</td><td>0.33</td><td>0.35</td><td>a</td></tr><tr><td>0.19</td><td>0.29</td><td>0.78</td><td>0.64</td><td>0.32</td><td>0.57</td><td>b</td></tr></table>	0.56	0.83	0.53	0.49	0.33	0.35	a	0.19	0.29	0.78	0.64	0.32	0.57	b	<p>Con feltro fonoassorbente in fibra minerale</p> <table><tr><td>0.64</td><td>0.85</td><td>0.69</td><td>0.62</td><td>0.37</td><td>0.48</td><td>a</td></tr><tr><td>0.31</td><td>0.68</td><td>1.02</td><td>0.60</td><td>0.25</td><td>0.40</td><td>b</td></tr></table>	0.64	0.85	0.69	0.62	0.37	0.48	a	0.31	0.68	1.02	0.60	0.25	0.40	b
0.56	0.83	0.53	0.49	0.33	0.35	a																									
0.19	0.29	0.78	0.64	0.32	0.57	b																									
0.64	0.85	0.69	0.62	0.37	0.48	a																									
0.31	0.68	1.02	0.60	0.25	0.40	b																									
D111 D112 D114	<p>Rivestimento con lastre forate Knauf spessore 12,5 mm.</p> <p>Foratura <b>Sparsa Plus 12/20/35</b> Percentuale di superficie forata <b>9,8%</b> Strato in velo di fibra Paratex 45 g/m<sup>2</sup>.</p> <p><b>a</b> = Distanza aerea <b>400</b> mm. <b>b</b> = Distanza aerea <b>60</b> mm.</p>	<p>Senza feltro fonoassorbente in fibra minerale</p> <table><tr><td>0.55</td><td>0.81</td><td>0.50</td><td>0.44</td><td>0.29</td><td>0.28</td><td>a</td></tr><tr><td>0.18</td><td>0.30</td><td>0.76</td><td>0.55</td><td>0.28</td><td>0.50</td><td>b</td></tr></table>	0.55	0.81	0.50	0.44	0.29	0.28	a	0.18	0.30	0.76	0.55	0.28	0.50	b	<p>Con feltro fonoassorbente in fibra minerale</p> <table><tr><td>0.64</td><td>0.82</td><td>0.67</td><td>0.55</td><td>0.32</td><td>0.42</td><td>a</td></tr><tr><td>0.34</td><td>0.69</td><td>1.02</td><td>0.49</td><td>0.21</td><td>0.33</td><td>b</td></tr></table>	0.64	0.82	0.67	0.55	0.32	0.42	a	0.34	0.69	1.02	0.49	0.21	0.33	b
0.55	0.81	0.50	0.44	0.29	0.28	a																									
0.18	0.30	0.76	0.55	0.28	0.50	b																									
0.64	0.82	0.67	0.55	0.32	0.42	a																									
0.34	0.69	1.02	0.49	0.21	0.33	b																									

Sistema	Composizione della struttura	Gradi di assorbimento acustico																																	
D111 D112 D114	<p>Rivestimento con lastre forate Knauf spessore 12,5 mm.</p> <p>Foratura <b>Quadrata 8/18</b> Percentuale di superficie forata <b>19,8%</b> Strato in velo di fibra Paratex 45 g/m<sup>2</sup>.</p> <p>a = Distanza aerea <b>400 mm</b>. b = Distanza aerea <b>60 mm</b>.</p>	<p>Senza filtro fonoassorbente in fibra minerale</p> <table><tr><td><math>\alpha_s</math></td><td>0.57</td><td>0.86</td><td>0.52</td><td>0.59</td><td>0.47</td><td>0.52</td><td>a</td></tr><tr><td></td><td>0.17</td><td>0.18</td><td>0.60</td><td>0.81</td><td>0.50</td><td>0.69</td><td>b</td></tr></table>	$\alpha_s$	0.57	0.86	0.52	0.59	0.47	0.52	a		0.17	0.18	0.60	0.81	0.50	0.69	b	<p>Con filtro fonoassorbente in fibra minerale</p> <table><tr><td><math>\alpha_s</math></td><td>0.66</td><td>0.95</td><td>0.77</td><td>0.90</td><td>0.67</td><td>0.75</td><td>a</td></tr><tr><td></td><td>0.27</td><td>0.53</td><td>1.09</td><td>0.90</td><td>0.52</td><td>0.68</td><td>b</td></tr></table>	$\alpha_s$	0.66	0.95	0.77	0.90	0.67	0.75	a		0.27	0.53	1.09	0.90	0.52	0.68	b
$\alpha_s$	0.57	0.86	0.52	0.59	0.47	0.52	a																												
	0.17	0.18	0.60	0.81	0.50	0.69	b																												
$\alpha_s$	0.66	0.95	0.77	0.90	0.67	0.75	a																												
	0.27	0.53	1.09	0.90	0.52	0.68	b																												
D111 D112 D114	<p>Rivestimento con lastre forate Knauf spessore 12,5 mm.</p> <p>Foratura <b>Quadrata 12/25</b> Percentuale di superficie forata <b>23%</b> Strato in velo di fibra Paratex 45 g/m<sup>2</sup>.</p> <p>a = Distanza aerea <b>400 mm</b>. b = Distanza aerea <b>60 mm</b>.</p>	<p>Senza filtro fonoassorbente in fibra minerale</p> <table><tr><td><math>\alpha_s</math></td><td>0.60</td><td>0.82</td><td>0.48</td><td>0.54</td><td>0.48</td><td>0.51</td><td>a</td></tr><tr><td></td><td>0.16</td><td>0.20</td><td>0.55</td><td>0.83</td><td>0.52</td><td>0.69</td><td>b</td></tr></table>	$\alpha_s$	0.60	0.82	0.48	0.54	0.48	0.51	a		0.16	0.20	0.55	0.83	0.52	0.69	b	<p>Con filtro fonoassorbente in fibra minerale</p> <table><tr><td><math>\alpha_s</math></td><td>0.65</td><td>0.96</td><td>0.76</td><td>0.88</td><td>0.70</td><td>0.79</td><td>a</td></tr><tr><td></td><td>0.28</td><td>0.47</td><td>1.06</td><td>0.89</td><td>0.54</td><td>0.67</td><td>b</td></tr></table>	$\alpha_s$	0.65	0.96	0.76	0.88	0.70	0.79	a		0.28	0.47	1.06	0.89	0.54	0.67	b
$\alpha_s$	0.60	0.82	0.48	0.54	0.48	0.51	a																												
	0.16	0.20	0.55	0.83	0.52	0.69	b																												
$\alpha_s$	0.65	0.96	0.76	0.88	0.70	0.79	a																												
	0.28	0.47	1.06	0.89	0.54	0.67	b																												
D111 D112 D114	<p>Rivestimento con lastre fessurate Knauf spessore 12,5 mm.</p> <p><b>Fessurata B4</b> Percentuale di superficie forata <b>13,7%</b> Strato in velo di fibra Paratex 45 g/m<sup>2</sup>.</p> <p>a = Distanza aerea <b>400 mm</b>. b = Distanza aerea <b>60 mm</b>.</p>	<p>Senza filtro fonoassorbente in fibra minerale</p> <table><tr><td><math>\alpha_s</math></td><td>0.43</td><td>0.90</td><td>0.54</td><td>0.52</td><td>0.40</td><td>0.45</td><td>a</td></tr><tr><td></td><td>0.07</td><td>0.34</td><td>0.75</td><td>0.69</td><td>0.39</td><td>0.32</td><td>b</td></tr></table>	$\alpha_s$	0.43	0.90	0.54	0.52	0.40	0.45	a		0.07	0.34	0.75	0.69	0.39	0.32	b	<p>Con filtro fonoassorbente in fibra minerale</p> <table><tr><td><math>\alpha_s</math></td><td>0.56</td><td>0.88</td><td>0.66</td><td>0.68</td><td>0.47</td><td>0.46</td><td>a</td></tr><tr><td></td><td>0.27</td><td>0.66</td><td>0.98</td><td>0.70</td><td>0.40</td><td>0.32</td><td>b</td></tr></table>	$\alpha_s$	0.56	0.88	0.66	0.68	0.47	0.46	a		0.27	0.66	0.98	0.70	0.40	0.32	b
$\alpha_s$	0.43	0.90	0.54	0.52	0.40	0.45	a																												
	0.07	0.34	0.75	0.69	0.39	0.32	b																												
$\alpha_s$	0.56	0.88	0.66	0.68	0.47	0.46	a																												
	0.27	0.66	0.98	0.70	0.40	0.32	b																												
D111 D112 D114	<p>Rivestimento con lastre fessurate Knauf spessore 12,5 mm.</p> <p><b>Fessurata B5</b> Percentuale di superficie forata <b>10,9%</b> Strato in velo di fibra Paratex 45 g/m<sup>2</sup>.</p> <p>a = Distanza aerea <b>400 mm</b>. b = Distanza aerea <b>60 mm</b>.</p>	<p>Senza filtro fonoassorbente in fibra minerale</p> <table><tr><td><math>\alpha_s</math></td><td>0.45</td><td>0.87</td><td>0.55</td><td>0.49</td><td>0.37</td><td>0.36</td><td>a</td></tr><tr><td></td><td>0.10</td><td>0.36</td><td>0.76</td><td>0.65</td><td>0.35</td><td>0.28</td><td>b</td></tr></table>	$\alpha_s$	0.45	0.87	0.55	0.49	0.37	0.36	a		0.10	0.36	0.76	0.65	0.35	0.28	b	<p>Con filtro fonoassorbente in fibra minerale</p> <table><tr><td><math>\alpha_s</math></td><td>0.57</td><td>0.84</td><td>0.65</td><td>0.64</td><td>0.42</td><td>0.36</td><td>a</td></tr><tr><td></td><td>0.30</td><td>0.69</td><td>0.94</td><td>0.64</td><td>0.38</td><td>0.32</td><td>b</td></tr></table>	$\alpha_s$	0.57	0.84	0.65	0.64	0.42	0.36	a		0.30	0.69	0.94	0.64	0.38	0.32	b
$\alpha_s$	0.45	0.87	0.55	0.49	0.37	0.36	a																												
	0.10	0.36	0.76	0.65	0.35	0.28	b																												
$\alpha_s$	0.57	0.84	0.65	0.64	0.42	0.36	a																												
	0.30	0.69	0.94	0.64	0.38	0.32	b																												
D111 D112 D114	<p>Rivestimento con lastre fessurate Knauf spessore 12,5 mm.</p> <p><b>Fessurata B6</b> Percentuale di superficie forata <b>15,7%</b> Strato in velo di fibra Paratex 45 g/m<sup>2</sup>.</p> <p>a = Distanza aerea <b>400 mm</b>. b = Distanza aerea <b>60 mm</b>.</p>	<p>Senza filtro fonoassorbente in fibra minerale</p> <table><tr><td><math>\alpha_s</math></td><td>0.44</td><td>0.90</td><td>0.55</td><td>0.55</td><td>0.45</td><td>0.49</td><td>a</td></tr><tr><td></td><td>0.10</td><td>0.30</td><td>0.73</td><td>0.76</td><td>0.42</td><td>0.29</td><td>b</td></tr></table>	$\alpha_s$	0.44	0.90	0.55	0.55	0.45	0.49	a		0.10	0.30	0.73	0.76	0.42	0.29	b	<p>Con filtro fonoassorbente in fibra minerale</p> <table><tr><td><math>\alpha_s</math></td><td>0.56</td><td>0.94</td><td>0.71</td><td>0.76</td><td>0.56</td><td>0.57</td><td>a</td></tr><tr><td></td><td>0.27</td><td>0.61</td><td>1.05</td><td>0.80</td><td>0.48</td><td>0.40</td><td>b</td></tr></table>	$\alpha_s$	0.56	0.94	0.71	0.76	0.56	0.57	a		0.27	0.61	1.05	0.80	0.48	0.40	b
$\alpha_s$	0.44	0.90	0.55	0.55	0.45	0.49	a																												
	0.10	0.30	0.73	0.76	0.42	0.29	b																												
$\alpha_s$	0.56	0.94	0.71	0.76	0.56	0.57	a																												
	0.27	0.61	1.05	0.80	0.48	0.40	b																												

Sistema	Composizione della struttura	Gradi di assorbimento acustico														
D111 D112 D114	<p>Rivestimento con lastre forate Knauf spessore 9,5 mm.</p> <p>Foratura <b>Globe Perforering G1</b> Percentuale di superficie forata <b>10,2%</b> Strato in velo di fibra Paratex 45 g/m².</p> <p><b>a</b> = Distanza aerea <b>400</b> mm. <b>b</b> = Distanza aerea <b>60</b> mm.</p>	 <table><tr><td><math>\alpha</math></td><td>0.45</td><td>0.70</td><td>0.75</td><td>0.65</td><td>0.65</td><td>0.60</td></tr><tr><td>Hz</td><td>125</td><td>250</td><td>500</td><td>1000</td><td>2000</td><td>4000</td></tr></table>	$\alpha$	0.45	0.70	0.75	0.65	0.65	0.60	Hz	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.45	0.70	0.75	0.65	0.65	0.60										
Hz	125	250	500	1000	2000	4000										
D111 D112 D114	<p>Rivestimento con lastre forate Knauf spessore 9,5 mm.</p> <p>Foratura <b>Quadril Perforering Q1</b> Percentuale di superficie forata <b>13%</b> Strato in velo di fibra Paratex 45 g/m².</p> <p><b>a</b> = Distanza aerea <b>400</b> mm. <b>b</b> = Distanza aerea <b>60</b> mm.</p>	 <table><tr><td><math>\alpha</math></td><td>0.45</td><td>0.70</td><td>0.75</td><td>0.65</td><td>0.65</td><td>0.60</td></tr><tr><td>Hz</td><td>125</td><td>250</td><td>500</td><td>1000</td><td>2000</td><td>4000</td></tr></table>	$\alpha$	0.45	0.70	0.75	0.65	0.65	0.60	Hz	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.45	0.70	0.75	0.65	0.65	0.60										
Hz	125	250	500	1000	2000	4000										
D111 D112 D114	<p>Rivestimento con lastre forate Knauf spessore 9,5 mm.</p> <p>Foratura <b>Micro Perforering M1</b> Percentuale di superficie forata <b>10,2%</b> Strato in velo di fibra Paratex 45 g/m².</p> <p><b>a</b> = Distanza aerea <b>400</b> mm. <b>b</b> = Distanza aerea <b>60</b> mm.</p>	 <table><tr><td><math>\alpha</math></td><td>0.45</td><td>0.70</td><td>0.70</td><td>0.65</td><td>0.75</td><td>0.80</td></tr><tr><td>Hz</td><td>125</td><td>250</td><td>500</td><td>1000</td><td>2000</td><td>4000</td></tr></table>	$\alpha$	0.45	0.70	0.70	0.65	0.75	0.80	Hz	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.45	0.70	0.70	0.65	0.75	0.80										
Hz	125	250	500	1000	2000	4000										

## 6 Bibliografia essenziale

Di seguito si riporta un elenco di testi a quali si rimanda per approfondire gli argomenti trattati.

SPAGNOLO R. (a cura di), Manuale di acustica applicata, Ed. UTET

EVEREST F. A., Manuale di acustica – Concetti fondamentali Acustica degli interni, Ed. Hoepli

HARRIS C. M., Manuale di controllo del rumore, Ed. Tecniche Nuove

SHARLAND I., Manuale di acustica applicata – L'attenuazione del rumore, Ed. Woods Italiana

## Link utili

Di seguito si riportano una serie di link utili per ricavare informazioni riguardanti l'acustica edilizia e ambientale

[www.knauf.it](http://www.knauf.it) <<http://www.knauf.it>> – Knauf Italia

[www.anit.it](http://www.anit.it) <<http://www.anit.it>> – ANIT – Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico

[www.associazioneitalianadiacustica.it](http://www.associazioneitalianadiacustica.it) <<http://www.associazioneitalianadiacustica.it>> - Associazione italiana di acustica

[www.altracustica.org](http://www.altracustica.org) <<http://www.altracustica.org>> - Acustica e altre informazioni







#### Teatro alla Scala

Knauf sponsor tecnico dei lavori di restauro al Teatro alla Scala di Milano.

#### Materiali impiegati:

Pannelli in gesso rivestito Danoline per l'intervento di correzione acustica delle sale prova del Teatro.

Lastre F-Zero dello spessore di 13/15 mm per il rivestimento antincendio.



 [www.knauf.it](http://www.knauf.it)

 [knauf@knauf.it](mailto:knauf@knauf.it)

Sede:  
Castellina Marittima (PI)  
Tel. 050 69211  
Fax 050 692301

Stabilimento Sistemi a Secco:  
Castellina Marittima (PI)  
Tel. 050 69211  
Fax 050 692301

Stabilimento Sistemi Intonaci:  
Gambassi Terme (FI)  
Tel. 0571 6307  
Fax 0571 678014

Centri di Formazione:  
Knauf Milano  
Rozzano (MI)  
Tel. 02 52823711

Knauf Pisa  
Castellina Marittima (PI)  
Tel. 050 692252

Knauf Napoli  
San Nicola la Strada (CE)  
Tel. 0823 218311