

# Stima delle prestazioni acustiche passive degli edifici e dei loro componenti

Simone Secchi

Dipartimento di Tecnologie dell'Architettura e Design "Pierluigi Spadolini"

Università di Firenze

[simone.secchi@taed.unifi.it](mailto:simone.secchi@taed.unifi.it)

[http://www.taed.unifi.it/fisica\\_tecnica](http://www.taed.unifi.it/fisica_tecnica)

## La legislazione italiana

- DPCM 1 marzo 1991 "Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno"
- **Legge 447/1995 "Legge quadro sull'inquinamento acustico"**
- DM 11/12/96 "Applicazione del criterio differenziale per gli impianti a ciclo produttivo continuo."
- DPCM 18/9/97 "Determinazione dei requisiti delle sorgenti sonore nei locali di intrattenimento danzante"
- Decreto 31/10/97 "Metodologia di misura del rumore aeroportuale."
- DPCM 14/11/97 "Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore"
- **DPCM 5/12/97 "Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici."**
- Decreto 16/3/98 "Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico"
- DPCM 31/3/98 "Atto di indirizzo e coordinamento recante criteri generali per l'esercizio dell'attività del tecnico competente in acustica"
- DPR 18/11/98 "Regolamento recante norme di esecuzione dell'articolo 11 della legge 26 ottobre 1995, n. 447, in materia di inquinamento acustico derivante da traffico ferroviario."
- D.M. 3/12/99 Procedure antirumore e zone di rispetto negli aeroporti."
- DM 29/11/00 "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."

# Regolamento Edilizio Tipo della Regione Emilia Romagna (Requisiti cogenti relativi alla protezione dal rumore)

## RC 5.1 Isolamento acustico ai rumori aerei

- a) **Rumori aerei interni**  
(indice di valutazione del potere fonoisolante apparente)
- b) **Rumori aerei esterni**  
(indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata)

## RC 5.2 Isolamento acustico ai rumori impattivi

(indice di valutazione del livello di rumore da calpestio normalizzato)

## Il tecnico competente

### Legge 447 , 1995

"Ai fini della presente legge è definito *tecnico competente* la figura professionale idonea ad *effettuare le misurazioni*, verificare l'ottemperanza ai valori definiti dalle vigenti norme, redigere i *piani di risanamento acustico*, svolgere le relative attività di controllo. Il tecnico competente deve essere in possesso del diploma di scuola media superiore ad indirizzo tecnico o del diploma universitario ad indirizzo scientifico ovvero del diploma di laurea ad indirizzo scientifico.

L'attività di tecnico competente può essere svolta previa presentazione di apposita domanda all'assessorato regionale competente in materia ambientale corredata da documentazione comprovante l'aver svolto attività, in modo non occasionale, nel campo dell'acustica ambientale da almeno quattro anni per i diplomati e da almeno due anni per i laureati o per i titolari di diploma universitario.

Le attività di cui al comma 6 possono essere svolte altresì da coloro che, in possesso del diploma di scuola media superiore, siano in servizio presso le strutture pubbliche territoriali e vi svolgano la propria attività nel campo dell'acustica ambientale, alla data di entrata in vigore della presente legge."

### D.P.C.M. 31/3/98

Attività professionale svolta in **maniera non occasionale**

Diplomi di scuola media superiore ad indirizzo tecnico (compreso quello di maturità scientifica), diplomi universitari e lauree ad indirizzo scientifico (comprese ingegneria ed architettura).

Attività nel campo dell'acustica ambientale:

- a) **misure in ambiente esterno ed abitativo;**
- b) **proposte di zonizzazione acustica;**
- c) **redazione di piani di risanamento.**

Equiparazione del riconoscimento regionale (ora provinciale) **su tutto il territorio nazionale**

**Operatori presso strutture pubbliche** possono operare esclusivamente nell'ambito della propria struttura territoriale di appartenenza. Per esercitare la propria attività in forma professionale al di fuori dello svolgimento dei compiti d'istituto, devono rispettare gli obblighi dell'art. 2 della L. 447/95.

# Il tecnico competente: *le competenze*

- √ Effettuare le misurazioni
- √ Redigere le zonizzazioni acustiche
- √ Redigere i piani di risanamento

## Requisiti acustici *Comparazione normativa*

### Requisiti acustici passivi degli edifici, dei loro componenti e degli impianti tecnologici (DPCM 51297)

| Categorie  | $R'_w$ | $D_{2m,nT,w}$ | $L'_{n,w}$ | $L_{ASmax}$ | $L_{Aeq}$ |
|--|--------|---------------|------------|-------------|-----------|
| residenze, alberghi, pensioni e assimilabili                     | 50     | 40            | 63         | 35          | 35        |
| scuole e simili  | 50     | 48            | 58         | 35          | 25        |
| ospedali, cliniche, case di cura e simili                        | 55     | 45            | 58         | 35          | 25        |
| uffici, per attività ricreative, il culto, il commercio o simili | 50     | 42            | 55         | 35          | 35        |

### Confronto tra Decreto 5/12/97 e Decreto 18/12/75 (norme tecniche per l'edilizia scolastica)

|                 | $R'_w$ | $D_{2m,nT,w}$    | $L'_{n,w}$ | $L_{Amax}$ |
|-----------------|--------|------------------|------------|------------|
| scuole e simili | 50     | 48               | 58         | 35         |
| scuole          | 40     | 25 ( $R_w$ fin.) | 68         | 40         |

# Requisiti acustici dei divisori

## *comparazione normativa*

| Paese          | Parametro impiegato      | Edifici in linea         |                           | Edifici a schiera        |                           |
|----------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
|                |                          | Specifica tecnica (min.) | CorrISP. valore di $R'_w$ | Specifica tecnica (min.) | CorrISP. valore di $R'_w$ |
| Danimarca      | $R'_w$                   | 52                       | 52                        | 55                       | 55                        |
| Svezia         | $R'_w$                   | 52                       | 52                        | 55                       | 55                        |
| Norvegia       | $R'_w$                   | 52                       | 52                        | 55                       | 55                        |
| Finlandia      | $R'_w$                   | 52                       | 52                        | 55                       | 55                        |
| Islanda        | $R'_w$                   | 52                       | 52                        | 55                       | 55                        |
| Gran. Bretagna | $D_{nT,w}$               | 52                       | 51-54                     | 52                       | 51-54                     |
| Francia        | $D_{nAT}$                | 54                       | 54-57                     | 54                       | 54-57                     |
| Germania       | $R'_w$                   | 53                       | 53                        | 57                       | 57                        |
| Austria        | $D_{nT,w}$               | 55                       | 54-57                     | 60                       | 59-62                     |
| Olanda         | $I_{lu,k}$               | 0                        | 52                        | 0                        | 55                        |
| <b>Italia</b>  | <b><math>R'_w</math></b> | <b>50</b>                | <b>50</b>                 | <b>50</b>                | <b>50</b>                 |

Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

7

# Isolamento acustico in facciata

## *comparazione normativa*

| Paese         | Grandezza                     | Sorgente       |           | Valore limite        | Note  |
|---------------|-------------------------------|----------------|-----------|----------------------|---|
|               |                               |                |           | Case in linea        |   |
| Danimarca     | $L_{A,eq,24h}$                | strade         |           | $\leq 30$ dB         | Livello all'interno   |
|               |                               | ferrovie       |           | $\leq 30$ dB         |   |
| Svezia        | $L_{A,eq,24h}$                | strade         |           | $\leq 30$ dB         | Livello all'interno (solo raccomandato)   |
| Francia       | $D_{nAT}$                     | strade - ferr. |           | $\geq 30 - 45$ dB(A) | Dipende dalla categoria di strada o ferrovia.   |
|               |                               | aerei          |           | $\geq 35$ dB(A)      |   |
| Germania      | $R'_{res}$                    | $\leq 55$ dB   |           | 30                   | Il limite è riferito al livello sonoro sul fronte della facciata.<br>(*) Dipende da condizioni locali |
|               |                               | 56 - 60        |           | 30                   |   |
|               |                               | 61 - 65        |           | 35                   |   |
|               |                               | 66 - 70        |           | 40                   |   |
|               |                               | 71 - 75        |           | 45                   |   |
|               |                               | 76 - 80        |           | 50                   |   |
| > 80          |                               | (*)            |           |                      |   |
| Austria       | $R'_{res}$                    | giorno         | notte     |                      | Il limite è riferito al livello sonoro sul fronte della facciata.                                     |
|               |                               | $\leq 55$      | $\leq 45$ | 33                   |   |
|               |                               | 56 - 65        | 46 - 55   | 38                   |   |
|               |                               | 66 - 70        | 56 - 60   | 43                   |   |
|               |                               | 71 - 75        | 61 - 65   | 48                   |   |
|               |                               | 76 - 80        | 66 - 70   | 53                   |   |
|               |                               | 81 - 85        | 71 - 75   | 58                   |   |
| > 85          | > 75                          | 63             |           |                      |   |
| <b>Italia</b> | <b><math>D_{2m,nT}</math></b> |                |           | <b>40</b>            |   |

Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

8

## La normativa tecnica di riferimento

- EN 12354-1, Building acoustics - Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of products, part 1, Airborne sound insulation between rooms
- EN 12354-2, Building acoustics - Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of products, part 2, Impact sound insulation between rooms
- EN 12354-3, Building acoustics - Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of products, part 3: Airborne sound insulation against outdoor sound.
- EN 12354-4, Building acoustics - Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of products, part 4: Transmission of indoor sound to the outside.
- UNI Progetto U20.00.078 (linee guida), Acustica in edilizia; prestazioni acustiche degli edifici; linee guida per il calcolo di progetto e di verifica.

## Potere fonoisolante apparente tra ambienti interni

### Livelli di prestazione (D.P.C.M. 5/12/97)

| Cat. | Classificazione degli ambienti            | $R'_w$ |
|------|---|--------|
| A    | Residenze o assimilabili                  | 50     |
| B    | Uffici ed assimilabili                    | 50     |
| C    | Alberghi, pensioni e simili               | 50     |
| D    | Ospedali, cliniche, case di cura e simili | 55     |
| E    | Scuole e simili                           | 50     |
| F    | Attività ricreative e di culto e simili   | 50     |
| g    | Attività commerciali e simili             | 50     |

# Potere fonoisolante apparente tra ambienti interni

## Significato del parametro

$$R' = D + 10 \lg \left( \frac{S}{A} \right) \text{ (dB)}$$

D = Isolamento acustico ( $L_1 - L_2$ ) (dB)

S = Superficie della partizione ( $\text{m}^2$ )

A = Unità di assorbimento acustico dell'ambiente ricevente ( $\text{m}^2$ )

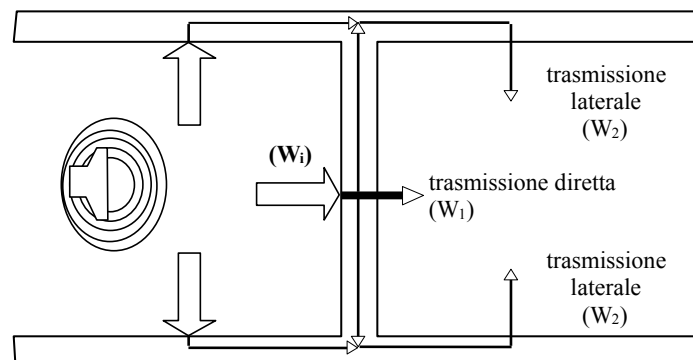
$$A = \sum_{i=1}^n S_i \alpha_i \text{ (m}^2\text{)}$$

$S_i$  = Superficie dell'elemento i ( $\text{m}^2$ )

$\alpha$  = Coefficiente di assorbimento acustico dell'elemento i

n = numero di superfici presenti

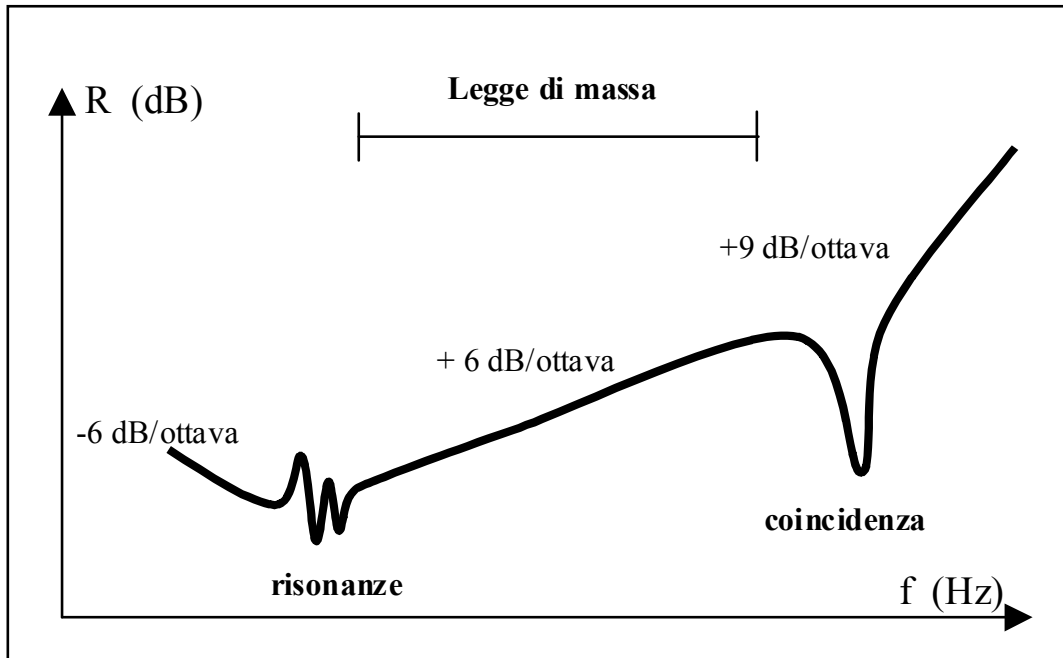
## Differenza tra potere fonoisolante apparente ( $R'$ ) e potere fonoisolante ( $R$ )



$$R = 10 \lg \frac{W_i}{W_1} = -10 \lg(\tau) \text{ (dB)} \quad R' = 10 \lg \frac{W_i}{W_1 + W_2} \text{ (dB)}$$

$$R \approx R' ?$$

## Potere fonoisolante di partizioni omogenee (stima teorica)



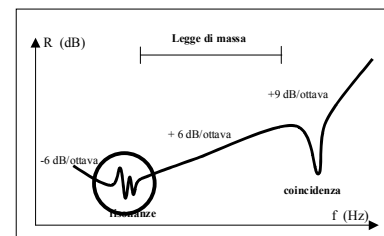
Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

13

## Frequenza di risonanza (pareti omogenee)

$$f_{ris} = 0,45h \sqrt{\frac{E}{\rho} \left[ \left( \frac{n}{x} \right)^2 + \left( \frac{m}{y} \right)^2 \right]} \text{ (Hz)}$$

$h$  = spessore della muratura (m);  
 $x$  = dimensione orizzontale della parete (m);  
 $y$  = dimensione verticale della parete (m);  
 $n$  = numero intero;  
 $m$  = numero intero;  
 $E$  = modulo di Young ( $\text{N/m}^2$ )  
 $\rho$  = densità ( $\text{kg/m}^3$ )



Per spessori consueti delle pareti, la risonanza avviene a frequenze molto basse.

Il problema della risonanza può riguardare le lastre in vetro.

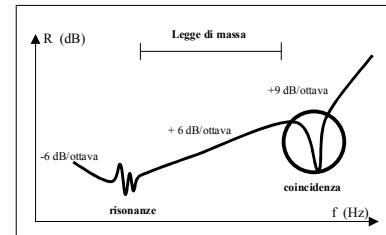
Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

14

## Frequenza di coincidenza (Pareti omogenee)

$$f_c = \frac{c_0^2}{\pi s} \sqrt{\frac{3\rho(1-\nu^2)}{E}} \quad (\text{Hz})$$

E = modulo di Young;  
 ν = coefficiente di Poisson;  
 ρ = densità;  
 s = spessore del pannello



Per un dato materiale, la frequenza critica aumenta al diminuire dello spessore del pannello.

Valori tipici della frequenza critica per pareti massicce in laterizio o simili sono nell'ordine di 150 - 250 Hz.

Pannelli sottili (lastre di vetro o cartongesso) hanno valori della frequenza critica nell'ordine di 2500 - 3150 Hz

## Stima del potere fonoisolante di pareti semplici

Sotto la frequenza critica (legge della massa)

$$R = 10 \lg \left\{ 1 + \left( \frac{m' \pi f}{\rho_0 c_0} \right)^2 \right\} - 5 \quad (\text{dB})$$

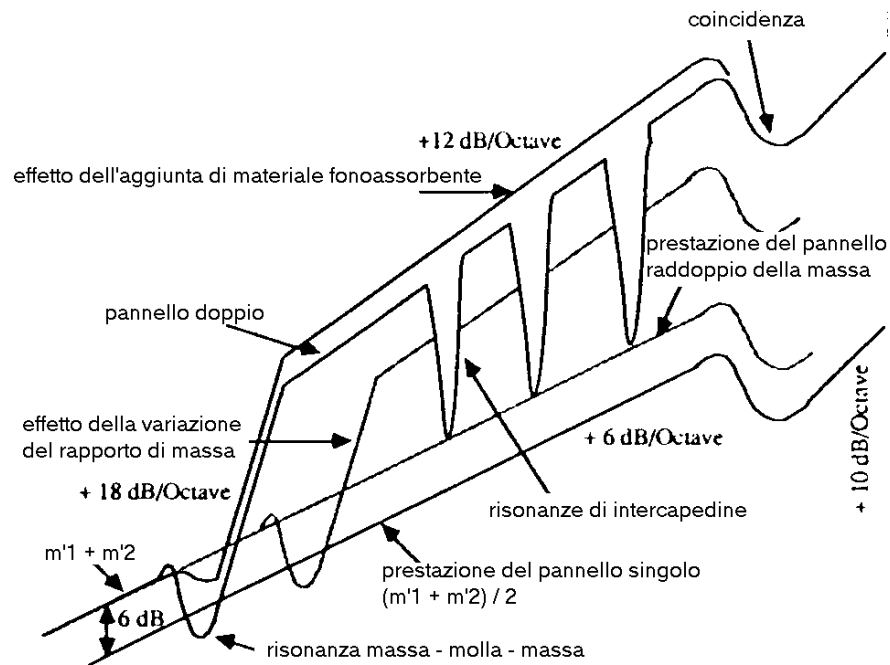
m' = massa superficiale della parete (kg/m<sup>2</sup>);  
 f = frequenza (Hz);  
 ρ<sub>0</sub>c<sub>0</sub> = impedenza acustica dell'aria.

Sopra la frequenza critica

$$R_d = 20 \lg(m' f) + 10 \lg \left( \frac{f}{f_c} - 1 \right) + 10 \lg \eta - 44 \quad (\text{dB})$$

f<sub>c</sub> = frequenza critica della parete (Hz);  
 η = smorzamento totale della parete

## Potere fonoisolante di partizioni doppie (stima teorica)



Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

17

## Frequenza di risonanza massa - molla - massa (pareti doppie)

Per pareti fissate tra loro mediante lo strato elastico

$$f_0 = 160 \sqrt{s' \left( \frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} \text{ (Hz)}$$

Per pareti separate da intercapedine d'aria o quando il materiale fonoassorbente non funge da connessione tra le due pareti

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

$s'$  = rigidità dinamica superficiale dello strato elastico (MN/m<sup>3</sup>)

$m'$  = massa superficiale dei due strati della parete doppia (kg/m<sup>2</sup>)

$d$  = spessore dell'intercapedine (m)

Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

18

## Incremento di potere fonoisolante per contropareti

$$\Delta R = 30 \lg \frac{f}{f_0} \text{ (dB)}$$

f = frequenza di analisi (Hz);

f<sub>0</sub> = frequenza di risonanza del sistema pavimento galleggiante - solaio (Hz)

### Nel caso di rivestimento fissati allo strato elastico

$$f_0 = 160 \sqrt{s' \left( \frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} \text{ (Hz)}$$

### Nel caso di rivestimento NON fissato allo strato elastico

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

s' = rigidità dinamica superficiale dello strato elastico (MN/m<sup>3</sup>)

m'<sub>1,2</sub> = massa superficiale della parete di base e del rivestimento (kg/m<sup>2</sup>)

d = spessore dell'intercapedine (m)

## Calcolo del potere fonoisolante apparente

(stima della trasmissione laterale secondo la normativa europea - EN 12354)

$$R' = -10 \lg \left( 10^{-\frac{R_d}{10}} + \sum 10^{-\frac{R_{ij}}{10}} \right) \text{ (dB)}$$

Calcolo del potere fonoisolante R<sub>ij</sub> relativo al generico percorso i-j

$$R_{ij} = \frac{R_i + R_j}{2} + \Delta R_{ij} + K_{ij} + 10 \lg \frac{S}{l_0 l_f}$$

R<sub>d</sub> = potere fonoisolante del divisorio (partizione) (dB)

R<sub>ij</sub> = potere fonoisolante del generico percorso di trasmissione i-j (dB);

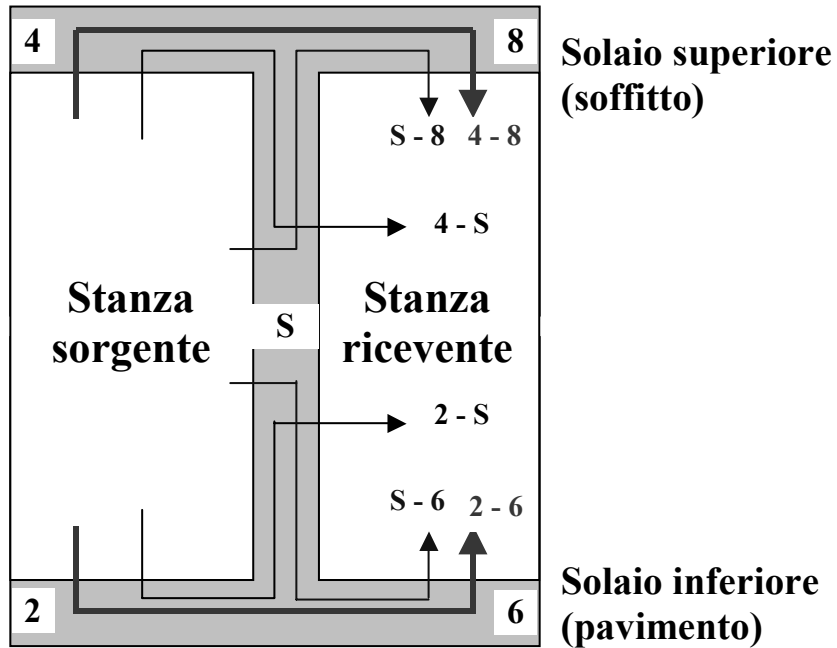
R<sub>i</sub> = potere fonoisolante della struttura i coinvolta nel percorso di trasmissione i-j;

R<sub>j</sub> = potere fonoisolante della struttura j coinvolta nel percorso di trasmissione i-j;

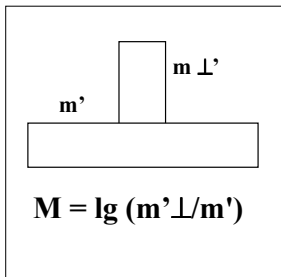
ΔR<sub>ij</sub> = incremento di potere fonoisolante dovuto a strati addizionali lungo il percorso i-j;

K<sub>ij</sub> = indice di riduzione delle vibrazioni del giunto tra le strutture i e j.

## Individuazione dei percorsi di trasmissione laterale strutturale tra due ambienti adiacenti



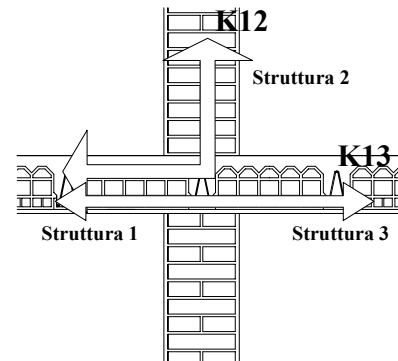
## Calcolo dell'indice di riduzione delle vibrazioni $K_{ij}$



*Giunti rigidi a croce:*

$$K_{13} = 8,7 + 17,1 M + 5,7 M^2$$

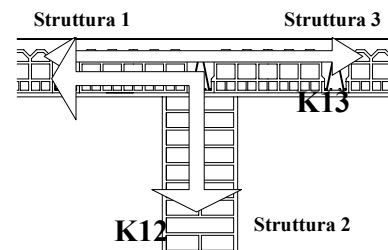
$$K_{12} = 8,7 + 5,7 M^2 \quad (= K_{23})$$



*Giunti rigidi a T:*

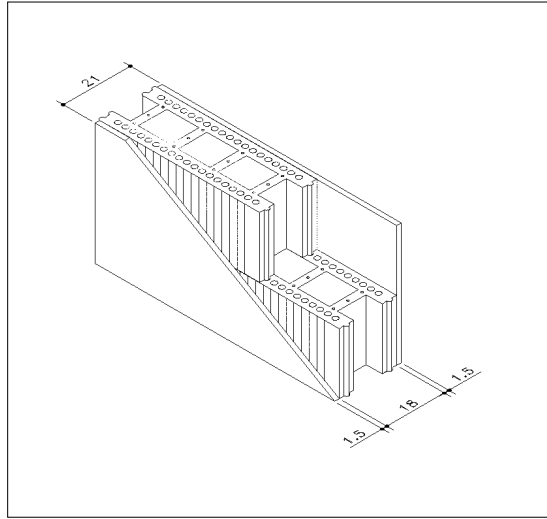
$$K_{13} = 5,7 + 14,1 M + 5,7 M^2$$

$$K_{12} = 5,7 + 5,7 M^2 \quad (= K_{23})$$



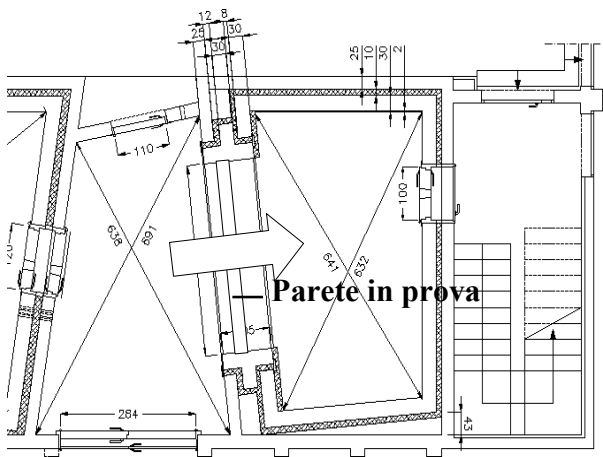
## Caso studio

### Differenza tra potere fonoisolante e potere fonoisolante apparente in contesti tipici

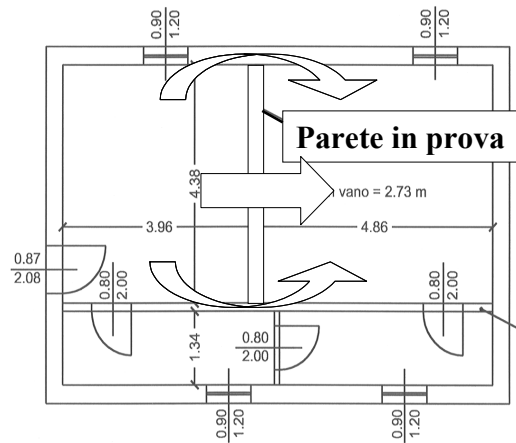


*Parete realizzata con blocchi ad incastro alleggeriti in pasta con tre fori verticali riempiti di malta; intonacata su ambo i lati con 1,5 cm di intonaco)*

## Descrizione dei laboratori di prova



**Laboratorio con trasmissione laterale soppressa (Università di Padova)**

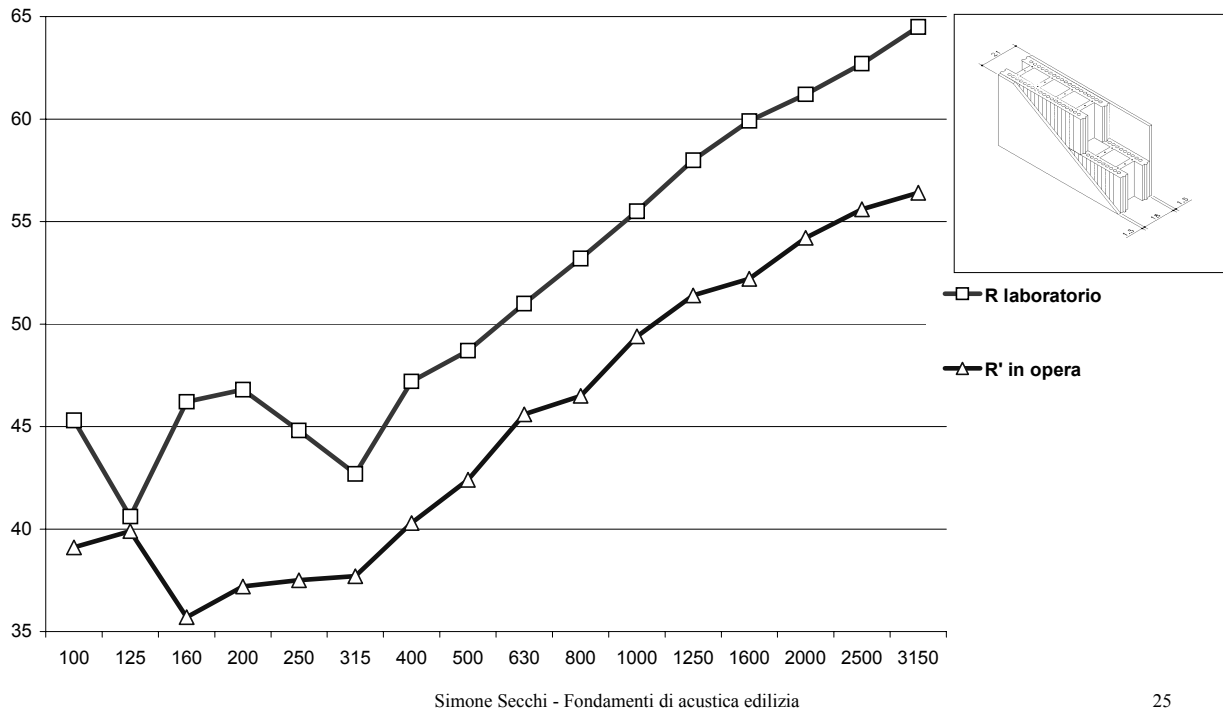


**Laboratorio con trasmissione laterale (Università di Trento)**

## Potere fonoisolante

### Confronto tra dati di laboratorio (R) ed in opera (R')

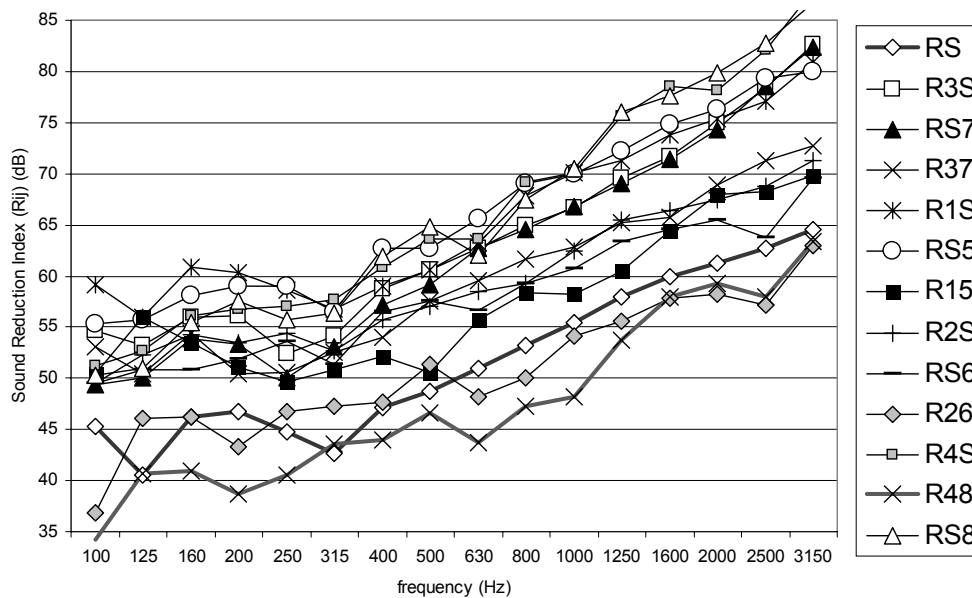
(Parete realizzata con blocchi ad incastro alleggeriti in pasta con tre fori verticali riempiti di malta; intonacata su ambo i lati con 1,5 cm di intonaco)



25

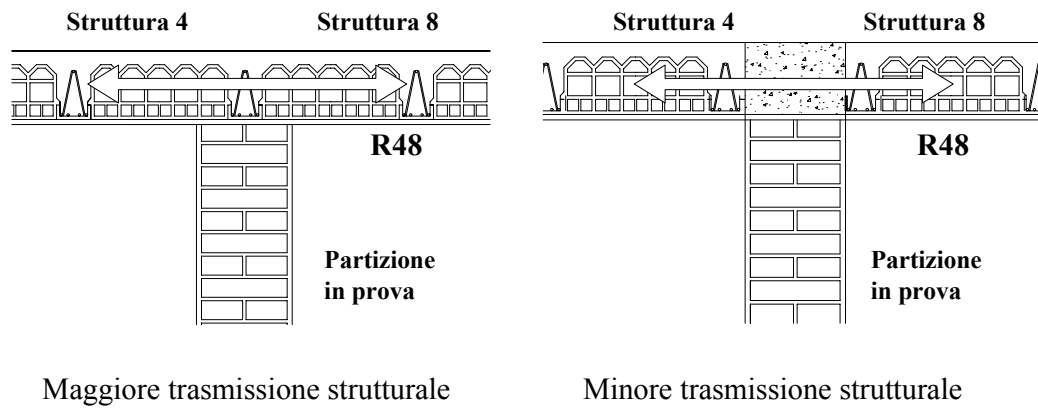
## Potere fonoisolante per trasmissione laterale (R<sub>ij</sub>)

(Parete realizzata con blocchi ad incastro alleggeriti in pasta con tre fori verticali riempiti di malta; intonacata su ambo i lati con 1,5 cm di intonaco)

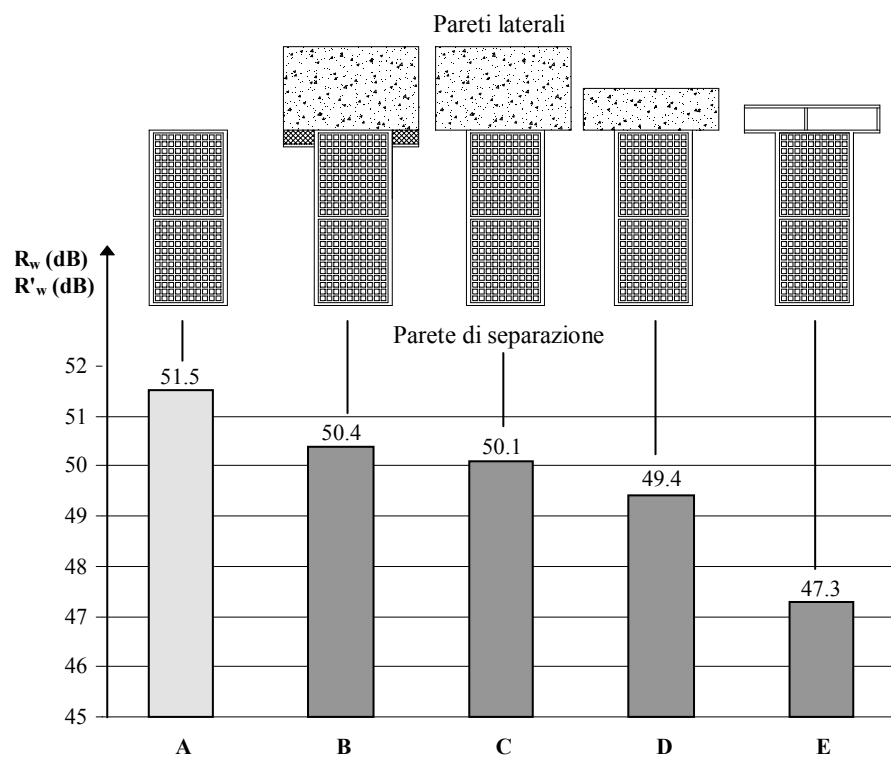


**Il grafico evidenzia la presenza di un percorso di trasmissione laterale molto forte (soffitto camera sorgente – soffitto camera ricevente)**

# Spiegazione della forte trasmissione strutturale

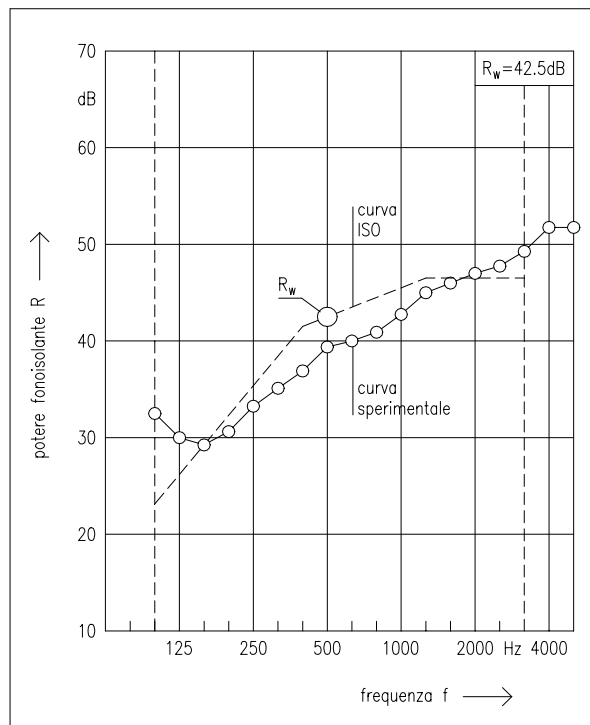


# Esempio di applicazione del metodo di calcolo



# Indice di valutazione per l'isolamento ai rumori aerei

(UNI EN ISO 717-1)

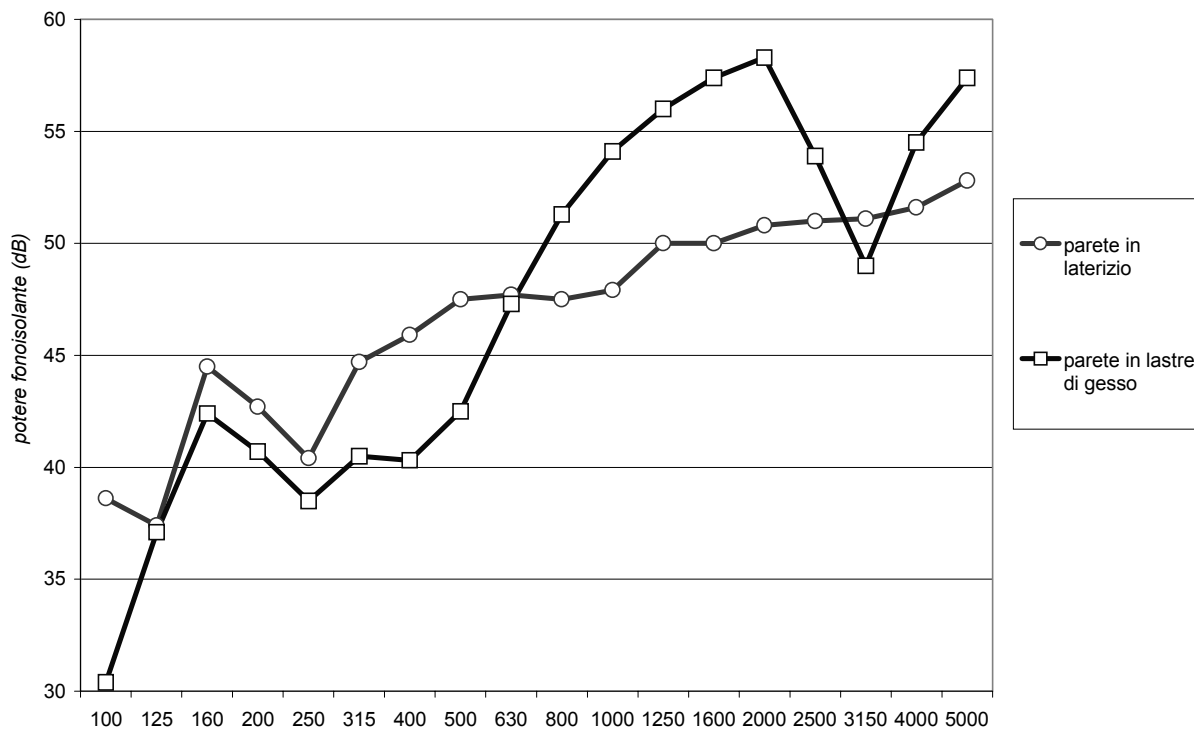


Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

29

## Potere fonoisolante

confronto tra pareti in laterizio ed in cartongesso  
a parità di indice di valutazione del potere fonoisolante



Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

30

## Calcolo dell'indice di valutazione del potere fonoisolante (strutture omogenee)

Formula del CEN ( $m' > 150 \text{ kg/m}^2$ )

$$R_w = 37,5 \lg m' - 42 \text{ (dB)}$$

Formula dell'IEN Galileo Ferraris ( $50 \text{ kg/m}^2 < m' < 400 \text{ kg/m}^2$ )

$$R_w = 20 \lg m' \text{ (dB)}$$

Formula dell'istituto normativo tedesco (DIN) ( $m' > 150 \text{ kg/m}^2$ )

$$R_w = 32,1 \lg m' - 28,5 \text{ (dB)}$$

Formula dell'istituto normativo austriaco (Önorm) ( $m' > 150 \text{ kg/m}^2$ )

$$R_w = 32,4 \lg m' - 26 \text{ (dB)}$$

Formula italiana per blocchi in laterizio alleggerito ( $m' > 100 \text{ kg/m}^2$ )

$$R_w = 16,9 \lg m' + 3,6 \text{ (dB)}$$

## Indice di valutazione del potere fonoisolante (confronto tra i risultati delle formule)

| Formula  | massa superficiale |      |      |
|--|--------------------|------|------|
|  | 150                | 250  | 350  |
| CEN ( $m' > 150 \text{ kg/m}^2$ )                  | 39.6               | 47.9 | 53.4 |
| IEN Galileo Ferraris ( $m' > 150 \text{ kg/m}^2$ ) | 43.5               | 48.0 | 50.9 |
| DIN ( $m' > 150 \text{ kg/m}^2$ )                  | 41.4               | 48.5 | 53.2 |
| Önorm ( $m' > 150 \text{ kg/m}^2$ )                | 44.5               | 51.7 | 56.4 |

# Indice di valutazione del potere fonoisolante apparente tra ambienti interni (valutazione semplificata)

$$R'_w = R_w - C_L$$

- $R_w$  = potere fonoisolante della partizione (parete o solaio, dedotto da misure di laboratorio o da stima teorica (dB);
- $C_L$  = contributo globale (peggiorativo) dovuto alla trasmissione sonora laterale (dB)

## Calcolo semplificato della trasmissione sonora laterale ( $C_L$ ) (solo in assenza di strati di rivestimento di pareti o solai omogenei)

|  |     | Massa superficiale media delle strutture laterali (kg/m <sup>2</sup> ) |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--|-----|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|  |     | 100  | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| Massa superficiale della partizione (kg/m <sup>2</sup> ) | 100 | 2.5  | 1.5 | 1.0 | 0.5 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
|  | 150 | 4.0  | 2.5 | 1.5 | 1.0 | 1.0 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
|  | 200 | 5.0  | 3.5 | 2.5 | 2.0 | 1.5 | 1.0 | 1.0 | 0.5 | 0.5 |
|  | 250 | 6.0  | 4.5 | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 1.5 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
|  | 300 | 7.0  | 5.0 | 4.0 | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 1.5 | 1.5 | 1.0 |
|  | 350 | 7.5  | 6.0 | 4.5 | 3.5 | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 1.5 | 1.5 |
|  | 400 | 8.0  | 6.5 | 5.0 | 4.0 | 3.5 | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 2.0 |
|  | 450 | 8.5  | 7.0 | 5.5 | 4.5 | 4.0 | 3.5 | 3.0 | 2.5 | 2.0 |
|  | 500 | 9.0  | 7.5 | 6.0 | 5.0 | 4.5 | 3.5 | 3.0 | 3.0 | 2.5 |

**GIUNTI RIGIDI A CROCE**  
**Masse superficiali nel rapporto 1:2,3**

## Calcolo semplificato della trasmissione sonora laterale ( $C_L$ ) (solo in assenza di strati di rivestimento di pareti o solai omogenei)

|   |     | Massa superficiale media delle strutture laterali (kg/m <sup>2</sup> ) |      |     |     |     |     |     |     |     |
|---|-----|--|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|   |     | 100  | 150  | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| Massa sup. della partiz. (kg/m <sup>2</sup> ) | 100 | 4.0  | 2.5  | 1.5 | 1.0 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.0 | 0.0 |
|   | 150 | 6.0  | 4.0  | 3.0 | 2.0 | 1.5 | 1.0 | 1.0 | 0.5 | 0.5 |
|   | 200 | 8.0  | 5.5  | 4.0 | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 1.5 | 1.0 | 1.0 |
|   | 250 | 9.0  | 7.0  | 5.0 | 4.0 | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 1.5 | 1.5 |
|   | 300 | 10.0   | 8.0  | 6.0 | 5.0 | 4.0 | 3.5 | 3.0 | 2.5 | 2.0 |
|   | 350 | 11.0   | 8.5  | 7.0 | 6.0 | 5.0 | 4.0 | 3.5 | 3.0 | 2.5 |
|   | 400 | 11.5   | 9.5  | 8.0 | 6.5 | 5.5 | 4.5 | 4.0 | 3.5 | 3.0 |
|   | 450 | 12.0   | 10.0 | 8.5 | 7.0 | 6.0 | 5.5 | 4.5 | 4.0 | 3.5 |
|   | 500 | 13.0   | 10.5 | 9.0 | 8.0 | 7.0 | 6.0 | 5.0 | 4.5 | 4.0 |

### **GIUNTI RIGIDI A T** *Masse superficiali nel rapporto 1:2,3*

Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

35

## Calcolo semplificato dell'incremento di potere fonoisolante

$$\Delta R_w = 30 \lg \frac{500}{f_0} \text{ (dB)}$$

$f_0$  = frequenza di risonanza del sistema pavimento galleggiante - solaio (Hz)

**oppure**

| frequenza di risonanza $f_0$ (Hz) | $\Delta R_w$ (dB) |
|-----------------------------------|-------------------|
| $f_0 \leq 80$                     | $35 - R_w / 2$    |
| $80 < f_0 \leq 125$               | $32 - R_w / 2$    |
| $125 < f_0 \leq 200$              | $28 - R_w / 2$    |
| $200 < f_0 \leq 250$              | - 2               |
| $250 < f_0 \leq 315$              | - 4               |
| $315 < f_0 \leq 400$              | - 6               |
| $400 < f_0 \leq 500$              | - 8               |
| $500 < f_0 \leq 1600$             | - 10              |
| $f_0 > 1600$                      | - 5               |

Valida per pareti di supporto  
aventi  $20 \leq R_w \leq 60$  dB

Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

36

## *Rw sperimentale di pareti semplici in laterizio*

| Descrizione   | Spessore totale (m) | Massa superficiale (kg/m <sup>2</sup> ) | R <sub>w</sub> (C; C <sub>tr</sub> ) (dB) |
|---|---------------------|---|---|
| Parete in elementi di laterizio alleggerito in pasta spessi 8 cm (8 x ... x 45) montata in opera a fori verticali, intonacata su ambo i lati con 1 cm di intonaco.  | 0.100               | 110                                     | 37.7 (-1; -2)                             |
| Parete in mattoni forati da 8 cm (8 x 25 x 25), a fori orizzontali, foratura 60 %, intonacata con malta M3 con 1,5 di spessore su ambo i lati.  | 0.110               | 135                                     | 42 (-1; -3)                               |
| Parete in blocchi di laterizio alleggerito in pasta (alveolato) spessi 8 cm (8 x 45 x 22,5, foratura = 45 %), a fori verticali, intonacata con 1,5 cm di malta M3 su ambo i lati.                                     | 0.110               | 110                                     | 38 (0; -2)                                |
| Parete in mattoni forati da 8 cm a 6 fori orizzontali (8 x 30 x 15), foratura 60 %, intonacata con malta M3 con 1,5 di spessore su ambo i lati.   | 0.110               | 125                                     | 42 (-1; -3)                               |
| Parete intonacata su ambo le facce realizzata con blocchi in laterizio alleggerito (porizzato) (10x30x19 cm), con asse dei fori verticale.  | 0.130               | 130                                     | 41 (0; -2)                                |
| Parete costituita da blocchi semipieni di laterizio alleggerito in pasta (12x25x19 cm), con foratura inferiore al 45 %, disposti con fori verticali, intonacata su un solo lato con 1,5 cm di malta cementizia.       | 0.135               | 155                                     | 43 (-1; -4)                               |
| Parete in mattoni pieni di laterizio spessi 23 cm (23 x 11 x 6) intonacata su ambo i lati con 1 cm di malta di calce e cemento  | 0.250               | 400                                     | 53.4 (1; -2)                              |
| Parete di elementi forati in laterizio, spessi 12 cm (12 x 25 x 25), foratura = 60 %, a fori orizzontali, intonacata con 1,5 cm di malta M3 su ambo i lati.   | 0.150               | 150                                     | 42 (0; -2)                                |
| Parete in blocchi di laterizio alleggerito in pasta (alveolato) spessi 12 cm (12 x 45 x 22,5, foratura = 45 %), a fori verticali, intonacata con 1,5 cm di malta M3 su ambo i lati                                    | 0.150               | 165                                     | 41 (0; -2)                                |
| Parete in mattoni forati da 12 cm (12 x 25 x 25), a fori orizzontali, foratura 60 %, intonacata con malta M3 con 1,5 di spessore su ambo i lati, con lisciatura dell'intonaco con scagliola di gesso appena eseguita. | 0.150               | 130                                     | 42 (-1; -3)                               |

Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

37

## *Rw sperimentale di pareti semplici in laterizio*

|   |       |     |             |
|---|-------|-----|-------------|
| Parete intonacata su ambo le facce, realizzata con blocchi in laterizio (12x24x39) cm; intonaco tradizionale a base di malta cementizia, spessore 15 mm   | 0.150 | 155 | 44 (0; -2)  |
| Parete intonacata su ambo i lati, realizzata con blocchi in laterizio alleggerito (porizzato) (12x30x19 cm), con asse dei fori verticale.   | 0.150 | 150 | 43 (-1; -3) |
| Parete realizzata con blocchi ad incastro, alleggeriti in pasta, a tre fori verticali (18x50x20 cm) con fori riempiti di malta; intonacata ambo i lati (spessore intonaco 1,5 cm).  | 0.210 | 360 | 54 (-1; -4) |
| Parete costituita da muratura in blocchi semipieni di laterizio alleggerito (20 x 30 x 19 cm), foratura < 45 %, disposti a fori verticali, intonacata su un solo lato con 1,5 cm di malta cementizia.   | 0.215 | 235 | 50 (-2; -4) |
| Parete intonacata su ambo le facce realizzata con blocchi in laterizio 20x19x30 cm, posati in opera a fori verticali.   | 0.230 | 225 | 46 (-1; -5) |
| Parete intonacata su ambo le facce realizzata con blocchi forati in laterizio (18x24,5x24 cm), posati con asse dei fori verticale.  | 0.240 | 350 | 51 (-2; -5) |
| Parete realizzata con blocchi semipieni in laterizio alleggerito (porizzato) per murature armate, posati con asse dei fori verticale (25x18x30 cm), con fori grandi riempiti di calcestruzzo, intonacata su ambo le facce con 1,5 cm di intonaco. | 0.280 | 340 | 53 (-1; -5) |
| Parete realizzata con blocchi ad "H", alleggeriti in pasta, (25x30x19 cm); intonacata ambo i lati (spessore intonaco 1,5 cm).   | 0.280 | 300 | 52 (-1; -3) |
| Parete realizzata con blocchi ad "H", alleggeriti in pasta, con fori riempiti di malta (25x30x19 cm); intonacata ambo i lati (spessore intonaco 1,5 cm).  | 0.280 | 340 | 53 (-1; -4) |
| Parete a due teste di mattoni semipieni di 25 cm di spessore (12 x 25 x 5,5, foratura = 32 %), intonacata con 1,5 cm di malta M3 su ambo i lati.  | 0.280 | 440 | 51 (-1; -3) |

Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

38

## *Rw sperimentale di pareti semplici in laterizio*

|  |       |     |             |
|--|-------|-----|-------------|
| Parete realizzata con blocchi in laterizio (25x24x40 cm), intonacata su ambo le facce con 1,5 cm di intonaco.  | 0.280 | 250 | 48 (-1; -3) |
| Parete realizzata con blocchi forati in laterizio (25x30x19) posati con asse dei fori verticale intonacata su ambo le facce con 1,5 cm di intonaco.                          | 0.280 | 230 | 48 (-1; -2) |
| parete realizzata con blocchi in laterizio con bordi sagomati per incastro maschio/femmina, con 61 fori verticali (25x19x30 cm, foratura 45 %), intonacata su ambo le facce. | 0.290 | 240 | 53 (-1; -4) |
| parete realizzata con blocchi in laterizio a 50 fori verticali (25x19x30 cm, foratura 54 %), intonacata su ambo le facce.  | 0.290 | 235 | 52 (-1; -3) |
| Parete realizzata con blocchi ad "H", alleggeriti in pasta, con fori riempiti di malta (30x25x17 cm); intonacata ambo i lati (spessore intonaco 1,5 cm).                     | 0.330 | 390 | 56 (0; -3)  |
| Parete realizzata con blocchi semipieni in laterizio, posati con asse dei fori verticale (30x18x25 cm, foratura ≤ 45 %), intonacata su ambo i lati con 1,5 cm di intonaco.   | 0.330 | 340 | 50 (0; -3)  |
| Parete realizzata con blocchi forati in laterizio con 47 fori verticali (25x30x19), intonacata su ambo le facce con 1,5 cm di malta.   | 0.330 | 270 | 50 (-1; -3) |
| Parete realizzata con blocchi semipieni ad incastro, alleggeriti in pasta, (35x25x24,5 cm); intonacata su ambo i lati (spessore intonaco 1,5 cm).                            | 0.380 | 380 | 48 (-1; -2) |
| Parete realizzata con blocchi semipieni ad incastro, alleggeriti in pasta, (38x25x24,5 cm); intonacata ambo i lati (spessore intonaco 1,5 cm).                               | 0.410 | 420 | 49 (-1; -2) |
| Parete realizzata con blocchi semipieni ad incastro, alleggeriti in pasta, (42x25x24,5 cm); intonacata ambo i lati (spessore intonaco 1,5 cm).                               | 0.450 | 470 | 50 (-1; -2) |

Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

39

## *Rw sperimentale di pareti doppie in laterizio*

| Descrizione   | Spessore (m) | Massa superficiale (kg/m <sup>2</sup> ) | R <sub>w</sub> (C; C <sub>tr</sub> ) (dB) |
|---|--------------|---|---|
| Parete realizzata con tavolato in tramezze a 10 fori (8x50x25 cm) ed intonaco (1,5 cm) lato esterno; intercapedine di 2 cm con fibra di poliestere compressa (spessore originario 2,5 cm, massa 0,2 kg/m <sup>2</sup> ); tavolato in tavelle a 4 fori (6x80x25 cm) ed intonaco sul lato esterno.                    | 0.190        | 160                                     | 46 (-1; -5)                               |
| Parete a intercapedine composta da: forati da 8 cm (8x25x25, foratura 60%), a fori orizzontali, intonacata all'esterno (1,5 cm); intercapedine d'aria (5 cm); forati da 8 cm (8 x 25 x 25, foratura 60 %) a fori orizzontali intonacati su ambo i lati (1,5 cm).  | 0.255        | 200                                     | 46 (0; -2)                                |
| Parete a intercapedine composta da: forati da 8 cm (8x25x25, foratura 60%), a fori orizzontali, intonacata all'esterno (1,5 cm); intercapedine con argilla espansa (5 cm); forati da 8 cm (8 x 25 x 25, foratura 60 %) a fori orizzontali intonacati su ambo i lati (1,5 cm).                                       | 0.255        | 220                                     | 49 (-1; -5)                               |
| Parete a intercapedine composta da: forati da 8 cm (8x25x25, foratura 60%), a fori orizzontali, intonacata all'esterno (1,5 cm); intercapedine (lana di vetro 4 cm, 100 kg/m <sup>3</sup> ); forati da 12 cm (12x25x25, foratura 60%) a fori orizzontali intonacati su ambo i lati (1,5 cm).                        | 0.270        | 235                                     | 51 (-1; -3)                               |
| Parete a intercapedine composta da: forati da 8cm (8x25x25, foratura 60%), a fori orizzontali, intonacata all'esterno (1,5 cm); intercapedine d'aria (4 cm); forati da 12 cm (12x25x25, foratura 60%) a fori orizzontali intonacati su ambo i lati (1,5 cm).  | 0.285        | 240                                     | 47 (-1; -3)                               |
| Parete a intercapedine composta da: forati da 8 cm (8x25x25, foratura 60%), a fori orizzontali, intonacata all'esterno (1,5 cm); intercapedine con argilla espansa (4 cm); forati da 12 cm (12x25x25, foratura 60%) a fori orizzontali intonacati su ambo i lati (1,5 cm).  | 0.285        | 260                                     | 50 (-1; -5)                               |
| Parete realizzata con tavolato in tramezze normali a 10 fori (8x25x25 cm) ed intonaco (1,5 cm) lato esterno; intercapedine di 10 cm con lana di roccia da 5 cm (50 kg/m <sup>3</sup> ) appoggiata al tavolato; tavolato in tramezze normali a 10 fori (8x25x25 cm) ed intonaco sul lato esterno.                    | 0.290        | 190                                     | 50 (-1; -4)                               |
| Parete realizzata con tavolato in tramezze normali a 15 fori (12x25x25 cm) ed intonaco (1,5 cm) lato esterno; intercapedine di 6 cm con lana di roccia da 5 cm (densità 50 kg/m <sup>3</sup> ); tavolato in tramezze semipiene ad incastro, alleggerite in pasta, (8x50x24,5 cm) ed intonaco (1,5 cm) lato esterno. | 0.290        | 300                                     | 53 (0; -3)                                |







Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

40

## *Rw sperimentale di pareti doppie in laterizio*

|   |       |     |             |
|---|-------|-----|-------------|
| Parete realizzata con tavolato in tramezze normali a 10 fori (8x25x25 cm) ed intonaco (1,5 cm) lato esterno; intercapedine di 12 cm; tavolato in tramezze semipiene ad incastro, alleggerite in pasta, (8x50x24,5 cm) ed intonaco (1,5 cm) lato esterno.                                | 0.310 | 260 | 53 (0; -4)  |
| Parete realizzata con blocchi a "T", alleggeriti in pasta, (17x33x24,5 cm) montati sfalsati ed intonaco (1,5 cm) lato esterno; intercapedine di 3 cm; tavolato in tramezze semi-piene ad incastro, alleggerite in pasta, (8x50x24,5 cm) ed intonaco (1,5 cm) lato esterno.              | 0.310 | 320 | 54 (-1; -4) |
| Parete realizzata con tavolato in tramezze normali a 15 fori (12x25x25 cm) ed intonaco (1,5 cm) lato esterno; intercapedine di 6 cm con lana di roccia da 5 cm (densità 50 kg/m <sup>3</sup> ); tavolato in tramezze normali a 15 fori (12x25x25 cm) ed intonaco (1,5 cm) lato esterno. | 0.330 | 250 | 49 (-1; -5) |
| Parete a intercapedine composta da: forati da 8 cm (8x25x25, foratura 60%), a fori orizzontali, intonacata all'esterno (1,5 cm); intercapedine. (lana di vetro 4 cm 100 kg/m <sup>3</sup> ); forati normali (25x18x13, f = 55%) a fori verticali. intonacati su ambo i lati (1,5 cm).   | 0.400 | 360 | 52 (-1; -4) |
| Parete senza intercapedine spessa 40 cm composta da blocchi semipieni in laterizio alleggerito (25x30x19, foratura 45%), mattoni faccia a vista (12x25x5,5, foratura 32%), intonacata su ambo i lati.   | 0.400 | 469 | 54 (-1; -3) |

## *Rw sperimentale di pareti doppie in cartongesso*

| Immagine  | Descrizione   | Massa sup. (kg/m <sup>2</sup> ) | R <sub>w</sub> (dB) | Spess. (cm) |
|---|---|---------------------------------|---------------------|-------------|
|                      | Parete composta da 4 lastre di cartongesso (2+2) di 12,5 mm di spessore ed una intercapedine di 75 mm parzialmente riempita con lana minerale   | 49                              | <b>49.5</b>         | 12.5        |
| <br>IEN GF 21546     | Parete composta da 2 lastre di cartongesso di 12,5 mm di spessore ed una intercapedine d'aria di 75 mm; lastre fissate ai montanti con collante e nastro  | 24.1                            | <b>37.8</b>         | 10          |
| <br>IEN GF 21546/1   | Parete composta da 4 lastre (2+2) di cartongesso di 12,5 mm di spessore ed una intercapedine d'aria di 75 mm; lastre fissate ai montanti con collante e nastro  | 45.9                            | <b>47.3</b>         | 12.5        |
| <br>IEN GF 27363/9   | Parete composta da 4 lastre (2+2) di cartongesso di 12,5 mm di spessore ed una intercapedine d'aria di 75 mm, parz. riempita con 60 mm di lana di vetro (40 Kg/mc); sigillatura perimetrale in pasta acrilica       | 48.4                            | <b>56.0</b>         | 12.5        |
| <br>IEN GF 27363/12  | Parete composta da 4 lastre (2+2) di cartongesso di 12,5 e 15 mm di spessore ed una intercapedine d'aria di 100 mm, parz. riempita con 80 mm di lana di vetro (40 Kg/mc); sigillatura perimetrale in pasta acrilica | 53.6                            | <b>59.0</b>         | 15.5        |
| <br>IEN GF P-BA 3/92 | Parete composta da 6 lastre (2+2+2) di cartongesso di 12,5 mm di spess., 3 strati di lana di vetro da 100 mm; con una parte montata su una camera svincolata dalla prima (massa superf. della parete stimata).      | 87.6                            | <b>85.0</b>         | 44.5        |

## *$\Delta R_w$ sperimentale di contropareti in cartongesso*

| Descrizione   | Massa sup. (kg/m <sup>2</sup> ) | $\Delta R_w$ (dB) |  |
|---|---------------------------------|-------------------|--|
| Controparete costituita da una lastra di cartongesso da 12,5 mm di spess., intercapedine da 60 mm parz. riempita con lana minerale da 40 mm.              | 15                              | 7.25              |  |
| Controparete costituita da due lastre di cartongesso da 12,5 mm di spess., intercapedine da 60 mm parz. riempita con lana minerale da 40 mm.              | 15                              | 6.0               |  |
| Controparete costituita da una lastra di cartongesso da 12,5 mm di spess., intercapedine da 110 mm parz. riempita con lana minerale da 80 mm.             | 14                              | 11.0              |  |
| Controparete costituita da due lastre di cartongesso da 12,5 mm di spess., intercapedine da 110 mm parz. riempita con lana minerale da 80 mm.             | 16                              | 11.0              |  |
| Controparete costituita da una lastra di cartongesso da 10 mm di spess., intercapedine da 40 mm parz. riempita con lana minerale da 30 mm.                | 10                              | 4.0               |  |
| Controparete costituita da una lastra di cartongesso da 9,5 mm di spess., intercapedine da 40 mm parz. riempita con lana minerale da 30 mm.               | 13                              | 4.0               |  |
| Controparete costituita da una lastra di cartongesso da 12,5 mm di spess., intercapedine da 40 mm parz. riempita con lana minerale da 30 mm (SP/TRH 120). | 13                              | 4.0               |  |
| Controparete costituita da una lastra di cartongesso da 9,5 mm di spess., intercapedine da 60 mm parz. riempita con lana minerale da 50 mm.               | 13                              | 6.0               |  |
| Controparete costituita da una lastra di cartongesso da 12,5 mm di spess., intercapedine da 40 mm parz. riempita con lana minerale da 30 mm (RPX 30).     | 12                              | 4.0               |  |

Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

43

## *$R_w$ sperimentale di pareti semplici in calcestruzzo alleggerito*

| Descrizione  | Spessore totale (m) | Massa superficiale (kg/m <sup>2</sup> ) | $R_w$ (C; C <sub>tr</sub> ) (dB) |
|--|---------------------|---|----------------------------------|
| Parete in blocchi di gesso (75x50x8 cm).   | 0.08                | 75                                      | 39.4                             |
| Parete in pannelli di cemento alleggerito con polistirolo (3,4 %) (105x21.2x8 cm) con rete elettrosaldata a maglie di 20x22 cm e diametro di 4 mm, sigillati con resine epossidiche. | 0.08                | 65                                      | 39.0                             |
| Parete in pannelli in gesso (80x56x8.4 cm).  | 0.084               | 70                                      | 37.2                             |
| Parete in pannelli di gesso (66.6x50x10 cm).   | 0.10                | 105                                     | 40.8                             |
| Parete in pannelli di gesso forati (66,5x50x10 cm).  | 0.10                | 70                                      | 37.3                             |
| Parete in pannelli di cemento espanso cellulare (105x210x11.5) con rete elettrosaldata con maglie di 15x40 cm e diametro 4 mm).  | 0.115               | 150                                     | 47.1                             |
| Parete di blocchi forati di calcestruzzo di argilla espansa (49.5x11.5x19.5 cm), intonacati su ambo i lati con malta di calce e cemento spessa 1 cm.                                 | 0.115               | 130                                     | 46.5                             |

Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

44

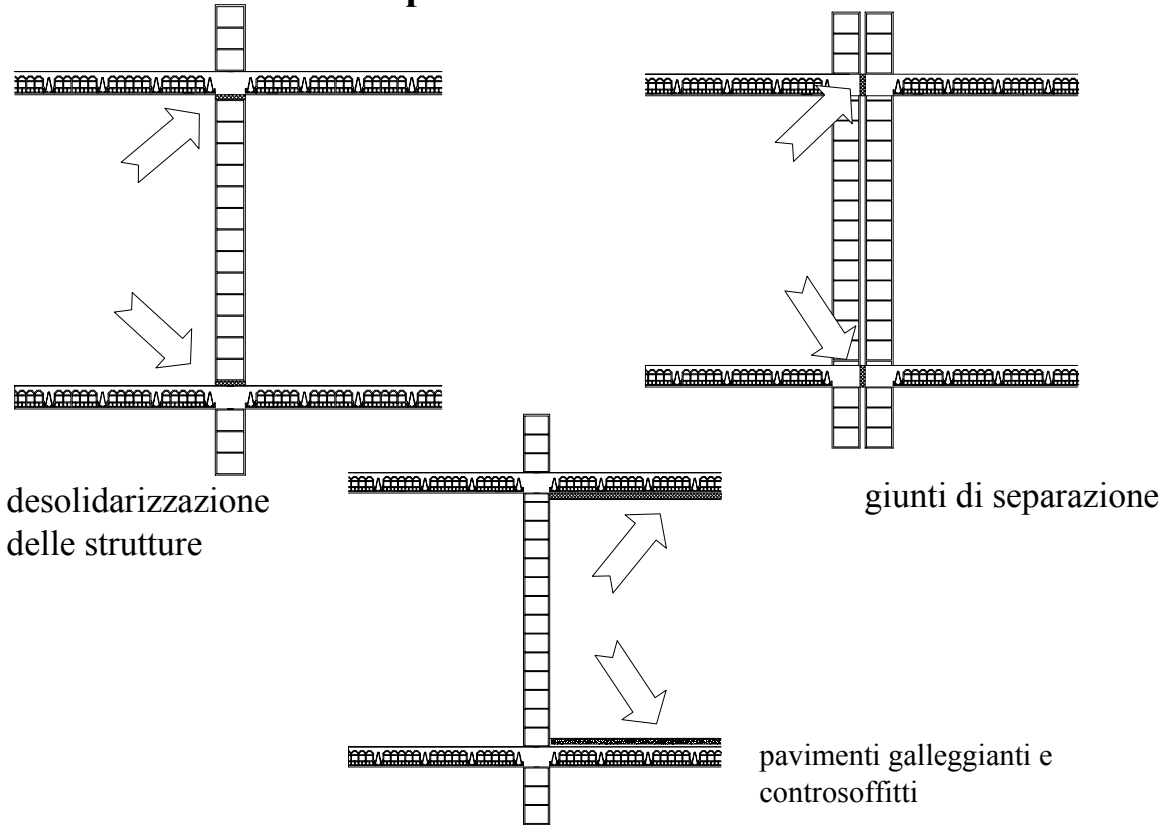
## *Rw sperimentale di pareti semplici in calcestruzzo alleggerito*

|   |       |     |      |
|---|-------|-----|------|
| Parete in blocchi di calcestruzzo cellulare (60x25x10 cm) intonacata con malta calce e cemento con spessore di 1 cm.  | 0.12  | 85  | 40.0 |
| Parete in blocchi forati di calcestruzzo di argilla espansa (48.2x12x19.5 cm) intonacata su ambo i lati con malta di calce e cemento spessa 1 cm.                                     | 0.12  | 150 | 47.5 |
| Parete di blocchi forati di calcestruzzo di pomice (13x25x50 cm) intonacata su ambo i lati con malta bastarda spessa 1,5 cm.  | 0.16  | 130 | 47.2 |
| Parete doppia in blocchi forati di calcestruzzo di argilla espansa (49x7.5x19 cm) intonacata su ambo i lati e su un lato dell'intercapedine con malta di calce e cemento spessa 1 cm. | 0.21  | 170 | 48.4 |
| Parete in blocchi di calcestruzzo cellulare (50x50x20 cm) intonacata con malta bastarda con spessore di 1 cm.   | 0.22  | 145 | 48.0 |
| Parete in blocchi forati di calcestruzzo di argilla espansa (49x24.5x19.6 cm), intonacati su ambo i lati con malta di calce e cemento spessa 1 cm.                                    | 0.245 | 200 | 48.4 |
| Parete in blocchi forati di calcestruzzo di argilla espansa (49.2x29.6x19.5 cm), intonacata su ambo i lati con malta di calce e cemento spessa 1 cm.                                  | 0.296 | 300 | 52.5 |
| Parete in blocchi di calcestruzzo cellulare (50x25x30 cm), intonacata con malta bastarda con 1 e 1,5 cm di spessore.  | 0.325 | 200 | 50.0 |

## *Rw sperimentale di solai nudi in laterizio*

| Descrizione  | Spessore (m) | Massa superficiale (kg/m <sup>2</sup> ) | R <sub>w</sub> (C; C <sub>tr</sub> ) (dB) |
|--|--------------|---|---|
| Solaio con travetti a traliccio (interasse = 50 cm) e pignatte tipo A da 16 cm con 4 cm di soletta in calcestruzzo e 1,5 cm di intonaco all'intradosso.  | 0.215        | 270                                     | 49 (-1; -3)                               |
| Solaio con travetti precompressi (interasse = 50 cm) e pignatte tipo A da 16 cm con 4 cm di soletta in calcestruzzo e 1,5 cm di intonaco all'intradosso.   | 0.215        | 270                                     | 48 (-1; -3)                               |
| Solaio a pannelli prefabbricati (interasse = 80 cm), con pignatte tipo B da 16,5 cm con 4 cm di soletta in calcestruzzo e 1,5 cm di intonaco all'intradosso.   | 0.220        | 320                                     | 48 (-1; -3)                               |
| Solaio a lastre precomprese spesse 4 cm (interasse = 120 cm), con pignatte tipo B da 12 cm con 4 cm di soletta in calcestruzzo e 1,5 cm di intonaco all'intradosso.  | 0.240        | 420                                     | 51 (0; -2)                                |
| Solaio con travetti a traliccio (interasse = 50 cm) e pignatte tipo A da 20 cm con 4 cm di soletta in calcestruzzo e 1,5 cm di intonaco all'intradosso.  | 0.255        | 340                                     | 50 (-1; -3)                               |
| 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.   | 0.255        | 360                                     | 50 (-1; -3)                               |
| Solaio a pannelli prefabbricati (interasse = 80 cm), con pignatte tipo B da 20 cm con 4 cm di soletta in calcestruzzo e 1,5 cm di intonaco all'intradosso.   | 0.255        | 370                                     | 52 (-1, -4)                               |
| Solaio con pignatte in laterizio alveolato tipo A da 20 cm e travetti a traliccio con fondello in laterizio alveolato (interasse = 60 cm) con 4 cm di soletta in calcestruzzo e 1,5 cm di intonaco all'intradosso. | 0.255        | 360                                     | 51 (-1; -3)                               |
| Solaio a pannelli prefabbricati (interasse = 80 cm), con pignatte tipo B da 16,5 cm con 4 cm di soletta in calcestruzzo e 1,5 cm di intonaco all'intradosso.   | 0.285        | 460                                     | 53 (0; -3)                                |

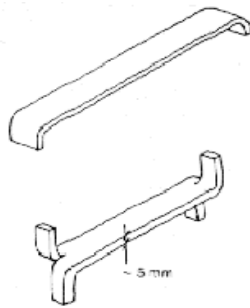
## Uso di strati elastici per ridurre la trasmissione laterale



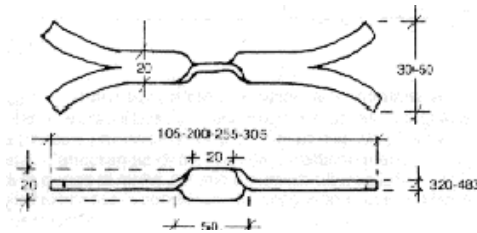
Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

47

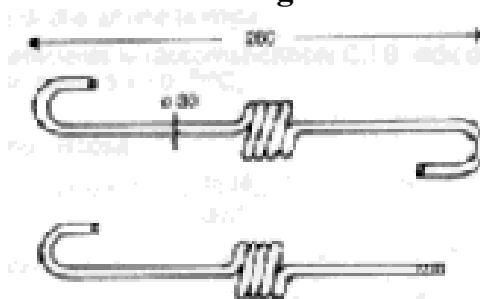
## Sistemi di ancoraggio per pareti doppie



**Graffa rigida**



**Graffa semirigida**



**Graffa elastica**

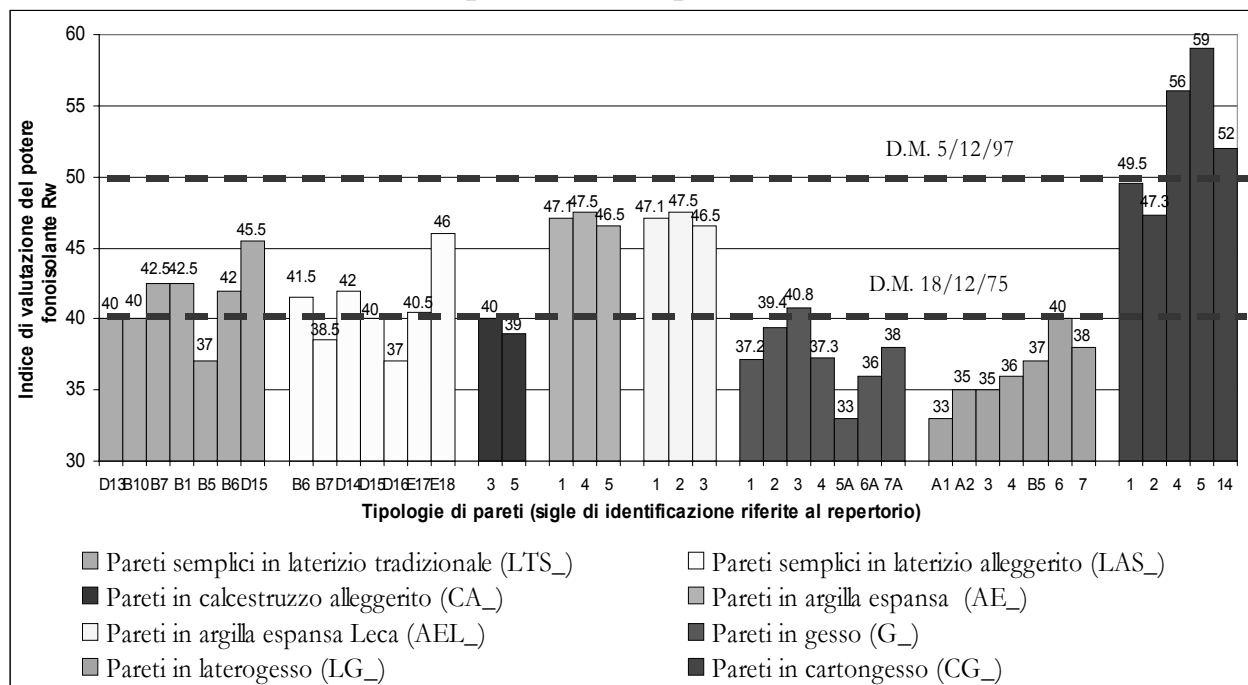


**Graffa con rondella per gocciolatoio**

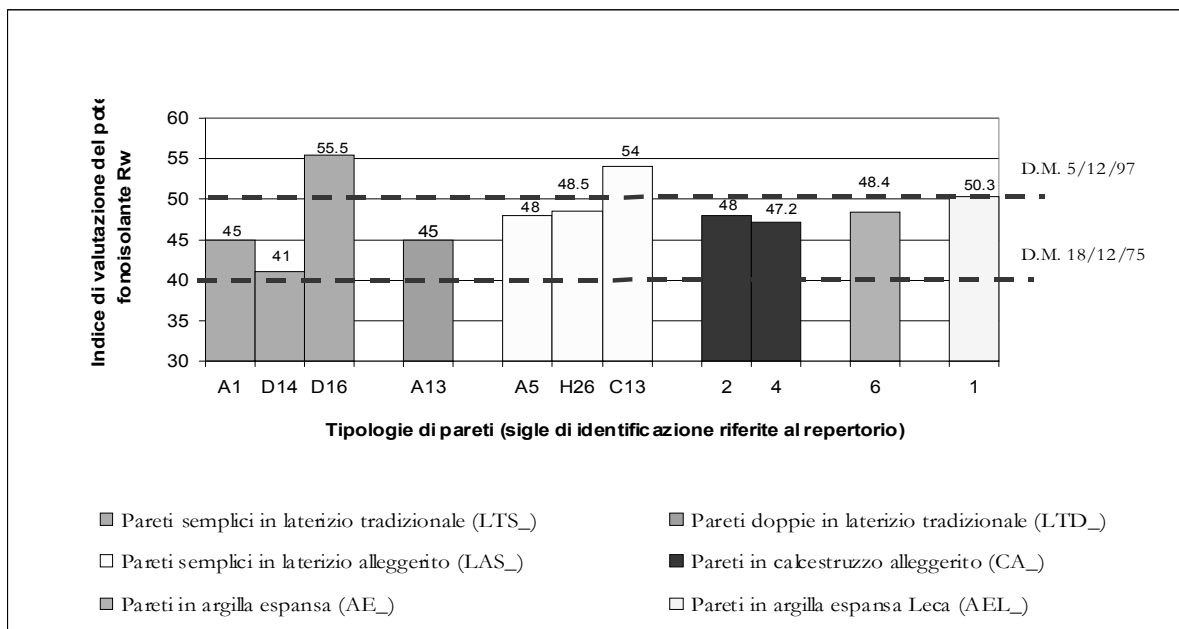
Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

48

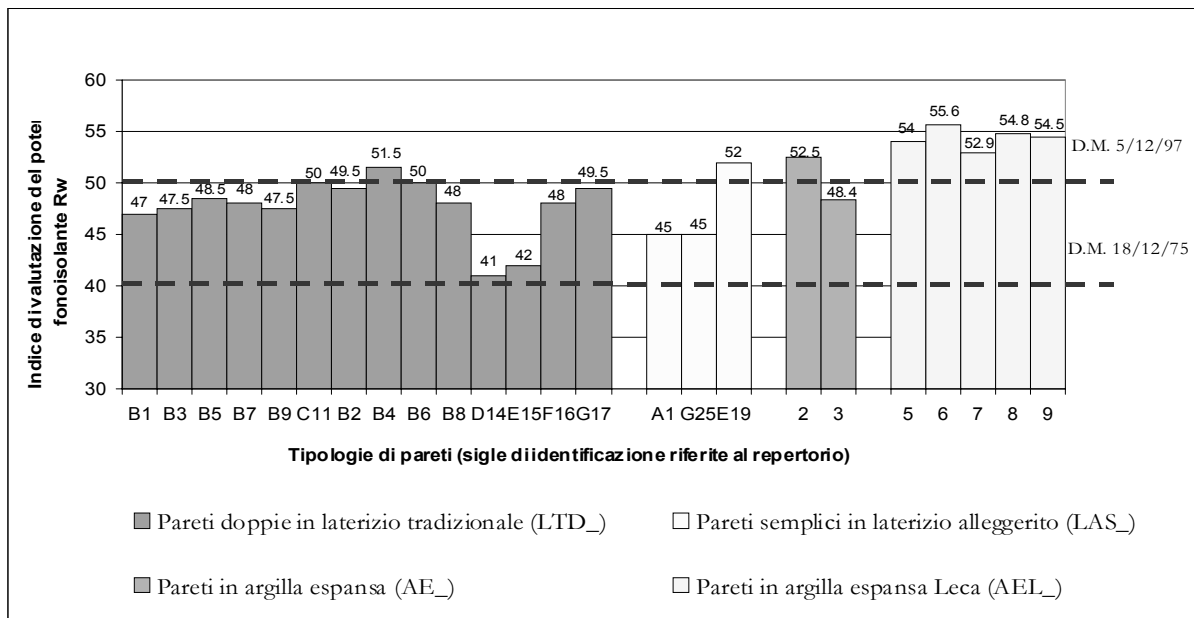
## Confronto tra gli $R_w$ tra tipologie di pareti diverse di spessore compreso tra 6 e 15 cm



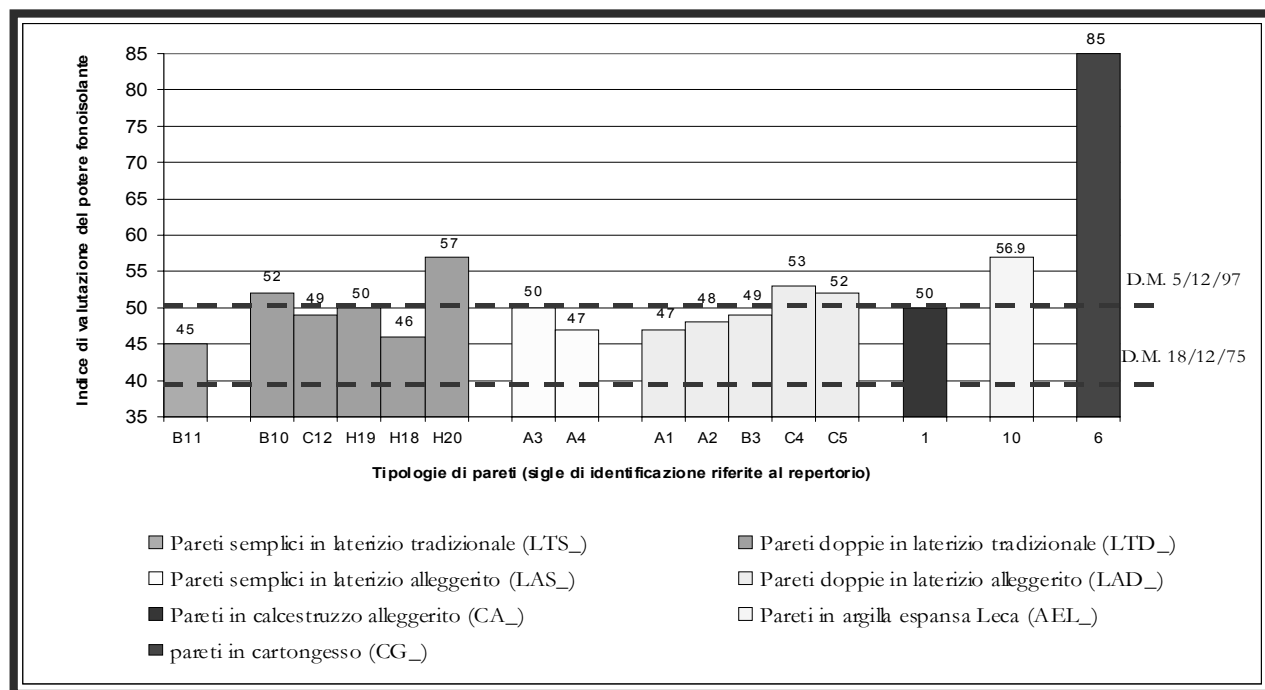
## Confronto tra gli $R_w$ tra tipologie di pareti diverse di spessore compreso tra 15.8 e 22 cm



## Confronto tra gli $R_w$ tra tipologie di pareti diverse di spessore compreso tra 23 e 30.5 cm

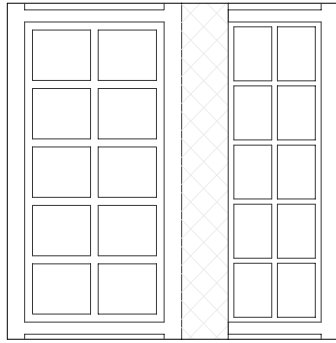


## Confronto tra gli $R_w$ tra tipologie di pareti diverse di spessore compreso tra 31 e 48 cm

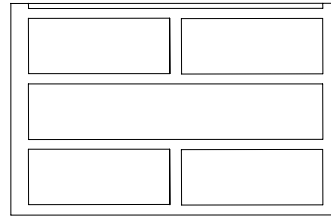


## Potere fonoisolante apparente tra ambienti interni

### Soluzioni conformi (Regolamento Edilizio Tipo dell'Emilia Romagna)



Parete a intercapedine composta da forati da 8 (8x25x25,  $f = 60\%$ ), a fori orizzontali, intonacata all'esterno (1,5 cm); intercapedine (lana di vetro 4 cm,  $100 \text{ kg/m}^3$ ); forati da 12 (12x25x25,  $f=60\%$ ) a fori orizzontali intonacati su ambo i lati (1,5 cm).



Parete a due teste di mattoni semipieni di 25 cm di spessore (foratura = 32 %), intonacata con 1,5 cm di malta M3 su ambo i lati.

## Esercizio sull'isolamento acustico ai rumori interni aerei

Partizione in muratura di mattoni pieni di tipo UNI a due teste, spessa 25 cm e intonacata su ambo i lati ( $m' = 480 \text{ kg/m}^2$ )

- Solai in laterocemento con pignatte da 20 cm e soletta da 5 cm, intonacati all'intradosso ( $m' = 340 \text{ kg/m}^2$ )
- Parete di facciata in muratura a intercapedine intonacata (tavolato interno di mattoni forati da 8 cm e tavolato esterno di mattoni semipieni da 12 cm) ( $m'$  del solo strato interno =  $140 \text{ kg/m}^2$ )
- Parete divisoria interna in mattoni forati da 8 cm intonacati ( $m' = 140 \text{ kg/m}^2$ )

## Indice di valutazione dell'isolamento acustico standardizzato di facciata

### Livelli di prestazione (D.P.C.M. 5/12/97)

| Cat. | Classificazione degli ambienti            | $D_{2m,nT,w}$ |
|------|---|---------------|
| A    | Residenze o assimilabili                  | 40            |
| B    | Uffici ed assimilabili                    | 42            |
| C    | Alberghi, pensioni e simili               | 40            |
| D    | Ospedali, cliniche, case di cura e simili | 45            |
| E    | Scuole e simili                           | 48            |
| F    | Attività ricreative e di culto e simili   | 42            |
| g    | Attività commerciali e simili             | 42            |

## Indice di valutazione dell'isolamento acustico standardizzato di facciata

### Significato del parametro

$$D_{2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \lg \left( \frac{T}{T_0} \right) \text{ (dB)}$$

$L_{1,2m}$  = Livello equivalente di pressione sonora 2 metri davanti alla facciata (dB)

$L_2$  = Livello equivalente medio di pressione sonora nell'ambiente disturbato (dB)

T = Tempo di riverberazione nell'ambiente disturbato (s)

$T_0$  = Tempo di riverberazione di riferimento (= 0,5 s)

### Metodo di calcolo del parametro

$$D_{2m,nT} = R' + \Delta L_{fs} + 10 \lg \left( \frac{V}{6T_0S} \right) \text{ (dB)}$$

$R'$  = Potere fonoisolante apparente di facciata (dB)

$\Delta L_{fs}$  = Differenza di livello per forma della facciata (dB)

V = Volume dell'ambiente ricevente ( $m^3$ )

$T_0$  = Tempo di riverberazione di riferimento (= 0,5 s)

S = Superficie della facciata vista dall'interno ( $m^2$ )

## Calcolo del potere fonoisolante apparente di facciata

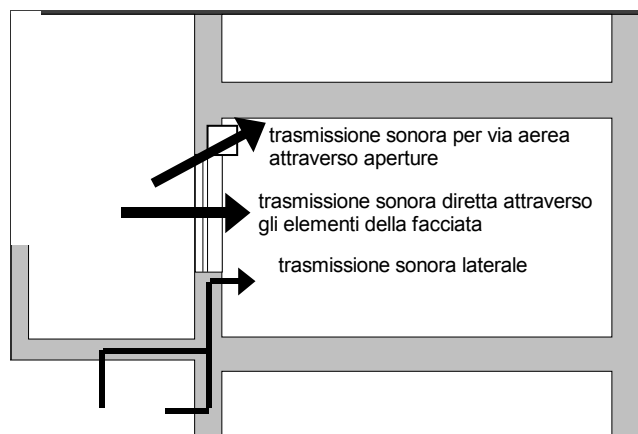
$$R' = -10 \lg \left( \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{S} 10^{\frac{-R_i}{10}} + \frac{A_0}{S} \sum_{i=1}^p 10^{\frac{-D_{n,e,i}}{10}} \right) - K$$

$R_i$  = Potere fonoisolante degli elementi normali di facciata (dB)

$D_{n,e,i}$  = Isolamento acustico dei piccoli elementi di facciata (dB)

$S$  = Superficie della facciata vista dall'interno (m<sup>2</sup>)

$K$  = Correzione per trasmissione laterale di facciata ( $K = 2$  per elementi pesanti con giunti rigidi;  $K = 0$  per elementi non connessi) (dB)



Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

57

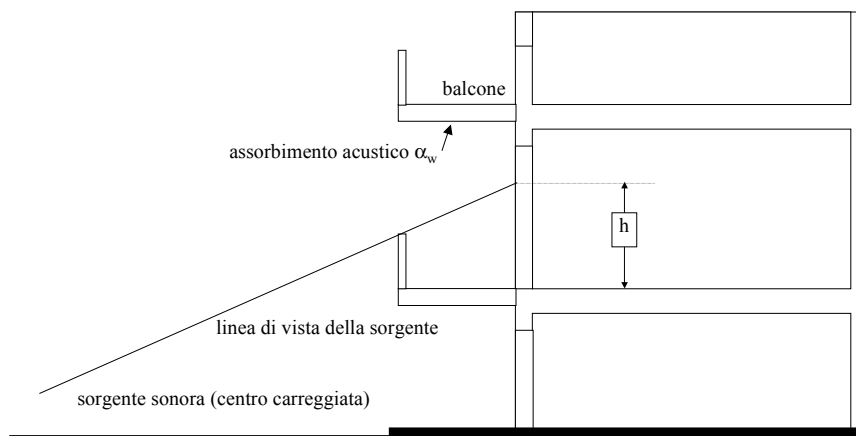
## Calcolo della differenza di livello per forma della facciata

### Significato del parametro

$$\Delta L_{fs} = L_{1,2m} - L_{1,s} + 3 \text{ (dB)}$$

$L_{1,2m}$  = Livello equivalente di pressione sonora 2 metri davanti alla facciata (dB)

$L_{1,s}$  = Livello equivalente di pressione sonora sul piano della facciata (dB)



Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

58

## Metodo di calcolo del parametro

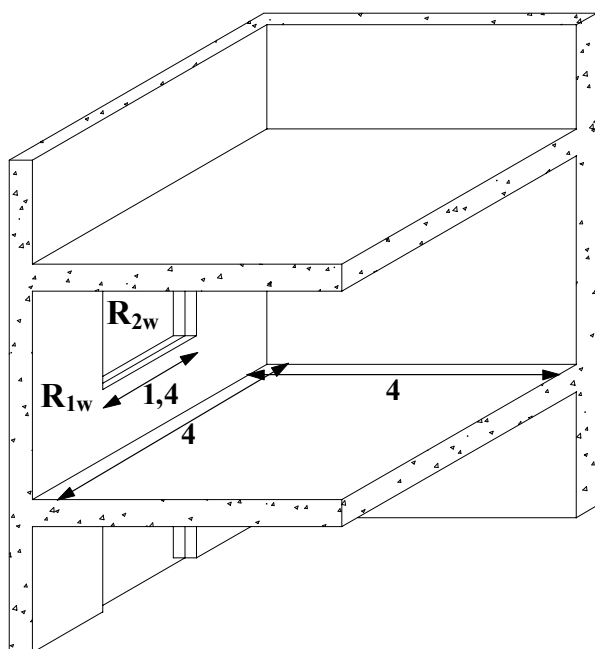
|                         | Facciata piana | portico o      |     |            | portico    |     |            | portico    |     |            | portico        |     |            |
|-------------------------|----------------|----------------|-----|------------|------------|-----|------------|------------|-----|------------|----------------|-----|------------|
| $\alpha_w$              | non si applica | $\leq 0,3$     | 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 | $\geq 0,9$ |
| $h < 1,5$ m             | 0              | -1             | -1  | 0          | -1         | -1  | 0          | 0          | 0   | 1          | non si applica |     |            |
| $1,5 \leq h \leq 2,5$ m | 0              | non si applica |     |            | -1         | 0   | 2          | 0          | 1   | 3          | non si applica |     |            |
| $h > 2,5$ m             | 0              | non si applica |     |            | 1          | 1   | 2          | 2          | 2   | 3          | 3              | 4   | 6          |

|                         | balcone    |     |            | balcone    |     |            | balcone    |     |            | terrazza           |   |   |                    |   |   |
|-------------------------|------------|-----|------------|------------|-----|------------|------------|-----|------------|--------------------|---|---|--------------------|---|---|
| $\alpha_w$              | $\leq 0,3$ | 0,6 | $\geq 0,9$ | $\leq 0,3$ | 0,6 | $\geq 0,9$ | $\leq 0,3$ | 0,6 | $\geq 0,9$ | schermature aperte |   |   | schermature chiuse |   |   |
| $h < 1,5$ m             | -1         | -1  | 0          | 0          | 0   | 1          | 1          | 1   | 2          | 2                  | 1 | 1 | 3                  | 3 | 3 |
| $1,5 \leq h \leq 2,5$ m | -1         | 1   | 3          | 0          | 2   | 4          | 1          | 1   | 2          | 3                  | 4 | 5 | 5                  | 6 | 7 |
| $h > 2,5$ m             | 1          | 2   | 3          | 2          | 3   | 4          | 1          | 1   | 2          | 4                  | 4 | 5 | 6                  | 6 | 7 |

$\alpha_w$  = coefficiente medio ponderato di assorbimento acustico delle superfici riflettenti del balcone o loggia

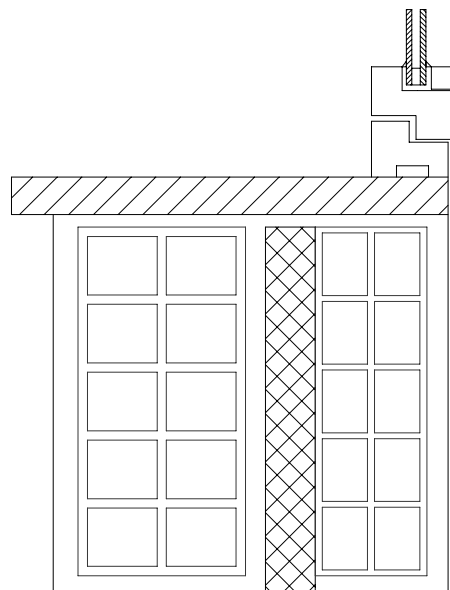
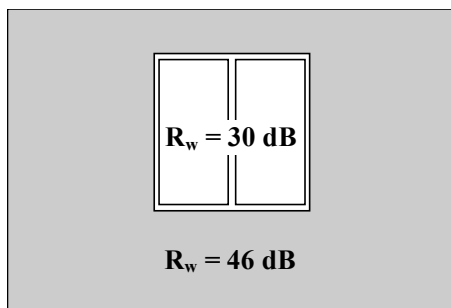
$h$  = altezza di vista della sorgente sonora

## Esempi di soluzioni pre valutate rispetto al requisito minimo i isolamento acustico di facciata per gli edifici residenziali



2,7 Superficie finestra:  $1,4 \times 1,4 = 1,96 \text{ m}^2$

Superficie facciata:  $4 \times 2,7 = 10,8 \text{ m}^2$



Parete doppia costituita da doppio tavolato di elementi forati in laterizio da 12 e 8 cm intonacati all'esterno e su un lato dell'intercapedine.

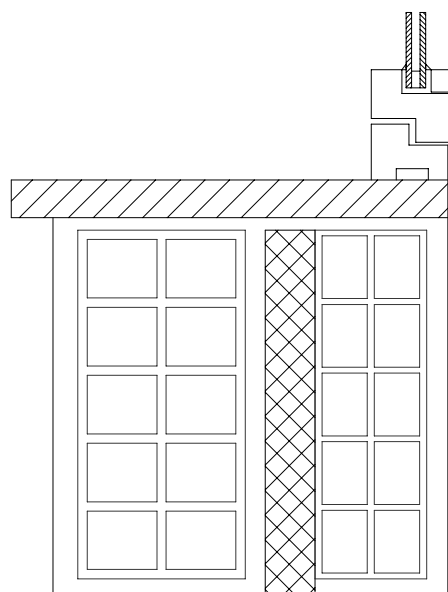
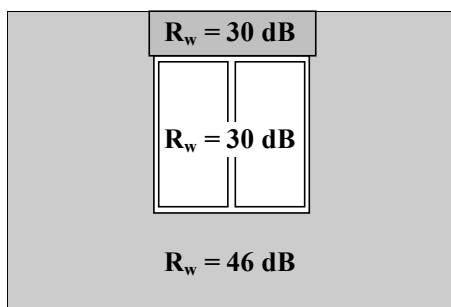
Intercapedine riempita con polistirene espanso sinterizzato o con poliuretano espanso da 50 mm.

Infisso di classe A3 con vetrocamera 4+6+4 mm.

$$D_{2m,nT,w} = 38,1 < 40 \text{ dB}$$

Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

61

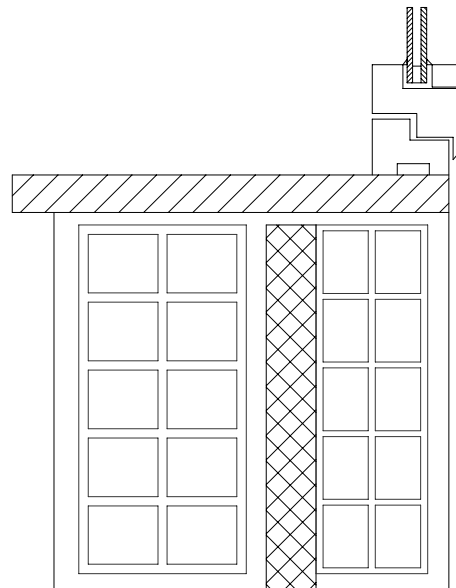
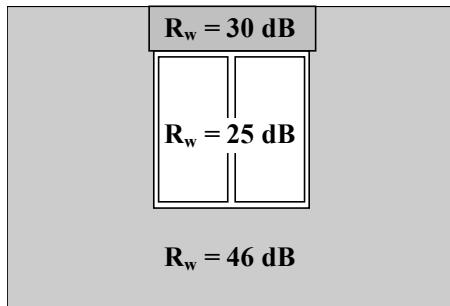


Parete come sopra ma con infisso dotato di cassonetto con avvolgibile, di dimensioni 0,4 x 1,5 metri.

$$D_{2m,nT,w} = 37,1 < 40 \text{ dB}$$

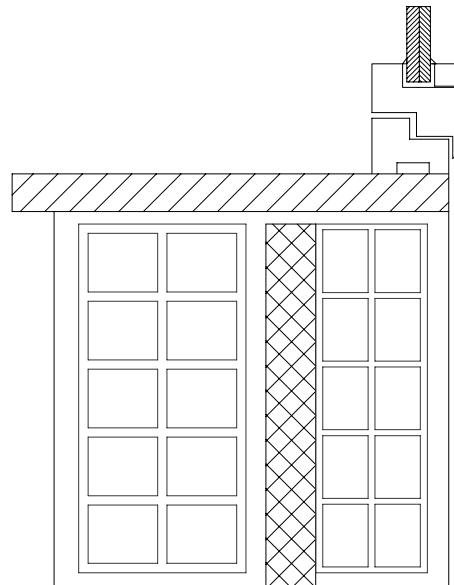
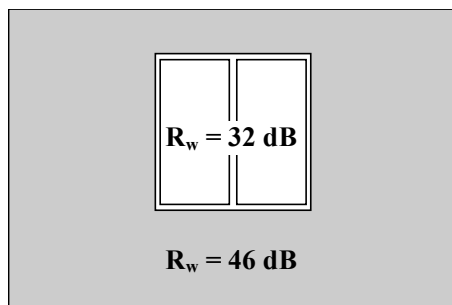
Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

62



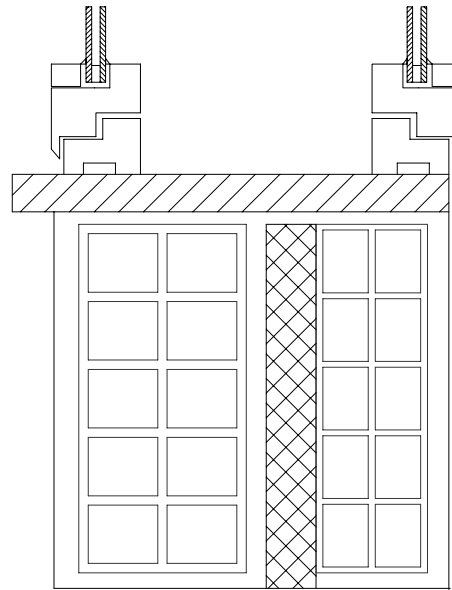
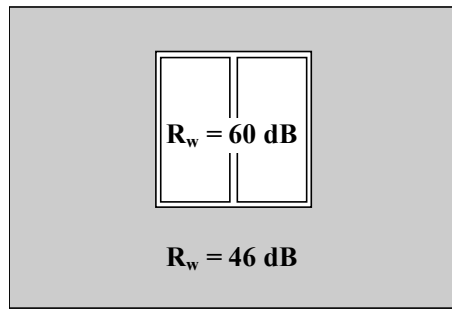
Parete come sopra ma con infissi di classe A2.

$$D_{2m,nT,w} = 33,1 < 40 \text{ dB}$$



Parete come sopra ma senza avvolgibile e con infisso classe A3 dotato di vetro stratificato 9+8 mm.

$$D_{2m,nT,w} = 40 \text{ dB}$$



Parete come sopra ma con vetrocamera 4+6+4 mm e infisso doppio  
distanziato di almeno 15 cm.

$$D_{2m,nT,w} = 48 > 40 \text{ dB}$$

Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

65

## Dati sperimentali di vetrate singole e composte

**Descrizione**  **$R_w$  (C;  $C_{tr}$ )**

Pannelli singoli

|       |             |
|-------|-------------|
| 3 mm  | 28 (-1; -4) |
| 4 mm  | 29 (-2; -3) |
| 5 mm  | 30 (-1; -2) |
| 6 mm  | 31 (-2; -3) |
| 8 mm  | 32 (-2; -3) |
| 10 mm | 33 (-2; -3) |
| 12 mm | 34 (0; -2)  |

Pannelli stratificati (lamina plastica di 0,5±1 mm)

|       |             |
|-------|-------------|
| 6 mm  | 32 (-1; -3) |
| 8 mm  | 33 (-1; -3) |
| 10 mm | 34 (-1; -3) |

Vetrocamera (intercapedine d'aria di 6÷16 mm)

|                |             |
|----------------|-------------|
| 4-(6÷16)-4 mm  | 29 (-1; -4) |
| 6-(6÷16)-4 mm  | 32 (-2; -4) |
| 6-(6÷16)-6 mm  | 31 (-1; -4) |
| 8-(6÷16)-4 mm  | 33 (-1; -4) |
| 8-(6÷16)-6 mm  | 35 (-2; -6) |
| 10-(6÷16)-4 mm | 35 (-2; -5) |
| 10-(6÷16)-6 mm | 35 (-1; -3) |
| 6-(6÷16)-6 mm  | 33 (-2; -5) |
| 6-(6÷16)-10 mm | 37 (-1; -5) |

Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

66

## Stima teorica dell'indice di valutazione del potere fonoisolante di vetrate semplici

$$R_w = 12 \log m' + 17 \quad (\text{dB})$$

$m'$  = massa superficiale del vetro ( $\text{kg/m}^2$ )

### Correzione per tenuta all'aria dell'infisso

| Classe infisso tenuta all'aria | ( $\text{m}^3/\text{h m}^2$ ) | Correzione (dB) |
|--------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| A1                             | < 7                           | < 2             |
| A2                             | 7 – 20                        | 2 - 5           |
| A3                             | 20 – 50                       | 5 - 8           |

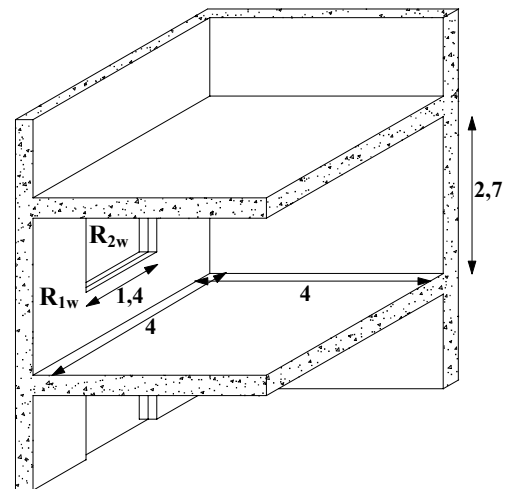
## Esercizio sull'isolamento acustico di facciata

### Caratteristiche del locale

- Superficie finestra:  $1,4 \times 1,4 = 1,96 \text{ m}^2$  (1/8 della superficie in pianta del locale)
- Superficie facciata:  $4 \times 2,7 = 10,8 \text{ m}^2$
- Volume del locale:  $14 \times 4 \times 2,7 = 43,2 \text{ m}^3$
- Infisso di classe A1 con vetrocamera 4-6-4
- Parete in blocchi di laterizio alveolato spessi 25 cm intonacati (28 cm finito)
- Persiane esterne (assenza di avvolgibili)

### Caratteristiche dell'ambiente esterno

Strada di grande comunicazione (superstrada) con circa 800 veicoli leggeri l'ora e 200 veicoli pesanti l'ora, ad una velocità media di 90 km/h, posta ad una distanza di 40 metri.



## Calcolo del livello di rumore ambientale dovuto a traffico stradale (Metodo dell'ontario Ministry of Transportation)

(valida per:)

elevati flussi di traffico veicolare; assenza di ostacoli o perturbazioni tra strada e ricevitori; poco idoneo per brevi distanze dalla strada

$$L_{A,eq} = 0,13v + 10,2 \log_{10}(l + 6p) - 17,5 \log_{10}(d) + 49,5 \quad (\text{dB(A)})$$

$L_{A,eq}$  = Livello equivalente di pressione sonora in dB(A)

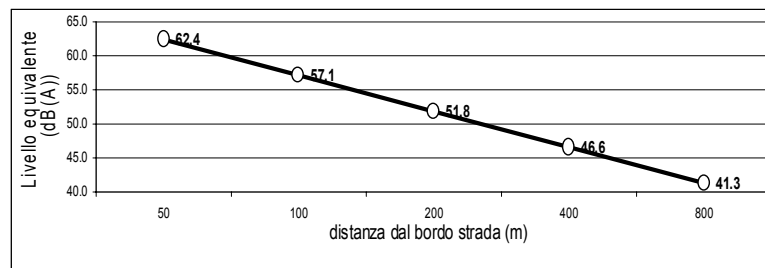
$v$  = velocità media dei veicoli (km/h)

$l$  = flusso di veicoli leggeri (n°/h)

$p$  = flusso di veicoli pesanti (n°/h)

$d$  = distanza dal bordo strada del ricevitore

*Esempio per*  
 $v = 100 \text{ km/h}$   
 $p = 50 \text{ (veicoli/h)}$   
 $l = 500 \text{ (veicoli/h)}$



Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

69

## Indice di valutazione del livello apparente di rumore da calpestio tra ambienti sovrapposti

Livelli di prestazione (D.P.C.M. 5/12/97)

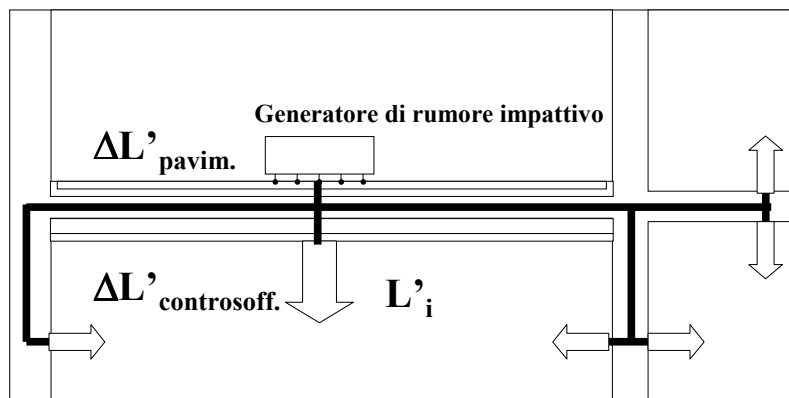
| Cat. | Classificazione degli ambienti            | $L'_{,nw}$ |
|------|---|------------|
| A    | Residenze o assimilabili                  | <b>63</b>  |
| B    | Uffici ed assimilabili                    | <b>55</b>  |
| C    | Alberghi, pensioni e simili               | <b>63</b>  |
| D    | Ospedali, cliniche, case di cura e simili | <b>58</b>  |
| E    | Scuole e simili                           | <b>58</b>  |
| F    | Attività ricreative e di culto e simili   | <b>55</b>  |
| g    | Attività commerciali e simili             | <b>55</b>  |

Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

70

## Livello di rumore da calpestio

### Significato del parametro



$$L'_n = L_i + 10 \lg \left( \frac{A}{A_0} \right) \quad (\text{dB})$$

$L_i$  = Livello medio di pressione sonora nell'ambiente disturbato (dB)

$A$  = Assorbimento equivalente nell'ambiente disturbato ( $\text{m}^2$ )

$A_0$  = Assorbimento equivalente di riferimento (=  $10 \text{ m}^2$ )

## Livello di rumore da calpestio tra ambienti sovrapposti

### Metodo di calcolo

$$L'_n = 10 \lg(f) + 10 \lg(\sigma) + 10 \lg(T_s) - 20 \lg(m') - 10 \lg(c_L h) + 130,5 \quad (\text{dB})$$

$f$  = frequenza di analisi (Hz);

$\sigma$  = coefficiente di irraggiamento della struttura (si può assumere un valore di 0,9 – 1 per frequenze distanti dalla coincidenza (frequenza critica));

$T_s$  = tempo di riverberazione strutturale del solaio (s);

$m'$  = massa superficiale del solaio ( $\text{kg}/\text{m}^2$ );

$c_L$  = velocità di propagazione delle onde in direzione longitudinale (m/s);

$h$  = spessore del solaio (m)

## Stima del coefficiente di irraggiamento (pareti omogenee)

La trasmissione sonora sotto la frequenza critica è prevalentemente di tipo forzato,  
mentre al di sopra di tipo risonante.

Quindi:

**Per  $f < f_c$**  (trasmissione forzata):

$$\sigma_f = 0,5 \left[ \ln(k_0 \sqrt{l_1 l_2}) - \Lambda \right] \quad \sigma_f \leq 2$$

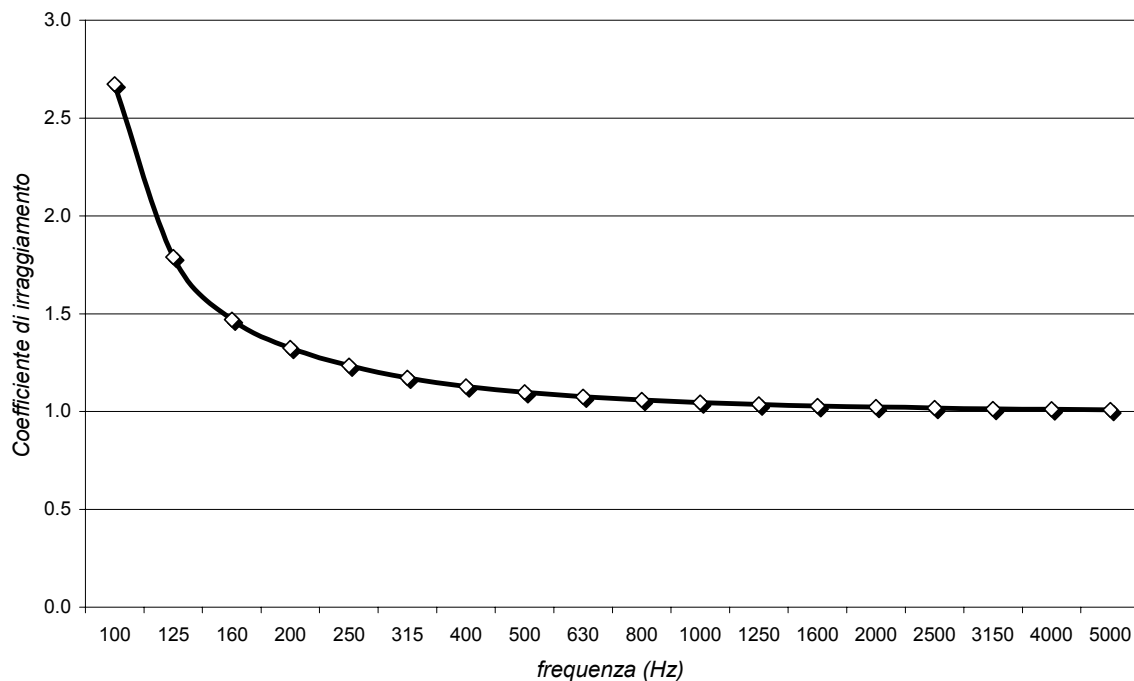
$$\Lambda = -0,964 - \left( 0,5 + \frac{l_2}{\pi l_1} \right) \ln \frac{l_2}{l_1} + \frac{5l_2}{2\pi l_1} - \frac{1}{4\pi l_1 l_2 k_0^2}$$

$k_0$  = numero d'onda ( $2\pi f/c_0$ )

$l_1$  e  $l_2$  = dimensioni del pannello ( $l_1 > l_2$ )

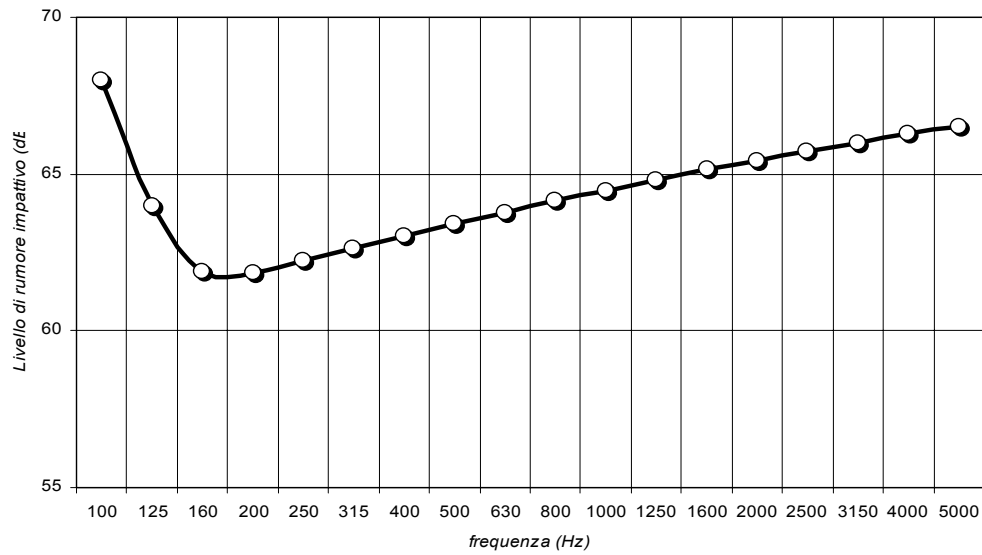
**per  $f \geq f_c$**  (onde libere)  $\sigma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{f_c}{f}}}$

### Esempio di stima teorica del coefficiente di irraggiamento per un solaio in calcestruzzo denso spesso 20 cm ( $f_c = 85$ Hz)

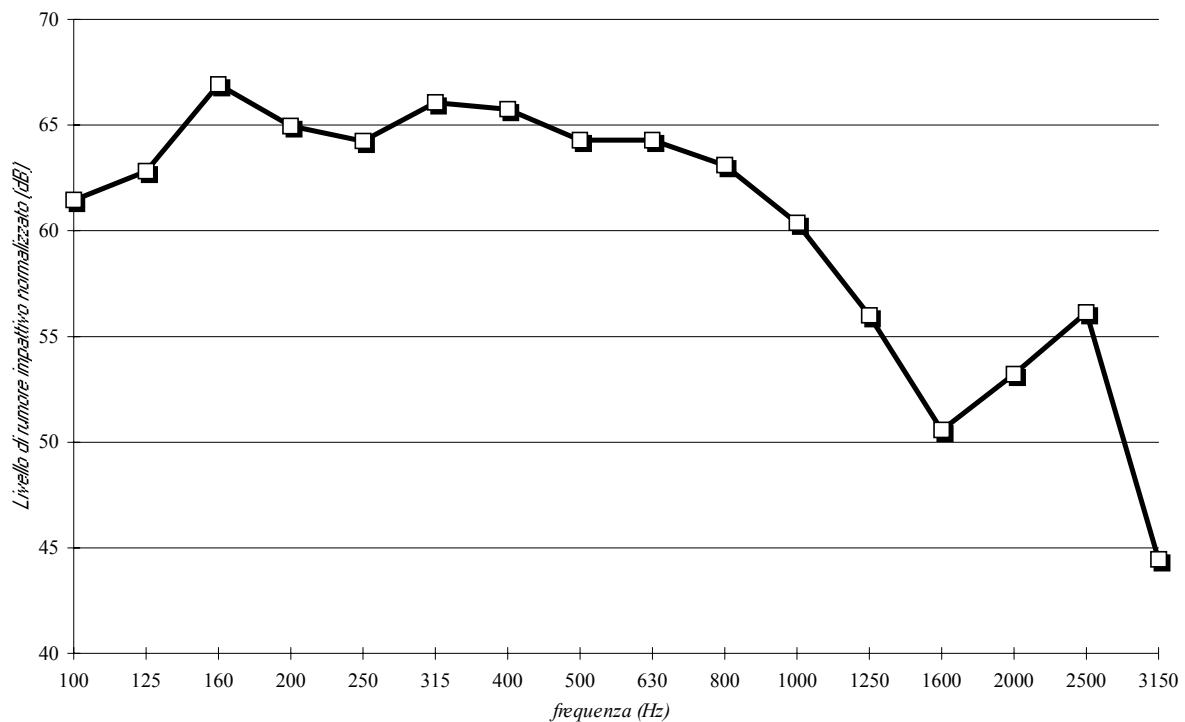


# Livello di rumore da calpestio tra ambienti sovrapposti

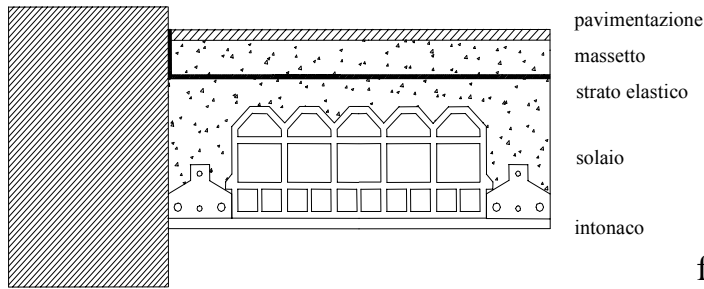
## Esempio di stima teorica per un solaio in calcestruzzo denso spesso 20 cm



## Esempio di misura in opera per un solaio in laterocemento, finito



## Calcolo della riduzione di livello di rumore da calpestio



$$\Delta L = 30 \lg \frac{f}{f_0} \text{ (dB)}$$

$f$  = frequenza di analisi (Hz)

$f_0$  = frequenza di risonanza del sistema pavimento galleggiante - solaio (Hz)

$$f_0 = 160 \sqrt{\frac{s'}{m'}} \text{ (Hz)}$$

$s'$  = rigidità dinamica sup. dello strato elastico del pavimento galleggiante (MN/m<sup>3</sup>)

$m'$  = massa superficiale del massetto del solaio (sopra lo strato elastico) (kg/m<sup>2</sup>)

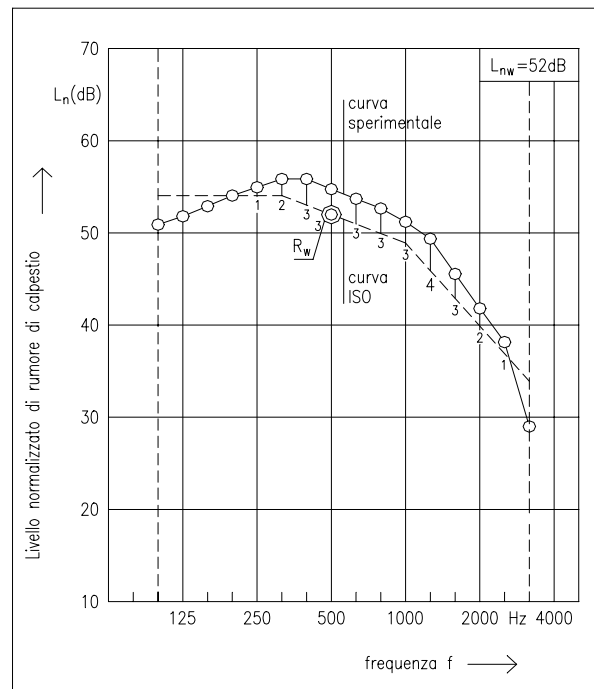
**Nel caso di più strati di materiale elastico sovrapposti:**

$$s'_{tot} = \frac{1}{\left( \sum_{i=1}^n \frac{1}{s'_i} \right)} \text{ (MN/m}^3\text{)}$$

Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

77

## Determinazione dell'indice di valutazione per l'isolamento ai rumori impattivi (UNI EN ISO 717-2)



Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

78

## Indice di valutazione del livello apparente di rumore da calpestio tra ambienti sovrapposti

### Metodo di calcolo semplificato

$$L'_{n,w} = L_{n,w} - \Delta L_w + K \text{ (dB)}$$

$L_{n,w}$  = Indice di valutazione del livello normalizzato di rumore da calpestio (da dati sperimentali o da calcolo)

$\Delta L_w$  = Riduzione del livello per presenza di pavimenti galleggianti (dB)

K = Incremento del livello per trasmissione sonora laterale (dB)

## Calcolo semplificato dell'indice di valutazione del livello normalizzato di rumore da calpestio

$$L_{n,w} = 164 - 35 \lg(m') \text{ (dB)}$$

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

Per solai omogenei in cemento armato monolitico:

$$L_{nw} = 117 - 30 \lg(s) \text{ (dB)}$$

## Calcolo semplificato della trasmissione laterale

*(solo in assenza di strati di rivestimento di pareti o solai omogenei)*

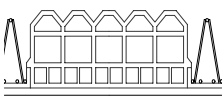
|   |     | Massa superficiale media delle strutture laterali(kg/m <sup>2</sup> ) |     |     |     |     |     |     |     |     |
|---|-----|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|   |     | 100   | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| massa superficiale del solaio<br>(kg/m <sup>2</sup> ) | 100 | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
|   | 150 | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
|   | 200 | 2   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
|   | 250 | 2   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
|   | 300 | 3   | 2   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   |
|   | 350 | 3   | 2   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   |
|   | 400 | 4   | 2   | 2   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   |
|   | 450 | 4   | 3   | 2   | 2   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
|   | 500 | 4   | 3   | 2   | 2   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
|   | 600 | 5   | 4   | 3   | 2   | 2   | 1   | 1   | 1   | 1   |

## Calcolo semplificato della riduzione di livello di rumore da calpestio

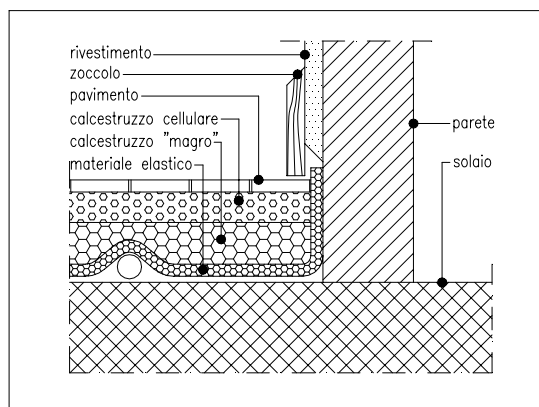
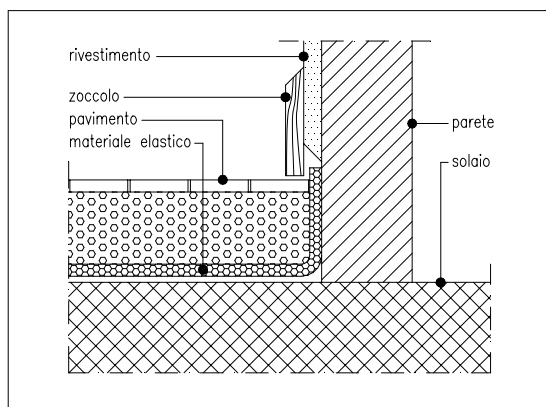
$$\Delta L_w = 30 \lg \frac{500}{f_0} \text{ (dB)}$$

$f_0$  = frequenza di risonanza del sistema pavimento galleggiante - solaio (Hz)

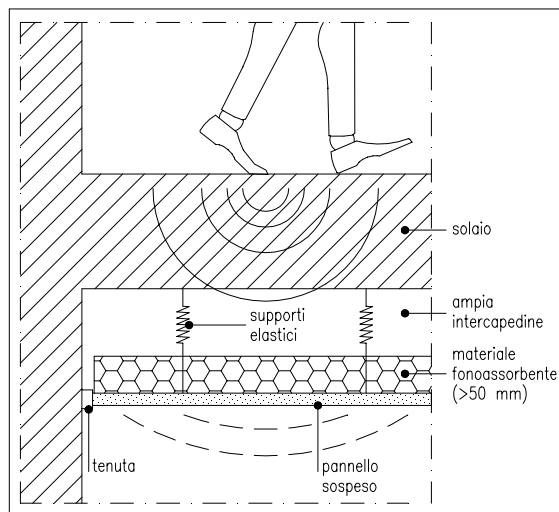
## *Dati di indici di valutazione di $L'_{n,w}$ misurati in opera*

| Immagine  | Descrizione   | Massa sup. (kg/m <sup>2</sup> ) | $L'_{n,w}$ (dB)    | Spess. (cm) |
|---|---|---------------------------------|--------------------|-------------|
|  | Solaio con travetti a traliccio (interasse = 50 cm) e pignatte da 16 cm con 4 cm di soletta in calcestruzzo e 1,5 cm di intonaco all'intradosso.  | 270                             | <b>83.5</b>        | 21.5        |
|   | Solaio con travetti a traliccio (interasse = 50 cm) e pignatte da 20 cm con 4 cm di soletta in calcestruzzo e 1,5 cm di intonaco all'intradosso.  | 340                             | <b>84.5 - 85</b>   | 25.5        |
|   | Solaio con travetti precompressi (interasse = 50 cm) e pignatte da 16 cm con 4 cm di soletta in calcestruzzo e 1,5 cm di intonaco all'intradosso. | 269                             | <b>87</b>          | 21.5        |
|   | 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. | 362                             | <b>74.5 - 84.5</b> | 25.5        |

## *Dettagli esecutivi di pavimentazioni galleggianti*



## Dettagli esecutivi di un controsoffitto



Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

85

## Riduzione del livello di rumore da calpestio con pavimenti resilienti direttamente applicati al solaio

| Materiale            | spessore mm | $\Delta L_{nw}$ dB |
|----------------------|-------------|--------------------|
| Gomma industriale    | 4           | 11.8               |
|                      | 4           | 12.1               |
|                      | 5           | 10.6               |
|                      | 5           | 16.8               |
| Piastrelle viniliche | 2           | 3.7                |
|                      | 2.5         | 8.3                |
|                      | 3.5         | 11.4               |
| Tappeti vinilici     | 3           | 17.7               |
|                      | 3.5         | 15.7               |
|                      | 3.5         | 18.9               |
|                      | 4           | 17.4               |

| Materiale | spessore mm | $\Delta L_{nw}$ dB |
|-----------|-------------|--------------------|
| Moquettes | 4           | 19.3               |
|           | 4           | 20.6               |
|           | 4           | 21.5               |
|           | 4           | 23.6               |
|           | 5           | 20.9               |
|           | 6           | 26.3               |
|           | 7           | 29.4               |
|           | 8           | 28.4               |
|           | 8           | 30                 |
|           | 10          | 33.5               |
|           | 12          | 35.6               |
|           | 14          | 36.8               |

Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

86

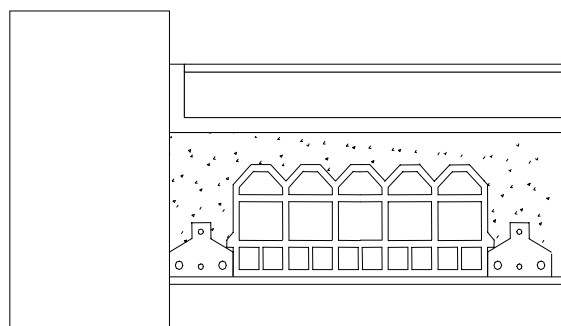
## Riduzione del livello di rumore da calpestio con pavimenti galleggianti (massetto ripartitore in cls spesso 5 cm)

| Materiale           | spessore<br>mm | $\Delta L_{nw}$<br>dB |
|---------------------|----------------|-----------------------|
| Gomma granulare     | 6              | 20.3                  |
|                     | 7              | 19.3                  |
|                     | 10             | 20.1                  |
|                     | 10             | 21.8                  |
|                     | 10             | 24.5                  |
| Poliuretano espanso | 2              | 15.1                  |
|                     | 3              | 16.8                  |
|                     | 3              | 20.2                  |
|                     | 4              | 21                    |
|                     | 6              | 17.6                  |
| Sughero granulare   | 6              | 19.8                  |
| Sughero in lastre   | 3              | 13.3                  |

| Materiale                  | spessore<br>mm | $\Delta L_{nw}$<br>dB |
|----------------------------|----------------|-----------------------|
| Fibre di vetro o<br>roccia | 3              | 20.5                  |
|                            | 3              | 21.2                  |
|                            | 3              | 22.3                  |
|                            | 3              | 22.5                  |
|                            | 15             | 16                    |
|                            | 15             | 29.6                  |
|                            | 20             | 47.4                  |
|                            |                |                       |

## Livello normalizzato di rumore da calpestio

### Soluzione conforme (Regolamento Edilizio Tipo dell'Emilia Romagna)



Pavimentazione  
Massetto in conglomerato cementizio  
non alleggerito da cm  
Polistirolo espanso elasticizzato  
da 3,5 cm sotto carico  
  
Solaio in laterocemento 16 + 4  
  
Intonaco

Massetto da 6 cm (100 kg/m<sup>2</sup>);

Strato elastico costituito da Polistirolo Espanso Elasticizzato spesso 35 mm sotto carico (verificare comunque che valore della rigidità dinamica superficiale dichiarata sia inferiore a 10 MN/m<sup>3</sup>);

Solaio in laterocemento con pignatte da 16 cm, soletta da 4 cm ed intonaco all'intradosso da 1 cm;

## Esercizio sull'isolamento acustico ai rumori interni da calpestio

- Solaio in laterocemento con pignatte da 20 cm e soletta da 5 cm, intonacato all'intradosso ( $m' = 340 \text{ kg/m}^2$ )
- Pavimento galleggiante costituito da uno strato di 8 mm costituito da un impasto di gomma e sughero ( $s' = 52,3 \text{ MN/m}^3$ ), con soprastante massetto da 50 mm ( $m' = 90 \text{ kg/m}^2$ )
- Parete di facciata in muratura a intercapedine intonacata (tavolato interno di mattoni forati da 8 cm e tavolato esterno di mattoni semipieni da 12 cm) ( $m'$  dello strato interno =  $140 \text{ kg/m}^2$ )
- Pareti interne in mattoni forati da 8 cm intonacati ( $m' = 140 \text{ kg/m}^2$ )

## Rumorosità da impianti

DPCM 5/12/97

Sono servizi a funzionamento discontinuo gli ascensori, gli scarichi idraulici, i bagni, i servizi igienici e la rubinetteria; sono servizi a funzionamento continuo gli impianti di riscaldamento, aerazione e condizionamento.

(...)

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

a) 35 dB(A)  $L_{Amax}$  con costante di tempo slow per i servizi a funzionamento discontinuo;

b) 25 dB(A)  $L_{Aeq}$  per i servizi a funzionamento continuo.

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

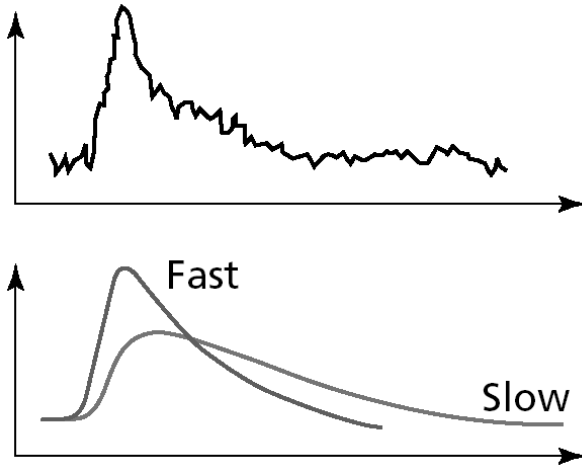
Tale ambiente deve essere diverso da quello in cui il rumore si origina.

| Categorie  | $R'_w$ | $D_{2m,nT,w}$ | $L'_{n,w}$ | $L_{ASmax}$ | $L_{Aeq}$ |
|--|--------|---------------|------------|-------------|-----------|
| residenze, alberghi, pensioni e assimilabili                     | 50     | 40            | 63         | 35          | 35        |
| scuole e simili  | 50     | 48            | 58         | 35          | 25        |
| ospedali, cliniche, case di cura e simili                        | 55     | 45            | 58         | 35          | 25        |
| uffici, per attività ricreative, il culto, il commercio o simili | 50     | 42            | 55         | 35          | 35        |

## Misure di livello di pressione sonora di servizi a funzionamento discontinuo

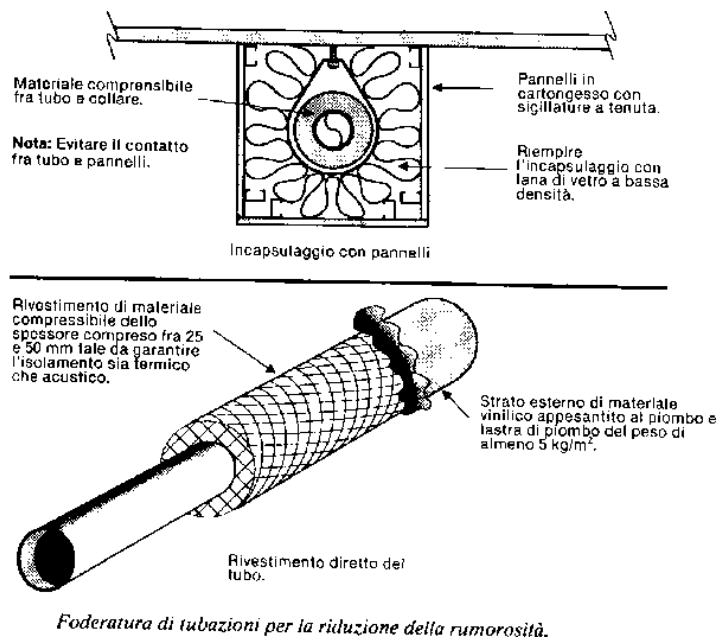
Il livello massimo di pressione sonora pesato A, misurato con ponderazione temporale Slow,  $L_{A,S \max}$  è il livello sonoro più alto che viene rilevato durante il periodo di misura.

L'utilizzo della ponderazione temporale "slow" (lenta) garantisce che il risultato non sia influenzato da eventi sonori particolarmente veloci.



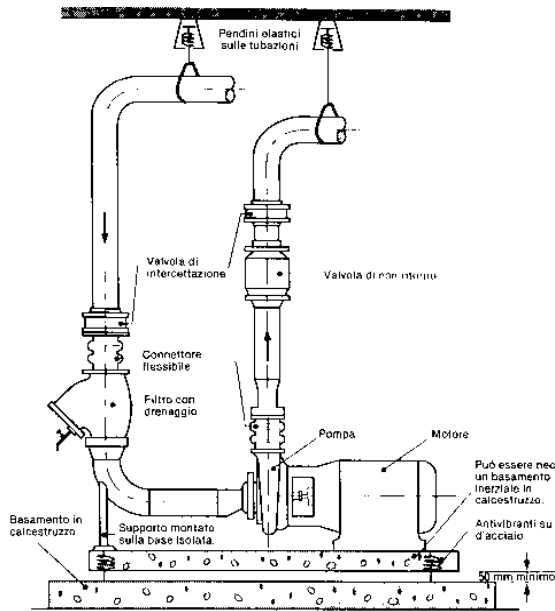
Confronto tra un evento sonoro ed il risultato della misura effettuata con ponderazione "fast" e "slow".

## Rumore di impianti Alcune regole di massima...

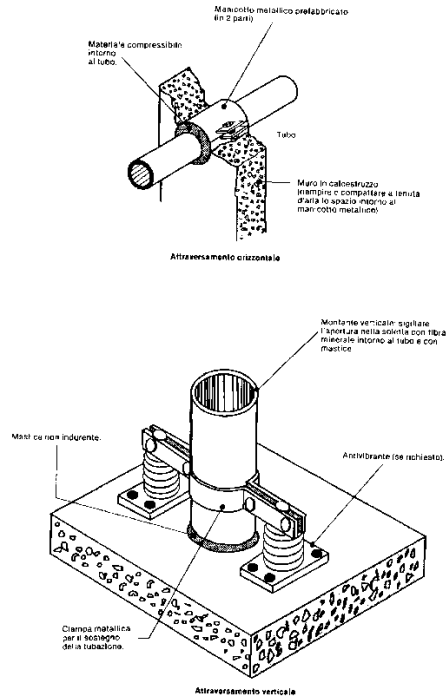


# Rumore di impianti

## Alcune regole di massima...

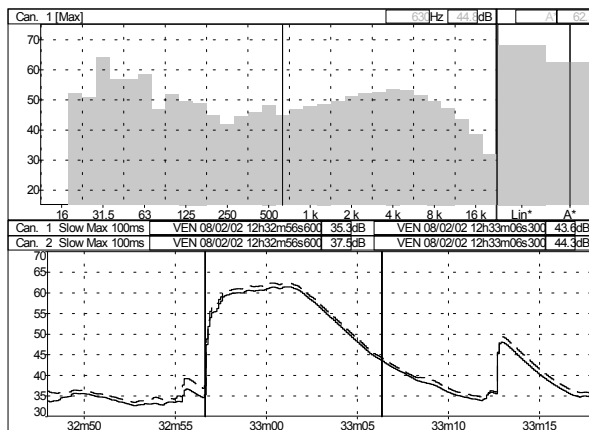


Prescrizioni per le pompe installate a fine linea su basamento.



Stigliatura per l'isolamento acustico degli attraversamenti delle tubazioni di pareti e solette.

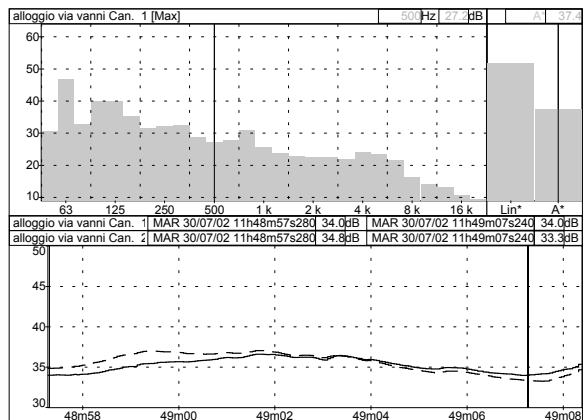
# Rumore di impianti - Esempi di misure



Prima dell'intervento correttivo



Dopo l'intervento correttivo



## Caratteristiche fisiche di alcuni materiali impiegati in edilizia

| Materiale                                | densità<br>$\rho$<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | mod.<br>Young<br>E (N/m <sup>2</sup> ) | coeff.<br>Poisson<br>$\nu$ | vel. long.<br>$c_L$<br>(m/s) | smorz. int.<br>$\eta$ | prod.<br>$m' \cdot f_c$<br>kg Hz/m <sup>2</sup> |
|--|---|--|----------------------------|------------------------------|-----------------------|---|
| Calcestruzzo denso gettato               | 1900÷3400                                 | 2.5÷2.61x<br>10 <sup>10</sup>          | ≈ 0,2                      | 3100÷3500                    | 0.004÷0.02            | 43000   |
| Calcestruzzo alleggerito                 | 1300                                      | 0.38x10 <sup>10</sup>                  | ≈ 0,2                      | 1700                         | 0.015                 | 44200   |
| Calcestruzzo aereato da autoclave        | 600÷650                                   | 0.2x10 <sup>10</sup>                   | ≈ 0,2                      | 1400÷1700                    | 0.01                  | 21450   |
| Mattoni                                  | 1900÷2300                                 | 1.6x10 <sup>10</sup>                   | ≈ 0,2                      | 2500÷3000                    | 0.01÷0.02             | 34700÷<br>58600                                 |
| Blocchi per muratura                     | 750                                       |  | ≈ 0,2                      |                              | 0.005÷0.02            | 23200   |
| Parete in mattoni forati da 12 cm inton. | 1250                                      |  | ≈ 0,2                      | 2068                         |                       |   |
| Lastra di gesso spessa 1.25÷5 cm         | 650                                       |  |                            | 6800                         | 0.01÷0.03             | 20000   |