

**ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

---

**CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA EDILE**

**SEDE DI RAVENNA**

Tesi di laurea in

Fisica Tecnica e impianti

**L'isolamento acustico di facciate, partizioni e solai: un caso di studio a Borgo Montone, provincia di  
Ravenna.**

**CANDIDATO:**

Edoardo Rossi

**RELATORE:**

Prof. Ing. Lamberto Tronchin

**CO-RELATORE:**

Ing. Maurizio Lenzi

Anno accademico 2015/2016

Sessione I

## Indice

### Capitolo 1

Introduzione, il fenomeno acustico, onda .....	Pag.4
Frequenza e lunghezza d'onda.....	Pag.5
Unità di misura, l'orecchio umano e l'effetto del rumore su di esso.....	Pag.7
Le sorgenti.....	Pag.9
I fenomeni di risonanza e riverberazione.....	Pag.10

### Capitolo 2

Riferimenti normativi.....	Pag.11
Gli indici di valutazione.....	Pag.12
Fonoisolamento: la trasmissione del suono negli edifici.....	Pag.13
Brevi cenni riguardo al rumore degli impianti.....	Pag.15

### Capitolo 3

Gli interventi di fonoisolamento, la legge della massa.....	Pag.16
Pareti composte in facciata.....	Pag.18
Il sistema “ massa - molla ” .....	Pag.19
Gli infissi: isolamento acustico.....	Pag.20
Il miglioramento acustico delle superfici vetrate.....	Pag.21

### Capitolo 4

Una breve analisi di frequenza, la riverberazione.....	Pag.22
Il fenomeno della risonanza, Misure in opera e misure in laboratorio - Grandezze apparenti.....	Pag.23
Il potere fonoisolante e l'isolamento acustico, L'isolamento acustico di facciata.....	Pag.24

## Capitolo 5

Determinazione dei requisiti acustici passivi in caso di studio: complesso abitativo localizzato a Borgo Montone, Ravenna.

Il complesso abitativo oggetto di studio.....Pag.27

Legislazione e normativa di riferimento.....Pag.28

Gli indici di valutazione.....Pag.29

La fase di calcolo.....Pag.30

L'isolamento acustico di facciata.....Pag.31

Isolamento ai rumori impattivi.....Pag.32

La fase di calcolo: la applicazione al caso di studio.....Pag.34

1. *Il potere fonoisolante delle partizioni: "  $R'_w$  "*.....Pag.35

2. *L'isolamento acustico di facciata: "  $D_{2m,ntw}$  "*.....Pag.36

3. *Livello di rumore di calpestio: "  $L'_{n,w}$  "*.....Pag.38

Comparazione definitiva tra i valori misurati in sito ed i valori calcolati.....Pag.40

Riferimenti bibliografici.....Pag.44

Allegati.....Pag.45

# Capitolo 1

## Introduzione

L'evoluzione tecnologica nel campo dell'edilizia, negli ultimi anni, è stata promotrice di molte agevolazioni in innumerevoli campi relazionati al benessere ma, al contempo, generatrice di svariati "effetti collaterali". Tra questi si annoverano gli incrementi nelle temperature registrate nei centri urbani, la ridotta qualità dell'aria, l'inquinamento luminoso ed, infine, quello acustico.

La disciplina acustica, di rilievo in particolar modo negli ultimi tempi, è stata spesso trascurata o, comunque, considerata di marginale rilevanza rispetto agli studi riguardo la Termica, o ad esempio, l'efficienza impiantistica. La presente tesi si occuperà di chiarire i calcoli di studio riguardo, principalmente, gli effetti del calpestio, dell'isolamento acustico tra locali e di facciata effettuati su una reale abitazione situata a Borgo Montone, in provincia di Ravenna. Lo scopo sarà quello di rendere chiare le possibilità prestazionali di un edificio riguardo la disciplina acustica e sottolineando, di quando in quando, le possibili problematiche riscontrabili mediante un trascurato posizionamento degli elementi fonoassorbenti o altre negligenze nell'approccio all'isolamento acustico di un'abitazione.

## Il fenomeno acustico

A differenza di quanto molto spesso si pensi, il fenomeno acustico è costituito da un'onda che si propaga sì, attraverso l'aria, ma, in realtà, buona parte di esso anche attraverso le vibrazioni dei corpi elastici a contatto, o nelle vicinanze, della sorgente sonora. La presenza del già citato corpo elastico risulta quindi fondamentale, tanto che, in assenza di un fluido comprimibile, come l'aria, la propagazione delle onde risulta completamente arrestata. In termini Fisici, il fenomeno acustico consiste nella propagazione, all'interno di un fluido comprimibile, di un'onda di tipo "longitudinale", causata dalla vibrazione di un corpo elastico, che ha provocato la generazione del suono.

## Onda

Un'onda è una perturbazione che si propaga nello spazio, che trasporta energia e quantità di moto da un punto ad un altro e che ha una precisa direzione di propagazione. Tale perturbazione è dovuta alla variazione di una qualunque grandezza fisica, nel caso specifico dello studio acustico, di una variazione di pressione sonora.

È possibile definire due tipi di onde differenti, le onde trasversali e le già citate onde longitudinali. Le due tipologie di onde si distinguono a seconda del movimento che seguono rispetto alla direzione di

propagazione dell'onda: nelle onde longitudinali, le particelle del mezzo in cui si propaga l'onda oscillando lungo la direzione di propagazione. Si parla di onde longitudinali anche nel caso delle onde di pressione in un gas, in quanto il gradiente di pressione che si determina al passaggio dell'onda è parallelo alla direzione di propagazione. Per quanto riguarda la onde trasversali, invece, si può definirle come la propagazione delle particelle del mezzo in maniera perpendicolare rispetto la direzione di propagazione. Sono onde trasversali quelle che si propagano, per esempio, sulle corde di una chitarra e di altri strumenti a corda. Le onde sonore sono, quindi, onde di tipo longitudinale.

### Frequenza e lunghezza d'onda

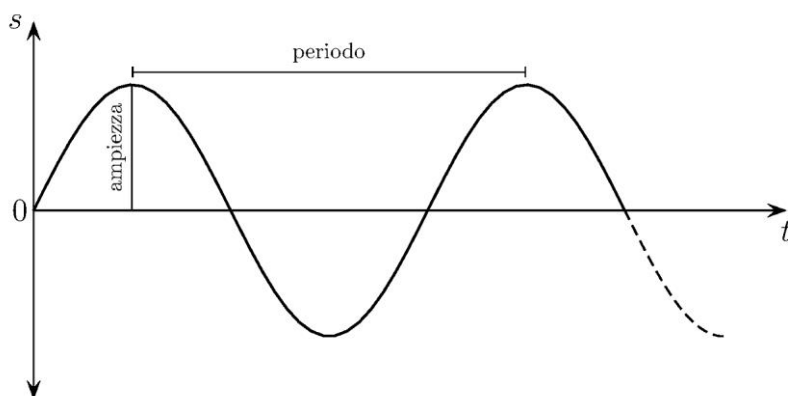


Grafico 1

Un concetto dal quale non si può prescindere nello studio dei fenomeni acustici è la Frequenza, ossia la velocità con cui si propaga una perturbazione. Una modalità per calcolare la frequenza consiste nel fissare un intervallo di tempo, contare il numero di occorrenze dell'evento che si ripete in tale intervallo di tempo e dividere quindi il risultato di questo conteggio per l'ampiezza dell'intervallo di tempo stesso. In alternativa, si può misurare l'intervallo di tempo tra gli istanti iniziali di due eventi successivi ( il periodo ) e, quindi, calcolare la frequenza come grandezza reciproca di questa durata:

$$f = 1 / T$$

Il risultato è dato nell'unità di misura chiamata **Hertz** ( Hz ), dal fisico Tedesco Heinrich Rudolf Hertz, dove 1 Hz caratterizza **un evento che occorre una volta in un secondo**. Quindi:

$$1 \text{ Hz} = 1/\text{s}$$

Considerando un'onda sinusoidale si può andare a definire alcuni **parametri**:

1. la lunghezza d'onda: “  $\lambda$  “
2. il periodo “ T “
3. l'ampiezza “ a “
4. la frequenza “ f “
5. la velocità angolare “  $\omega$  “.

**La velocità** con cui si propaga la perturbazione sonora è data da:

$C = \lambda \cdot F$  e corrisponde a circa 340 m/s

$F = \omega / 2\pi$ , formula della frequenza

$T = 2\pi / \omega$ . formula del periodo

Nella tabella seguente sono citate alcune delle velocità d'onda sonora all'interno di diversi materiali ( considerati alla temperatura di 20 °C ed alla pressione di 1 Atm ).

<b>Materiali</b>	<b>Velocità del suono [m/s]</b>
Aria	343
Acqua	1 484
Ghiaccio (a 0 °C)	3 200
Vetro	5 300
Acciaio	5 200
Piombo	1 200
Titanio	4 950
<b>PVC (morbido)</b>	<b>80</b>
PVC (duro)	1 700
Calcestruzzo	3 100
Faggio	3 300
Granito	6 200
<b>Peridotite</b>	<b>7 700</b>
Sabbia (asciutta)	10-300

Tabella 1

Dalla tabella emerge la correlazione tra la rigidità del materiale considerato e la sua conducibilità acustica: si può notare, infatti, che il materiale meno conduttore all'interno dei considerati è il PVC ( morbido ), in grado di rallentare moltissimo le onde che lo attraversano; in completo contrasto con il PVC ( morbido ) si nota invece l'enorme valore della Peridotite, la principale roccia costituente il “ mantello

superiore “ della terra. Questa roccia, tra le sue particolarità, ha il fatto che, pare, sia in grado di trasformare la CO<sub>2</sub> in Calcite e ridurre, quindi, l’inquinamento terrestre. Al momento si trova principalmente nel golfo dell’Oman, ma si stanno proponendo alcune idee per riuscire a trasportarla in giro per il mondo.

## Unità di misura

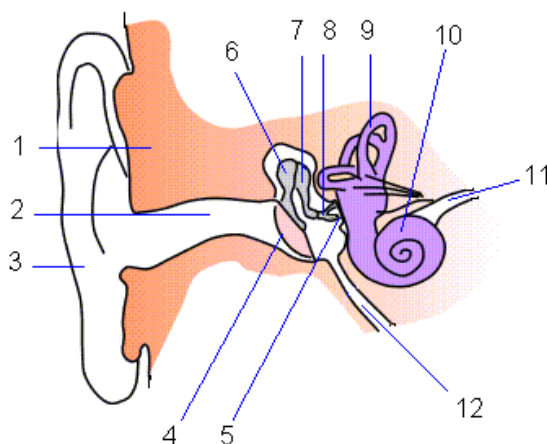
L’udito dell’essere umano risulta compreso tra circa  $0 \text{ Hz} < X < 20000 \text{ Hz}$ ,  $0 \text{ Db} < X < 150 \text{ Db}$ . Partendo dal fatto che utilizzare i valori espressi in Pascal risulta in un intervallo eccessivamente ampio ( da circa 0,1 Pascal a 1000000 ), si utilizza, a loro posto, una scala logaritmica.

Il deciBel è una grandezza adimensionale che risulta come il rapporto fra due grandezze omogenee e può essere definito come l’” **Energia che viene trasferita da una determinata sorgente all’orecchio dell’ascoltatore** “:

1.  $\text{Db} = 10 \text{ Log} ( E/E_0 )$  dove
2.  $E = P^2/2$ , è l’Energia
3.  $E_0 = (P_0)^2/2$ , è l’Energia di Riferimento.  $P_0$  è la pressione sonora di riferimento.

## L’orecchio umano e gli effetti del rumore su di esso

Anatomicamente, l’orecchio umano è strutturato in **orecchio interno, medio ed esterno**: i primi due assolvono alla funzione uditiva, mentre la funzione vestibolare è appannaggio dell’orecchio interno.



Struttura anatomica: orecchio umano

**Orecchio esterno:** 1 pericondrio, 2 condotto uditivo, 3 padiglione auricolare. **Orecchio medio:** 4 timpano, 5 finestra ovale, 6 martello, 7 incudine, 8 staffa. **Orecchio interno:** 9 canali semicircolari, 10 coclea, 11 nervo acustico, 12 tromba di Eustachio.

Diversi studi fonometrici hanno confermato che la “ gamma sonora “ percepibile dall’essere umano si estende tra la cosiddetta “ **soglia dell’udibilità** “ e la “ **soglia del dolore** “, corrispondenti ai valori di **20 Hz e 20000 Hz**, rispettivamente.

Le soglie dell’apparato uditivo sono maggiormente utilizzate se messe in relazione al concetto di “ **pressione sonora** “, ossia l’ampiezza dell’onda sonora che si propaga. L’unità di misura internazionale della pressione sonora è il Pascal ( Pa ). Il concetto di pressione sonora si può chiarire partendo dal concetto di **pressione sonora efficace**, ossia il valore efficace dell’onda:

$$p_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T p^2(t) dt}$$

A partire da questo concetto, poi, si può chiarire il concetto di “ **livello di pressione sonora** “, o “ livello sonoro “  $L_p$ , dato dalla misura logaritmica della pressione sonora efficace di un’onda meccanica ( sonora, in questo caso ) rispetto ad una sorgente sonora di riferimento. Viene misurata in Db:

$$L_p = 10 \log_{10} \left( \frac{P}{p_0} \right)^2 = 20 \log_{10} \left( \frac{P}{p_0} \right) dB$$

La relazione tra pressione sonora ( Pa ) ed il livello sonoro ( Db ) è espressa nella tabella seguente:

Sorgente sonora	Pressione sonora pascal	Liv. di pressione sonora Db SPL (rif. 20 µPa)
Limite teorico per suono indistorto a 1 atmosfera di pressione ambientale	101 325 Pa	194 Db
Lesioni istantanee al tessuto muscolare	50 000 Pa	circa 185 Db
Esplosione del Krakatoa a 160 km	20 000 Pa	[1] 180 Db
Colpo di un M1 Garand a 1 m	5 000 Pa	168 Db
Motore di un jet a 30 m	630 Pa	150 Db
Colpo di fucile a 1 m	200 Pa	140 Db
Soglia del dolore	100 Pa	130 Db
Danneggiamento dell’udito per esposizione a breve termine	20 Pa	circa 120 Db
Motore di un jet a 100 m	6-200 Pa	110-140 Db
Martello pneumatico a 1 m; discoteca	2 Pa	circa 100 Db
Danneggiamento dell’udito per esposizione a lungo termine	0,6 Pa	circa 85 Db
Traffico intenso a 10 m	0,2-0,6 Pa	80-90 Db



Treno passeggeri in movimento a 10 m	0,02-0,2 Pa	60-80 Db
Ufficio rumoroso; TV a 3 m (volume moderato)	0,02 Pa	circa 60 Db
Conversazione normale a 1 m	0,002-0,02 Pa	40-60 Db
Stanza silenziosa	0,0002-0,0006 Pa	20-30 Db
Stormire di foglie, respiro umano rilassato a 3 m	0,00006 Pa	10 Db
Soglia di udibilità a 1 kHz (uomo con udito sano)	0,00002 Pa	(rif.) 0 Db

Tabella 2

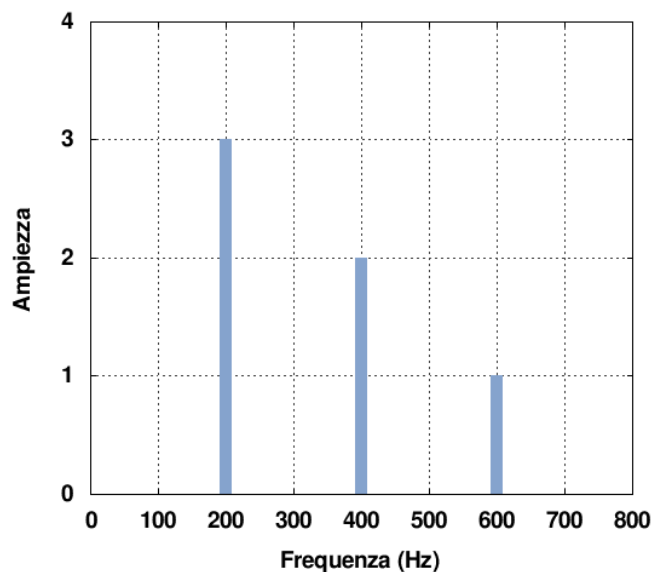
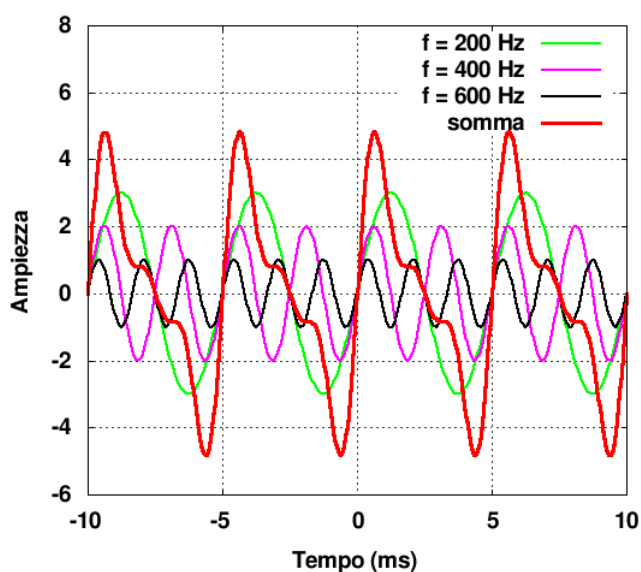
Un metodo alternativo, per esprimere il livello sonoro, consiste nell'esplicitarlo **in funzione dell'Energia**: così facendo, risulta estremamente applicabile in una varietà di ambiti:

$L_n$ :  $10\text{Log}(E/E_0)$ , in cui E è calcolato in base ai metri quadri di facciata considerati.

### Le sorgenti

In moltissimi casi una sorgente sonora è di tipo “ **non sinusoidale** “, cioè ogni suono non è composto da una singola frequenza, ma da un **insieme di diverse frequenze**.

Per questo motivo è utile citare ed utilizzare il **teorema di Fourier** che permette, in buona sostanza, di “ scomporre “ un segnale in più componenti sinusoidali. Il teorema di Fourier è enunciato come: “ qualunque funzione periodica di periodo “  $T_0$  “ o, che è lo stesso, di frequenza “  $F = 1/T_0$  “, continua e limitata, può essere rappresentata mediante una somma di funzioni sinusoidali pure di opportuna ampiezza e di frequenza multipla della frequenza fondamentale “  $F_0$  “. “



Grafici 2 e 3

Uno dei principali problemi delle pareti finalizzate ad uso civile, spesso, si riscontra alle basse frequenze, in quanto le capacità di isolamento non sono le stesse, a seconda dell'ampiezza e lavorano particolarmente male nel caso in cui dalla fonte considerata sia emessa la stessa frequenza, propria della parete ( anche detta " frequenza di risonanza " ).

### **I fenomeni di risonanza e riverberazione**

La risonanza acustica si può definire come il fenomeno di amplificazione delle onde sonore che caratterizza, ad esempio, i risuonatori in ambito musicale e le pareti in campo edile. Tale amplificazione viene generata da un impulso esterno che viene trasmesso, nel nostro caso, alla parete, attraverso un mezzo elastico come l'aria. L'amplificazione sarà tanto maggiore quanto la frequenza dello stimolo sarà vicina alla frequenza di risonanza del materiale sollecitato. Nel momento in cui questo dovesse accadere si instaurerebbe un moto oscillatorio nella parete che non solo porterebbe ad un'amplificazione del suono ma in casi estremi anche alla rottura della parete stessa.

In un locale, una volta interrotto un fenomeno acustico, il suono non risulta interrotto istantaneamente, ma ad esso segue la cosiddetta " coda sonora ": tale fenomeno è definito come " riverbero ". Un ambiente può essere più o meno riverberante a seconda della volumetria del locale stesso e della capacità di assorbimento dei materiali con cui è essa è arredata e composta.

## Capitolo 2

### Riferimenti normativi

La legislazione per quanto riguarda l'acustica in edilizia si basa principalmente, in ambito Nazionale, sulla legge quadro sull'inquinamento acustico n.477 del 24/10/95, che stabilisce i principi fondamentali in materia di inquinamento acustico derivante da esterno ed interno. Per il settore dell'edilizia civile la legge quadro prevede un decreto sui requisiti acustici delle sorgenti sonore interne degli edifici e sui requisiti acustici passivi degli edifici e dei loro componenti.

Successivamente, è stato pubblicato il D.P.C.M. 5/12/97 sulla " determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici ".

L'ambito del decreto fa riferimento alla situazione in cui si trova l'opera, infatti cita " il decreto determina i requisiti acustici delle sorgenti sonore interne agli edifici e i requisiti acustici passivi degli edifici e dei loro componenti in opera, al fine di ridurre l'esposizione umana al rumore ". Di seguito è riportata la classificazione degli ambienti abitativi secondo il D.P.C.M.:

CATEGORIA A: edifici adibiti a residenza o assimilabili

CATEGORIA B: edifici adibiti ad uffici e assimilabili

CATEGORIA C: edifici adibiti a alberghi, pensioni

CATEGORIA D: edifici adibiti ad ospedali, cliniche, case di cura

CATEGORIA E: edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli

CATEGORIA F: edifici adibiti ad attività ricreative o di culto

CATEGORIA G: edifici adibiti ad attività commerciali

Tale decreto va ad analizzare i seguenti parametri:

1. isolamento acustico di facciata  $D_{2m,nTw}$
2. potere fonoisolante di partizioni tra unità immobiliari adiacenti  $R_w$
3. livello di calpestio  $L_{n,w}$

Allegata di seguito si trova la tabella con i parametri presi in considerazione nel suddetto decreto ed i relativi valori limite:

CATEGORIE	PARAMETRI				
	Rw	D2m,nTw	Ln,w	Las,max	Laeq
1.D	55	45	58	35	25
2.A,C	50	40	63	35	35
3.E	50	48	58	35	25
4.B,F,G	50	42	55	35	35

Tabella 3

### Gli indici di valutazione

La necessità di definire con un unico numero le prestazioni sonore di un edificio ha spinto la legislazione nazionale a definire gli “ indici di valutazione “, ossia valori che definiscono il livello prestazionale di una partizione, che sia essa una facciata, un solaio o una parete divisoria tra locali interni.

Di seguito è allegata la tabella dei requisiti acustici passivi ( e dei relativi indici di valutazione ) di un edificio:

REQUISITI ACUSTICI PASSIVI	
D2m,nTw	isolamento acustico standardizzato di facciata
Ln	livello di rumore di calpestio di solai, normalizzato fra ambienti appartenenti a differenti unità immobiliari
Rw	potere fonoisolante apparente di partizioni verticali e orizzontali fra ambienti appartenenti a differenti unità immobiliari
Laeq	livello continuo equivalente di pressione sonora ponderata “ A “, prodotta dai servizi a funzionamento continuo
Las,max	livello massimo di pressione sonora ponderata “ A “, con costante di tempo slow, prodotta dai servizi a funzionamento discontinuo

Tabella 4

## Fonoisolamento: la trasmissione del suono negli edifici

Negli edifici ad uso residenziale, il suono si può propagare attraverso diverse modalità, nella fattispecie per via aerea o per via strutturale. La trasmissione per via aerea consiste nel rumore che, propagato nell'ambiente disturbante, attraversa le pareti divisorie e arriva nell'ambiente disturbato; quella per via strutturale consiste invece nel rumore che si trasmette dall'ambiente disturbante all'ambiente disturbato attraverso vibrazioni delle strutture.

Per “ proteggere “ un ambiente dal disturbo sonoro di un locale confinante o derivante dall'esterno si possono applicare una difesa attiva ed una difesa passiva:

difesa attiva: si interviene direttamente sulla sorgente, ad esempio abbassandone il volume;

difesa passiva: si interviene sulla propagazione del suono.

Si può inoltre aggiungere il fatto che al disturbo dovuto alla rumorosità della sorgente, contribuisce anche la rumorosità dell'ambiente in cui è inserita: più le superfici sono riflettenti e più il rumore risulta amplificato, per cui il potere fonoisolante contribuisce all'effetto del fonoisolamento. La quantità di suono trasmessa oltre l'ostacolo, che nel nostro caso sarà una parete, una finestra, una porta, ecc., sarà inversamente proporzionale al potere fonoisolante dell'elemento.

Il “ livello di calpestio “ può essere individuato tramite il grafico fornito dalla norma UNI 12354 - 2 : 2002, tramite il quale risulta facilmente calcolabile:

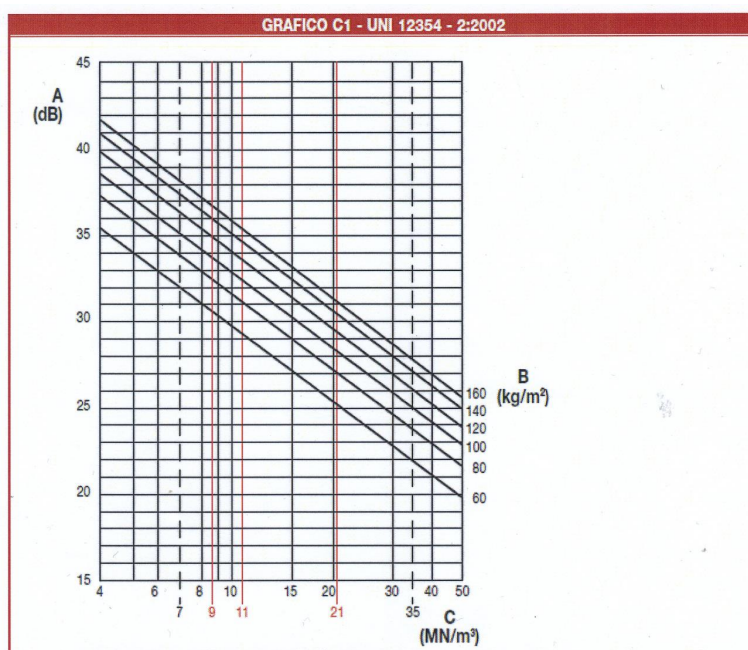


Grafico 4

Risulta inoltre opportuno fornire le informazioni atte alla determinazione grafica dell'indice di valutazione del potere fonoisolante. Dal grafico rappresentato sotto si può infatti notare come, una volta ottenuta la curva del potere fonoisolante, fornita dallo studio dei dati sperimentali, la si debba " approssimare " ad una " trilatera " di riferimento, in modo che si crei una somma di scarti tra le due curve pari, o, quantomeno, più prossima a 10Db per valutazioni in banda d'ottava o 32Db per valutazioni in terzi d'ottava.

Una volta effettuata l'opportuna traslazione della già citata " trilatera ", risulta opportuno prendere come riferimento 500Hz, sulla curva normalizzata, cui corrisponde l'indice di valutazione sopra citato al quale va, poi, aggiunto il valore correttivo " C " o " Ctr ", relativi all'inquinamento acustico da traffico o altre attività antropiche.

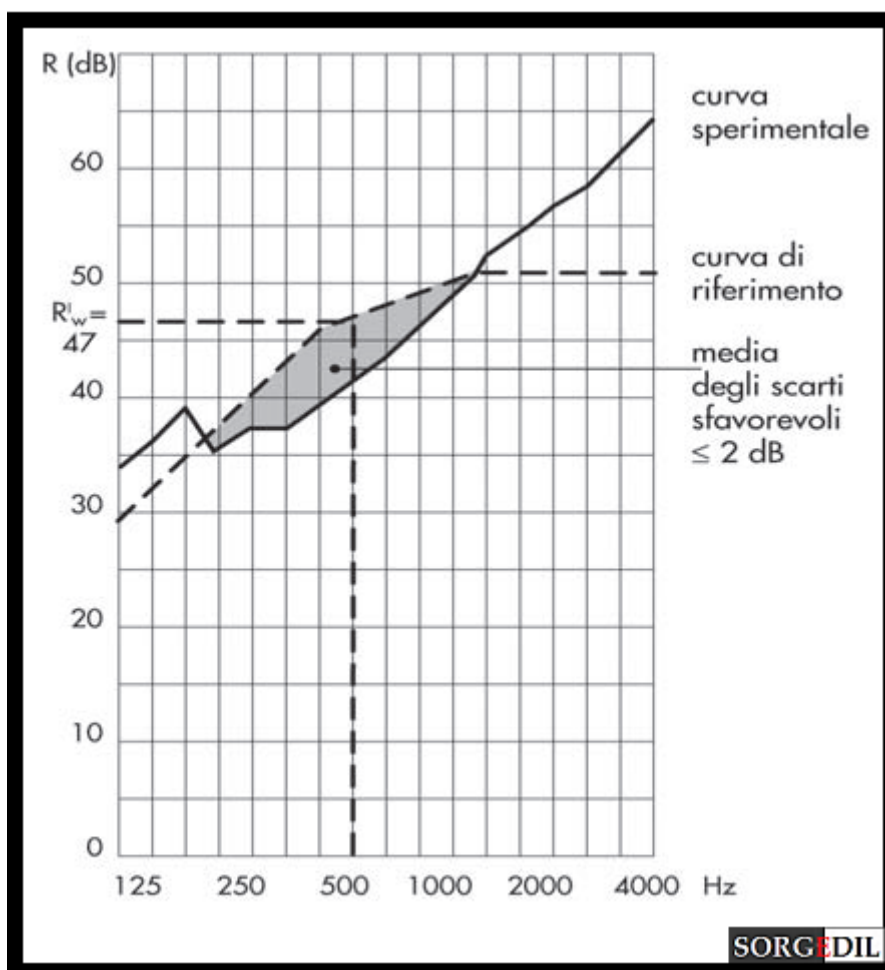


Grafico 5

Oltre al potere fonoisolante, è fondamentale definire il livello di rumore di calpestio, cioè il rumore trasmesso, principalmente, per via strutturale e che interessa, in prima istanza, pavimenti e solai. Risulta infatti utile definire per via grafica l'indice di livello di calpestio, in cui, come si può notare dal grafico sottostante, vengono messe a confronto la trilatera di riferimento e la curva normalizzata "  $L_n$  ".

L'azione da svolgere nel confronto tra le due è lo spostamento, a “ passi “ di 1Db alla volta, la curva di riferimento su quella sperimentale, fino a quando la somma degli scarti ( favorevoli ) diviene inferiore a 32Db.

Una volta svolta la traslazione, il valore corrispondente a 500Hz, letto sulla curva normalizzata, corrisponderà, appunto, all'indice di valore di calpestio.

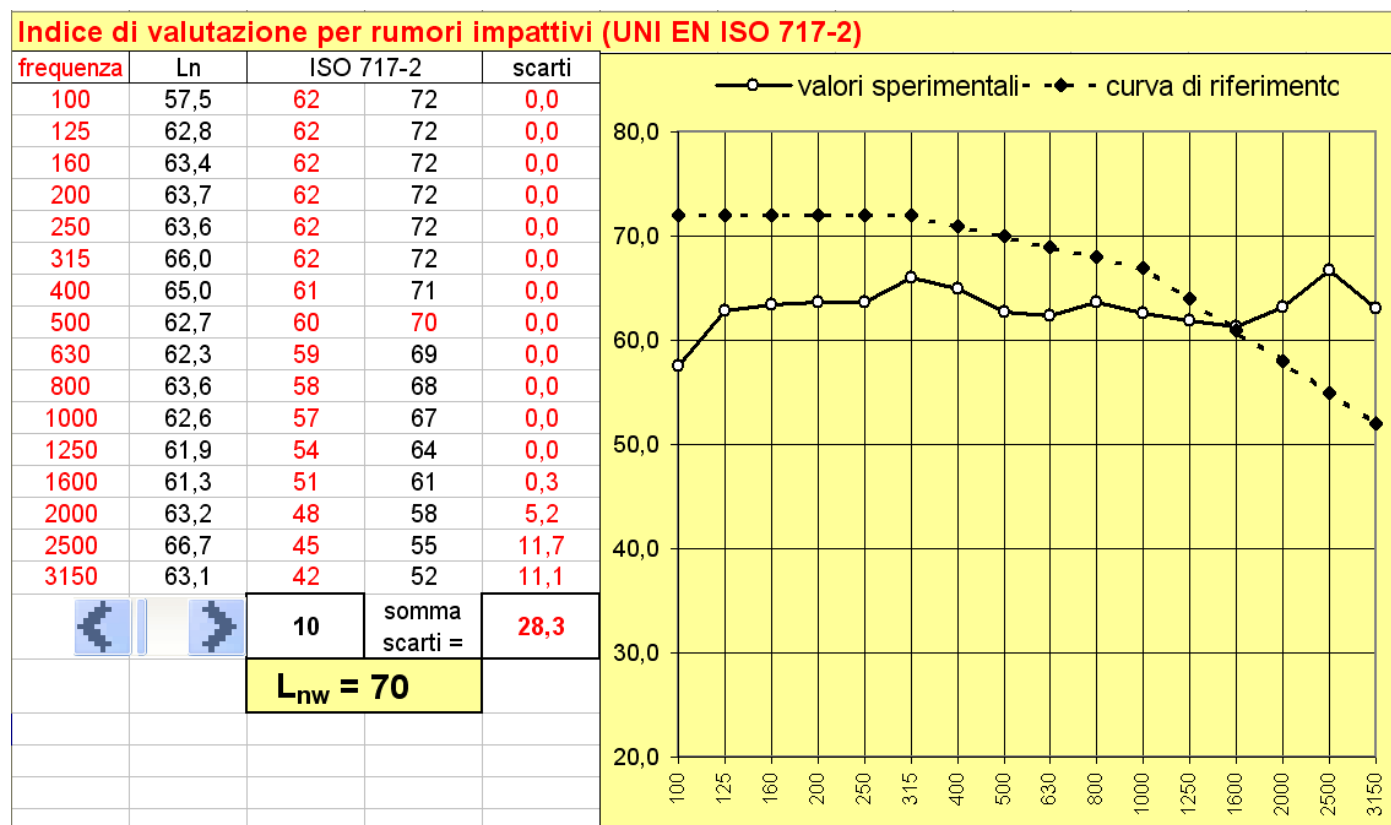


Grafico 6

La formula atta a calcolare  $L'_{nw}$  è:  $L'_{nw} = L_{nw} - \Delta L'_{nw} + K$ , misurata in Db e nella quale K corrisponde al coefficiente di correzione causato dalla trasmissione del rumore dalla pareti laterali.

### Brevi cenni riguardo al rumore degli impianti

Per quanto riguarda gli impianti tecnici quali, ad esempio, gli ascensori o le caldaie e gli impianti, definiamo due valori caratteristici a seconda del loro periodo di funzione:

$L < 25\text{Db}$  per impianti a funzionamento continuo

$L < 35\text{Db}$  per impianti a funzionamento discontinuo

## Capitolo 3

### Gli interventi di fonoisolamento

L'isolamento acustico di un ambiente rispetto ad uno adiacente, superiore o inferiore ad esso, dipende principalmente da due fattori: l'efficacia dei materiali fonoassorbenti, posti all'interno delle partizioni, al fine di abbattere, o quantomeno attutire, i rumori aerei e la minimizzazione dei rumori trasportati dai fiancheggiamenti, per via impattiva. Entrambi dipendono principalmente dalla corretta interpretazione ed applicazione di due principi fondamentali nel campo dell'acustica in edilizia: il cosiddetto sistema " **massa - molla** " e la " **legge della massa** " .

### La legge della massa

Per incidenza normale del suono sull'ostacolo, il potere fonoisolante dell'oggetto stesso può essere, in prima approssimazione, tradotto nella cosiddetta " legge della massa " . Il principio di funzionamento di questa legge è piuttosto semplice a livello concettuale: al crescere della massa della partizione, aumenta l'inerzia al moto dell'impulso acustico e, di conseguenza, le difficoltà incontrate dall'onda a mettere in oscillazione la parete.

La legge della massa dipende sì, dalla massa della partizione considerata ma, anche, dalla frequenza del suono incidente per unità di superficie dell'elemento considerato: ad un aumento di frequenza ( cui consegue una diminuzione di lunghezza d'onda ), aumenta la capacità fonoisolante dell'elemento stesso. In particolare, ad ogni raddoppio della massa e della frequenza si assiste ad un aumento del potere fonisolante pari a 6 Db.

Ovviamente la legge della massa risulta molto utile in campo edile, ma presenta, al contempo, diverse caratteristiche negative per quanto riguarda la sicurezza della struttura stessa e la sue generale efficacia, da tenere ben presenti: risulta, infatti, assolutamente sconsigliabile un aumento eccessivo di massa della partizione a fini termici o acustici, in quanto la struttura risponderrebbe in maniera meno efficace ad un eventuale impulso sismico, avrebbe spazi di ingombro molto elevati ed un costo di costruzione che non si potrebbe comunque prescindere dal tenere in considerazione.



Per quanto riguarda, invece, la generale efficacia di una partizione dalla massa eccessivamente elevata, risulterebbe, senza dubbio, estremamente efficace nel campo delle frequenze “ medie “, ma subirebbe l’effetto della risonanza nel campo delle frequenze “ basse “ e di quello della coincidenza in quello delle “ alte “ frequenze, come si può notare nel grafico rappresentato sotto.

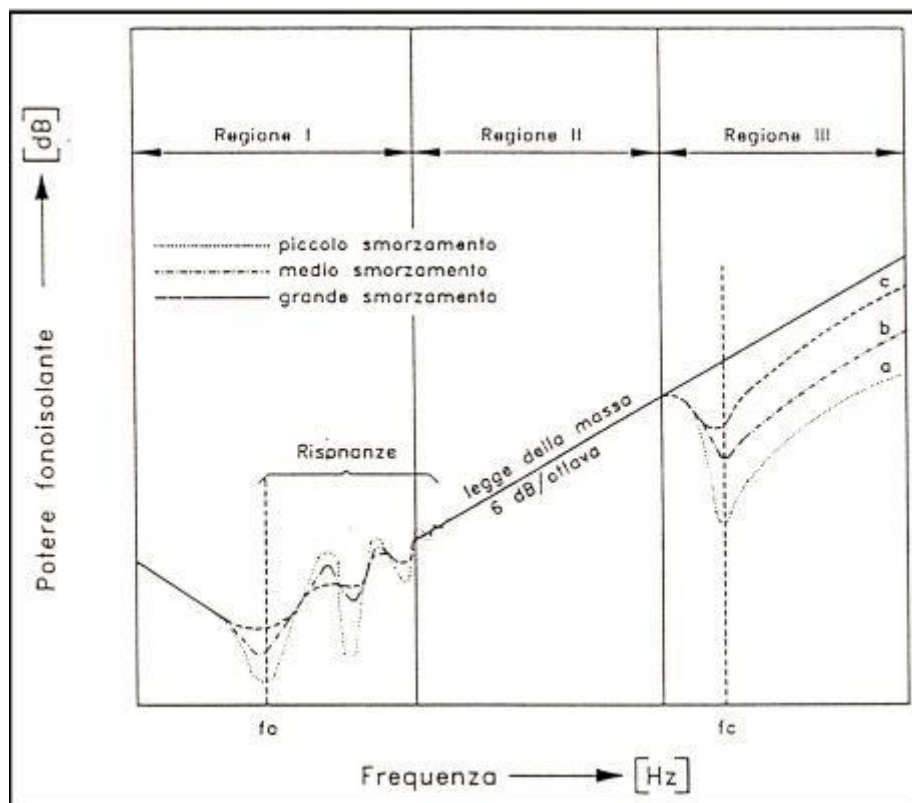


Grafico 7: frequenza / potere fonoisolante

Il grafico rappresenta in maniera piuttosto evidente le tre regioni di frequenza a cui una parete può essere sottoposta:

**zona 1**, risonanza: la parete viene messa in vibrazione da un’onda di frequenza in grado di mandare in risonanza il materiale. Per tale frequenza e per quelle “ vicine “, il potere fonoisolante del materiale è compromesso. Per le normali pareti da costruzione, si trova in frequenze più basse di quelle udibili dall’orecchio umano. Acquista importanza, soprattutto, per pareti sottili e molto rigide.

**Zona 2**, legge di massa: vale la legge della massa, con un potere fonoisolante che aumenta di 6Db per ogni ottava.

**Zona 3**, coincidenza: quando si verifica l’effetto di coincidenza, la frequenza delle componenti tangenziali dell’onda sonora incidente coincide con la frequenza di risonanza delle onde flessionali della parete.

Un'altra particolarità della legge della massa consiste nel fatto che il rapporto tra la variazione della massa della partizione e del suo potere fonoisolante varia in proporzione logaritmica: ciò comporta che, entro certi limiti di massa “ base “ della parete, anche piccoli incrementi della stessa comportano un elevato miglioramento del suo potere fonoisolante; in presenza, invece, di una partizione più imponente e con massa proprio più importante, anche un sostanziale aumento della massa della partizione stessa porterebbe un minimo beneficio in termini di isolamento acustico. Un esempio si può fare con una parete composta da laterizi forati da 80mm: in quel caso sarebbe sufficiente raddoppiarne la massa, portandola a 120 Kg/m<sup>2</sup> per constatare un aumento di isolamento della partizione di 3Db: per avere lo stesso effetto su di una parete di cemento armato, bisognerebbe aumentare il peso da 200 a 400 Kg/m<sup>2</sup>, una differenza piuttosto sostanziale.

### **Pareti composte in facciata**

Una metodologia estremamente efficace nel campo dell'acustica utilizzata allo scopo di un ottimo isolamento per gli edifici residenziali e non solo, è l'utilizzo di pareti composte in facciata. Questa tipologia di pareti presenta una notevole vastità di vantaggi, a scapito, però, di un costo di costruzione maggiore: uno dei vantaggi più rilevanti è, come avviene, ad esempio, nel vetro multistrato utilizzato nelle finestre di ormai quasi tutte le abitazioni, senza dubbio, la diversità stessa dei materiali utilizzati che, rispondendo in maniera non uniforme alle sollecitazioni acustiche, permettono una maggiore resistenza ai fenomeni di risonanza e coincidenza chiariti sopra.

Per una parete composta in facciata il potere fonoisolante sarà dato da una media pesata della trasmissione dei vari elementi, tenendo, cioè, conto del coefficiente di trasmissione e della superficie di ogni elemento.

$$t = \sum t_i S_i / S_i$$

1.  $t$ : coefficiente di trasmissione medio
2.  $t_i$ : coefficiente di trasmissione di ciascun elemento
3.  $S_i$ : superficie di ciascun elemento

## Il sistema “ massa - molla ”

Come già citato in precedenza nel corso dello svolgimento della tesi, il rumore riscontrabile in un ambiente interno di un edificio si può diffondere principalmente in due modi: per via aerea e per via impattiva. Proprio per questo motivo, risulta estremamente importante ridurre in maniera consistente la rigidità dei solai, in modo da evitare la diffusione, proprio, di questo ultimo tipo di rumore. Per conseguire tale scopo, è risultato estremamente efficace adottare il cosiddetto sistema “ massa - molla “: comporre, cioè un solaio di uno “ strato “ rigido e di uno che fungesse da “ molla “, in questo caso un pavimento “ galleggiante “.

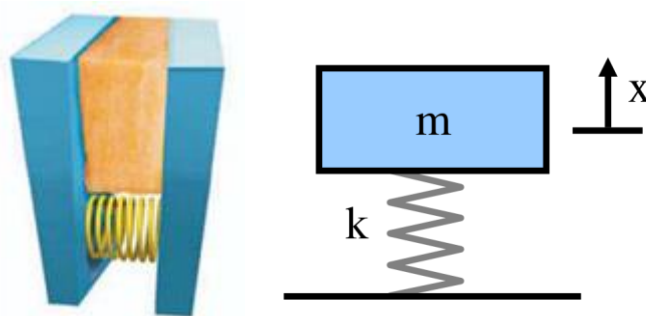


Figura 1: Rappresentazione grafica e strutturale del sistema considerato.

Il sistema “ molla - massa “ risulta estremamente efficace nell’isolamento acustico degli interni ed in particolar modo dei solai, ma a dovute condizioni: un pavimento “ galleggiante “, per funzionare a dovere e schermare, così, buona parte delle sollecitazioni impattive riversate sul solaio, deve prevedere un’ottima costruzione ed un’altrettanto attenta messa in opera. Nel caso in cui la messa in opera di un pavimento “ galleggiante “ fosse eseguita in maniera disattenta, o le “ alette “ che devono obbligatoriamente seguire il corso del pavimento sul perimetro dello stesso, non fossero rivoltate in maniera debita, l’efficacia del pavimento in questione diventerebbe praticamente nulla, causando uno spreco di denaro non indifferente tra materiali utilizzati e forza lavoro per la messa in opera.

Un dato da cui non si può prescindere nello scegliere il più adatto pavimento “ galleggiante “ è la sua rigidità: misurata in  $\text{MN/m}^3$ , risulta estremamente rilevante nella scelta del materiale ammortizzante, ma non bisogna comunque pensare che il più “ elastico “ sia necessariamente il migliore. In molti casi, infatti, un strato “ galleggiante “ eccessivamente morbido assorbirebbe perfettamente gli urti lavorando, quindi, in maniera quasi ideale ma, purtroppo, le sue eccellenti proprietà assorbenti risulterebbero in una ( eccessivamente ) rapida usura, che porterebbe lo strato in questione ad un calo drastico delle sue proprietà

in un tempo inferiore alla vita utile dell'edificio nel quale è stato utilizzato. Alla luce di ciò, bisogna quindi scegliere un materiale assorbente dalla dovuta rigidità, in modo che risulti in un efficace abbattimento delle sollecitazioni impattive ( e sia, quindi, abbastanza morbido ) ed, allo stesso tempo, in grado di sostenere un'eventuale usura dovuta al tempo.

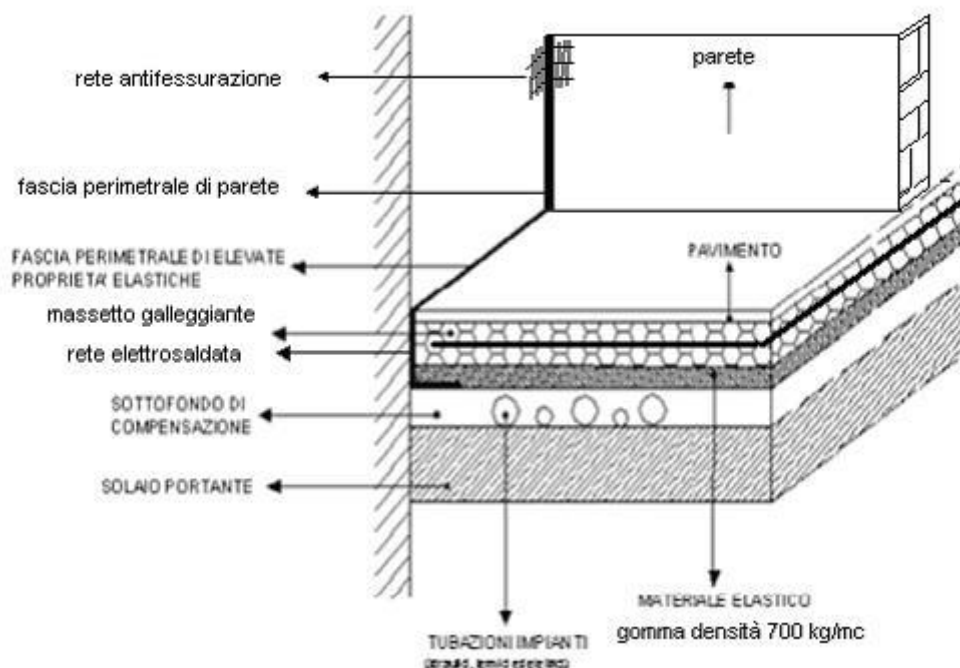


Figura 2: un esempio di progetto di pavimento galleggiante

### Gli infissi: isolamento acustico

Gli infissi rappresentano, nel campo dell'isolamento acustico di facciata di un edificio, un problema non indifferente sotto il profilo prestazionale dell'edificio, in campo acustico. Le superfici vetrate, infatti, costituiscono una discontinuità nei valori di calcolo della facciata di un edificio, principalmente a causa delle prestazioni intrinseche del vetro, nettamente inferiore ad un pacchetto murario ed alle discontinuità create tra l'infisso ed il vetro e tra la parete e l'infisso stesso.

Nel contesto normativo, le prestazioni di un infisso sono schematizzabili tramite due valori di riferimento: " C " e " C<sub>tr</sub> ":

il valore di riferimento " C " sta a rappresentare i cosiddetti " rumori residenziali ", quelli che derivano, cioè, da attività residenziali, traffico particolare, come, ad esempio, quello ferroviario, di autostrade con auto che viaggiano a più di 80 Km/h e aziende, che emettono principalmente rumore a frequenze medio - alte;

il valore “ $C_{tr}$ ” racchiude invece fonti di rumore quali il traffico stradale urbano, traffico ferroviario a bassa velocità e aziende che emettono principalmente rumore a frequenze medio - basse.

Alla luce delle definizioni date riguardo i due valori risulta dunque di maggiore rilevanza, in ambito urbano, il valore presentato dal parametro “  $C_{tr}$  “, mentre, in ambito extraurbano, è necessario tenere maggiormente presente il valore presentato dal parametro “  $C$  “.

### **Il miglioramento acustico delle superfici vetrate**

Le prestazioni acustiche di una superficie vetrata sono modificabili in termini di:

massa del vetro impiegato,

asimmetria delle sezioni interne,

spessore dello strato d’aria

impiego di gas particolari tra la superficie interna e quella esterna.

Ognuna delle soluzioni esplicitate risulta valida per quanto riguarda l’efficacia di un incrementato isolamento acustico e dipende dalla scelta del progettista l’adozione di una rispetto all’altra, privilegiando, eventualmente, un minore prezzo d’acquisto o una maggiore adattabilità di una particolare soluzione ad una definita unità abitativa.

## Capitolo 4

### Una breve analisi di frequenza

Negli edifici ad uso residenziale le basse frequenze sono, senza dubbio, quelle più “ impegnative “ a livello di schermaggio acustico e la capacità di isolamento, che varia a seconda della frequenza considerata, si esprime al meglio ad alte frequenze. La somma di questi due fattori rende l’isolamento acustico una materia di notevole importanza in quanto a monte, rispetto alla messa in opera di un determinato pacchetto murario o solaio, lo studio di isolamento acustico deve essere compiuto nel modo più rigoroso, adatto e preciso possibile.

### La riverberazione

In fisica e in acustica il riverbero è il fenomeno acustico legato alla riflessione dell’onda sonora da parte di un ostacolo posto davanti alla fonte sonora stessa. Tale fenomeno è noto con il nome di riverberazione. La capacità di una sala di risultare più o meno riverberante dipende principalmente dalle sue dimensioni ( quindi dal suo volume ) e dalla capacità delle superfici delimitanti di assorbire o meno i suoni.



Figura A. Riverberazione in un ambiente

Figura 3: l’effetto del riverbero in un ambiente chiuso

Dal momento che le superfici assorbono i suoni alle varie frequenze in maniera differente, i locali possono risultare molto riverberanti a certe frequenze e poco ad altre. 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. Definendo, quindi, il tempo di riverberazione (  $T$  ), si potrebbe scrivere che: “ il tempo di riverberazione è il tempo necessario affinché, in un determinato punto dell’ambiente, il livello di pressione sonora si riduca di 60Db rispetto a quello che si ha nell’istante in

cui la sorgente sonora smette di funzionare “. Varia al variare della frequenza. In uno spazio chiuso ampio come, ad esempio, una chiesa, a seguito di un suono secco si possono udire le innumerevoli riflessioni delle estese pareti che, lentamente, decrescono di intensità, fino al silenzio. La riverberazione dipende dalla dimensione dell'ambiente, come già specificato e dalla natura delle pareti investite dal suono: materiali diversi hanno coefficienti di assorbimento diversi.

### **Il fenomeno della risonanza**

La risonanza acustica si può definire come un fenomeno di amplificazione delle onde sonore che caratterizza i risuonatori in ambito musicale e le pareti in campo edile. Tale amplificazione viene generata da un impulso esterno che viene trasmesso, nel nostro caso, alla parete, attraverso un mezzo elastico, come l'aria.

L'amplificazione sarà tanto maggiore quanto la frequenza dello stimolo sarà vicina alla frequenza di risonanza del materiale sollecitato. Nel momento in cui questo dovesse accadere si instaurerebbe un moto oscillatorio nella parete che, non solo, porterebbe ad un'amplificazione del suono, ma, in casi estremi, anche alla rottura della parete stessa.

### **Misure in opera e misure in laboratorio - Grandezze apparenti**

La misurazione delle caratteristiche acustiche di un elemento divisorio posto in opera fornisce generalmente dati sensibilmente differenti rispetto alle misurazioni in laboratorio. Ciò avviene a causa del fatto che, in laboratorio, si cerca di eliminare le trasmissioni laterali.

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. Le grandezze relative alle misurazioni effettuate in opera vengono anche definire con il termine “ apparente “, quindi, ad esempio:

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

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

Generalmente:  $R_w > R'_w$ .

Il potere fonoisolante apparente di elementi di separazione fra ambienti (  $R'$  ) è una grandezza che definisce le proprietà isolanti di una parete divisoria tra due ambienti.

## **Il potere fonoisolante e l'isolamento acustico**

La capacità di una struttura di abbattere il rumore aereo viene espressa con due grandezze: il potere fonoisolante e l'isolamento acustico. Queste due grandezze, in maniera differente, definiscono la capacità di una struttura di abbattere il rumore aereo. Per entrambe le grandezze, però, vale il fatto che più alto è il loro valore, meglio le strutture isolano il rumore.

Il potere fonoisolante (  $R$  ), già citato nel corso della tesi, è una caratteristica intrinseca della struttura, indipendente dalle dimensioni e dalle caratteristiche dei locali considerati. Tale grandezza indica la capacità isolante di una parete divisoria tra due ambienti. Viene definito “ apparente “ perché misurato in opera, infatti prende in considerazione tutta la potenza sonora percepibile nell'ambiente ricevente, dunque non solo quella che attraversa la parete, che funge da divisorio. Si tratta di un valore che varia al variare della frequenza, per il quale il decreto prevede il valore limite del suo indice di valutazione indicato con  $R_w = 50\text{Db}$ .

$$R = L_1 - L_2 + 10\text{Log } 1/t \text{ [Db]}$$

L'isolamento acustico (  $D$  ), rappresenta invece la differenza in decibel dei livelli di rumore misurati nella stanza sorgente e nella stanza ricevente. Questa grandezza, quindi, dipende dalle caratteristiche delle stanze nelle quali vengono effettuate le misure, quali le loro dimensioni e la loro capacità di assorbire i suoni. Lo stesso isolamento acustico che si utilizza per le pareti interne viene usato per le pareti esterne. Si tratta di una grandezza che descrive le caratteristiche isolanti di una parete divisoria tra l'ambiente esterno ( sorgente sonora ) e l'ambiente interno ( ricevente ). Il valore limite è pari a  $40\text{Db}$ .

### **L'isolamento acustico di facciata**

L'isolamento acustico di facciata rappresenta un caso particolare di isolamento, poiché, al suo, interno, sono da prendere in considerazione alcune variabili che possono, eventualmente, costituire un aumento in termini di complessità in termini di calcolo di isolamento acustico.

Allo scopo di individuare il potere fonoisolante di una facciata “ composta “ ( stabilita in una parete opaca, una vetrata ed un eventuale presa d'aria in parete ), la metodologia adottata nel caso della tesi di studio, è l'assimilazione della facciata ad una “ parete omogenea equivalente “, una partizione che presenta, quindi, le stesse caratteristiche, medie, complessive, ma semplificata in termini di parti costituenti.

Il concetto di “ parete equivalente “ si può esprimere, in termini matematici imperniati sul significato di Energia, come:



$E_t S = E_1 S_1 + E_2 S_2$ , in cui:

$E_1$  rappresenta l'energia sonora trasmessa, per unità di superficie, attraverso la parete opaca

$E_2$  rappresenta l'energia sonora trasmessa, per unità di superficie, attraverso la parete vetrata

$E_t$  rappresenta l'energia sonora totale, per unità di superficie.

La relazione precedente può anche scriversi come:

$$E_t = (E_1 S_1) / S + (E_2 S_2) / S$$

che, divisa da entrambe le parti per l'Energia Incidente  $E_i$ , viene espressa in termini adimensionali:

$$(E_t / E_i) = (E_1 / E_i) (S_1 / S) + (E_2 / E_i) (S_2 / S)$$

prendendo, nuovamente, in considerazione la formula del potere fonoisolante per una struttura omogenea,  $R_w$ , è possibile descrivere il rapporto tra l'energia specifica e l'energia incidente come:

$$E_t / E_i = 10^{-R_w / 10}$$

$$10^{-R_w / 10} = 10^{-R_{1w} / 10} (S_1 / S) + 10^{-R_{2w} / 10} (S_2 / S)$$

che, in termini logaritmici, si trasforma nell'equazione:

$$-R_w / 10 = \text{Log} [10^{-R_{1w} / 10} (S_1 / S) + 10^{-R_{2w} / 10} (S_2 / S)]$$

il potere fonoisolante della parete composta risulta, quindi, come:

$$R_w = -10 \text{Log} [10^{-R_{1w} / 10} (S_1 / S) + 10^{-R_{2w} / 10} (S_2 / S)]$$

l'equazione precedente è generalizzabile, nel caso di parete composta da "n" membri:

$$R_w = -10 \text{Log} [ \sum 10^{-R_{iw} / 10} (S_i / S) ] .$$

Il parametro  $R_w$  appena misurato, ad ogni modo, si riferisce ad un valore calcolato in laboratorio. Per tenere conto delle inevitabili perdite laterali, poi, il valore  $R_w$  va ridotto di una quantità "K", fornendo così il valore di "potere fonoisolante di facciata":

$$R'_w = R_w - K$$

in cui, generalmente,  $K = 2\text{Db}$ , per quanto riguarda le pareti composte.

Il concetto di isolamento acustico di facciata corrisponde, invece, alla differenza tra il livello sonoro presente all'esterno dell'edificio ed il livello sonoro interno.

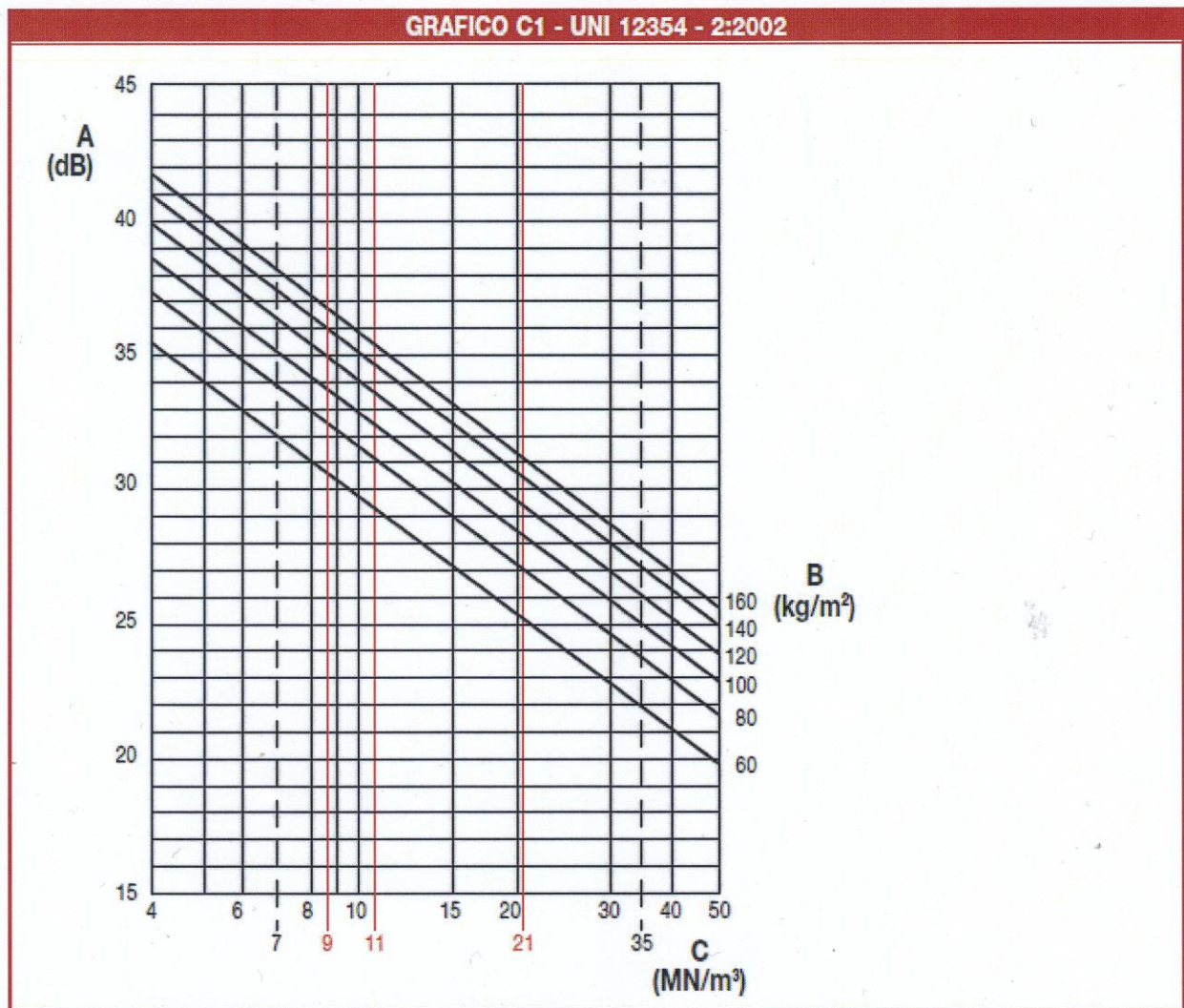


Grafico 8: fondamentale per l'individuazione del valore prestazionale, in termini acustici, di un solaio

## Capitolo 5

### Determinazione dei requisiti acustici passivi in caso di studio:

**complesso abitativo localizzato a Borgo Montone, Ravenna.**

#### Il complesso abitativo oggetto di studio

Grazie all'Ingegnere Maurizio Lenzi dell'Acmar di Ravenna è stato possibile verificare i dati di un edificio reale, situato, in questo caso a Borgo Montone, in provincia di Ravenna. Lo stabile fa parte di un complesso di quattro edifici separati situati tra via Verbano e via Lago d'Orta a Borgo Montone, poco fuori Ravenna.

Il complesso di appartamenti in oggetto è costituito da 30 unità abitative complessive che si estendono su un totale di 2 piani, fuori terra. L'edificio "A", nella fattispecie, presenta la facciata principale su via Verbano ed il retro volge, invece, sul giardino che separa i quattro edifici, come riscontrabile nella planimetria posta qui sotto.



Figura 4: Planimetria generale

## **Legislazione e normativa di riferimento**

Per quanto riguarda la normativa di riferimento, l'edificio scelto deve rispettare i requisiti cogenti chiariti nel D.P.C.M. 5/12/97, la "determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici".

Il decreto in questione, come già definito nell'introduzione alla presente tesi, cita "il decreto determina i requisiti acustici delle sorgenti sonore interne agli edifici e i requisiti acustici passivi degli edifici e dei loro componenti in opera, al fine di ridurre l'esposizione umana al rumore".

Di seguito è riportata la classificazione degli ambienti abitativi secondo il D.P.C.M.:

CATEGORIA A: edifici adibiti a residenza o assimilabili

CATEGORIA B: edifici adibiti ad uffici e assimilabili

CATEGORIA C: edifici adibiti a alberghi, pensioni

CATEGORIA D: edifici adibiti ad ospedali, cliniche, case di cura

CATEGORIA E: edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli

CATEGORIA F: edifici adibiti ad attività ricreative o di culto

CATEGORIA G: edifici adibiti ad attività commerciali

Tale decreto va ad analizzare i seguenti parametri:

1. isolamento acustico di facciata  $D_{2m,nTw}$
2. potere fonoisolante di partizioni tra unità immobiliari adiacenti  $R_w$
3. livello di calpestio  $L_{n,w}$

Allegata di seguito si trova la tabella con i parametri presi in considerazione nel suddetto decreto ed i relativi valori limite:

CATEGORIE	PARAMETRI				
	Rw	D2m,nTw	Ln,w	Las,max	Laeq
1.D	55	45	58	35	25
2.A,C	50	40	63	35	35
3.E	50	48	58	35	25
4.B,F,G	50	42	55	35	35

### Gli indici di valutazione

La necessità di definire con un unico numero le prestazioni sonore di un edificio ha spinto la legislazione nazionale a definire gli “ indici di valutazione “, ossia valori che definiscono il livello prestazionale di una partizione, che sia essa una facciata, un solaio o una parete divisoria tra locali interni.

Di seguito è allegata la tabella dei requisiti acustici passivi ( e dei relativi indici di valutazione ) di un edificio:

REQUISITI ACUSTICI PASSIVI	
D2m,nTw	isolamento acustico standardizzato di facciata
Ln	livello di rumore di calpestio di solai, normalizzato fra ambienti appartenenti a differenti unità immobiliari
Rw	potere fonoisolante apparente di partizioni verticali e orizzontali fra ambienti appartenenti a differenti unità immobiliari
Laeq	livello continuo equivalente di pressione sonora ponderata “ A “, prodotta dai servizi a funzionamento continuo
Las,max	livello massimo di pressione sonora ponderata “ A “, con costante di tempo slow, prodotta dai servizi a funzionamento discontinuo

## La fase di calcolo

Per quanto riguarda la “ fase di calcolo ”, è necessario distinguere i calcoli da svolgere in base alle norme UNI che devono, necessariamente, rispettare, infatti:

1. l'isolamento acustico per il rumore aereo tra ambienti risponde alla UNI EN ISO 12354 - 1
2. l'isolamento acustico ai rumori di tipo impattivo si basa invece sulla UNI EN ISO 12354 - 2.

La norma UNI EN ISO 12354 - 1 fornisce inoltre una formula per il calcolo del potere fonoisolante apparente in maniera rigorosa e utile agli scopi dello studio acustico in questione.

$$R'w = -10 \log \left( 10^{\frac{-RD_{d,w}}{10}} + \sum_f^n 10^{\frac{-RF_{f,w}}{10}} + \sum_f^n 10^{\frac{-RD_{f,w}}{10}} + 10^{\frac{-RD_{d,w}}{10}} + \sum_f^n 10^{\frac{-RF_{f,w}}{10}} + \sum_f^n a^{\frac{-RF_{d,w}}{10}} \right)$$

in cui:

$D_d$  = trasmissione diretta attraverso la parete di separazione.

$F_f$  = trasmissione attraverso le pareti laterali dei due ambienti.

$F_d$  = trasmissione attraverso le parti laterali dell'ambiente emittente e la parete divisoria.

$D_f$  = trasmissione attraverso le pareti laterali dell'ambiente ricevente e la parete divisoria.

La stessa norma UNI EN ISO 12354 - 1 fornisce anche una formula semplificata, più facilmente applicabile di quella enunciata sopra, ma valida, esclusivamente, per carichi  $\sigma > 150 \text{ kg/m}^2$  e per facciate omogenee:

$$R_w = 37,5 \log (\sigma) - 42 \text{ [Db]}.$$

Nei casi in cui le condizioni sopra riportate non fossero rispettate come, ad esempio, nel caso di facciate non omogenee, il coefficiente di trasmissione si può riscrivere come segue:

$$R_w = 10 \log (1 / t_m) \text{ [Db]}$$

in cui  $t_m$  è il “ coefficiente di trasmissione “.

La facciata incontrata dal suono deve essere continua ed omogenea. Nel caso in cui la parete in questione fosse, invece, disomogenea, risulterebbe necessario calcolare il coefficiente in questione attraverso un valore medio dei vari materiali, tenendo in considerazione il valore dato da ogni singolo materiale e dalla sua superficie:

$$t_m = \frac{\sum t_i S_i}{\sum S_i} = \frac{t_1 S_1 + t_2 S_2 + \dots + t_n S_n}{A}$$

in cui:

$t_m$  = coefficiente di trasmissione medio

$t_i = 10^{R/10}$ , è il coefficiente di trasmissione di ciascun elemento

$S_i$  = superficie di ciascun elemento

$A$  = area totale della partizione.

I risultati così ottenuti andranno poi ridotti di 3Db a causa delle trasmissioni laterali dell'edificio.

### **L'isolamento acustico di facciata**

L'indice dell'isolamento acustico di facciata si calcola applicando la seguente formula:

$$D_{2m,nT,w} = R'w + \Delta L_{f,s} + 10 \log [V/6T_0s] \text{ [dB]}$$

in cui:

$\Delta L_{f,s}$  = fattore di forma della facciata

$V$  = volume dell'ambiente considerato, calcolato in  $m^3$

$T_0$  = tempo di riverberazione di riferimento ( pari a 0,5 secondi )

$S$  = area totale della facciata dall'interno ( la somma di tutte le aree, espresse in  $m^2$  )

$R'_w$  = risulta espressa partendo dalle aree di ogni singolo elemento della facciata, comprese le eventuali prese d'aria o piccoli elementi costruttivi che potrebbe influire negativamente sul potere fonoisolante della facciata oggetto di studio. La  $R'_w$  è data dalla formula:

$$R'_w = -10 \log \left[ \sum_i^n \frac{S_i}{S} \times 10^{\frac{-R_{wi}}{10}} + \sum_i^n \frac{A_0}{S} \times 10^{\frac{-D_{n,e,wi}}{10}} \right] - k [dB]$$

nella quale:

$R_{wi}$  è l'indice di valutazione del potere fonoisolante dell'elemento  $i$  - esimo in Db

$S_i$  è l'area dell'elemento  $i$  - esimo ( espresso in  $m^2$  )

$S$  è area totale della facciata dall'interno ( la somma di tutte le aree, espresse in  $m^2$  )

$D_{n,e,wi}$  è l'indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato, rispetto all'assorbimento dell'elemento considerato  $i$  - esimo, espresso in Db

$K$  è l'" apporto energetico " dovuto alla trasmissioni laterali ( la correzione pari a 0 per elementi di facciata non connessi e pari a 2 per elementi di facciata " pesanti con giunti rigidi " )

$A_0$  è l'" area di assorbimento equivalente di riferimento: per le abitazioni è pari a  $10m^2$  ".

### **Isolamento ai rumori impattivi**

Per quanto riguarda l'isolamento ai rumori impattivi, risulta possibile avvalersi del " metodo semplificato ", calcolando  $L'_{n,w}$ , ossia l'indice di valutazione calcolato a 500 Hz. La formula che giunge in aiuto nel calcolo di questo indice è la:

$$L'_{n,w} = L'_{n,w,eq} - \Delta L_w + K$$

in cui:

$L'_{n,w,eq}$  è l'indice di valutazione del " livello equivalente " di pressione sonora al calpestio, relativo ad un solaio " normalizzato " e " nudo ", privo, quindi, di qualunque strato di materiale resiliente.

$\Delta L_w$  è l'indice di valutazione riferito ad un solaio in cui è presente uno strato di materiale resiliente



K è il coefficiente correttivo da apportare a causa delle perdite per trasmissione laterali

L'indice del livello equivalente di pressione sonora,  $L'_{n,w,eq}$ , può essere calcolato come:

$$L'_{n,w,eq} = 164 - 35 \log(\sigma) \text{ [Db]}$$

la  $\Delta L_w$  si calcola, invece, come:

$$\Delta L_w = 30 \log(f/f_0) + 3 \text{ [Db]}$$

all'interno della quale " f " vale 500 Hz e  $f_0$  risulta essere la " frequenza di risonanza " data dal sistema " molla - massa ":

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

in cui:

$s'$  è la rigidità del materiale resiliente, espressa in  $\text{MN/m}^3$

$m'$  è la massa superficiale del massetto soprastante l'elemento resiliente, espressa in  $\text{Kg/m}^2$ .

Per chiarire ulteriormente l'importanza del parametro  $\Delta L_w$  si può, inoltre, aggiungere il fatto che sia possibile determinarlo graficamente, attraverso il ( già presentato ) grafico facente parte della UNI EN 12354 - 2 del 2002:

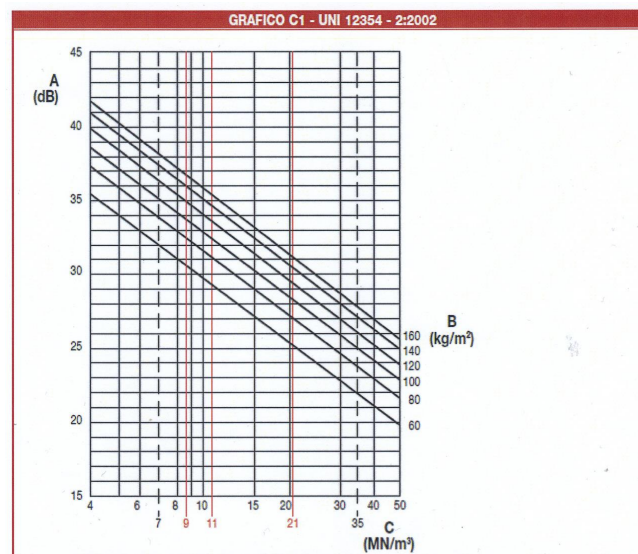


Grafico 9

## La fase di calcolo: la applicazione al caso di studio

Per quanto riguarda la fase di calcolo, si è deciso di svolgerla basandosi sull'edificio " A ", più specificatamente l'appartamento " A1 ", situato a piano terra.

Lo studio è stato sviluppato basandosi sulla normativa posta dal D.P.C.M. del 5 - 12 - 1997 e andando, quindi, a verificare i seguenti parametri acustici:

1. il potere fonoisolante delle partizioni ( $R'_w$ )
2. l'isolamento acustico di facciata ( $D_{2m,ntw}$ )
3. l'isolamento al calpestio ( $L'_{n,w}$ )

### 1. Il potere fonoisolante delle partizioni: " $R'_w$ "

Per quanto riguarda le partizioni interne, prendo in considerazione la sezione di seguito:

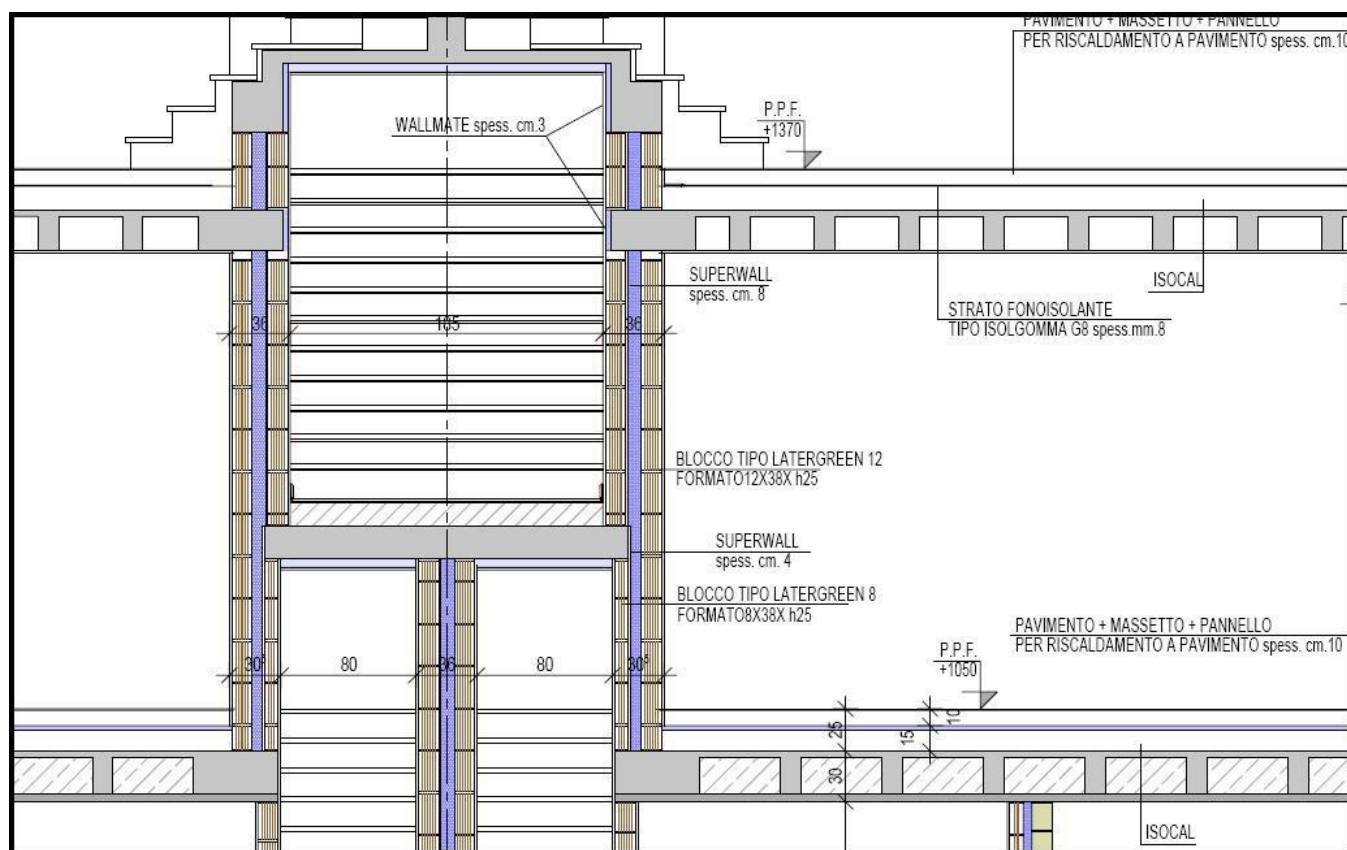


Figura 5: sezione verticale del costruito

La parete in questione è formata da:

1. 1,5cm di intonaco
2. 12cm di spessore di blocchi forati

### 3. 0,5cm di rinzaffo

8cm di pannello “ Superwall “ ( pannello autoportante di grandi dimensioni di lana di vetro idrorepellente trattata con speciale legante a base di resine termoindurenti, rivestito su una faccia con carta kraft - alluminio retinata e sull'altro con un velo di vetro )

ed un ulteriore strato di:

rinzaffo, blocchi forati ed intonaco, per un totale di 36cm di spessore ( in allegato si può trovare la scheda tecnica della parete in questione, che dimostra avere un  $R_w$  di 57dB ).



Figura 6: Pacchetto murario esemplificativo del caso preso in oggetto

Si prosegue, quindi, attraverso il calcolo dell'indice del potere fonoisolante della parete omogenea equivalente mediante la “ legge della massa “ ( valida per murature con  $\sigma > 150\text{Kg/m}^2$  ):

$$R_w = 37,5 \cdot \log ( \sigma ) - 42 [ \text{dB} ]$$

Inizio dunque lo studio calcolando il peso complessivo della parete, al metro quadro:

$$\sigma = \sigma_{\text{intonaco esterno}} \cdot 2 + \sigma_{\text{blocchi}} \cdot 2 + \sigma_{\text{rinzaffo}} \cdot 2 + \sigma_{\text{superwall}} =$$

$$2000 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,015 + 860 \text{ Kg/m}^3 \cdot 0,12 \text{ m} + 2000 \text{ Kg/m}^3 \cdot 0,005 + 40 \text{ Kg/m}^3 \cdot 0,08 \text{ m} + 2000 \text{ Kg/m}^3 \cdot 0,005 + 860 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,12 \text{ m} + 2000 \text{ Kg/m}^3 \cdot 0,015 = 318,4 \text{ Kg/m}^3$$

mediante la quale si può calcolare:

$$R_w = 37,5 \cdot \log ( 318,4 ) - 42 = 51,86 \text{ dB}$$

## 2. L'isolamento acustico di facciata: “ $D_{2m,ntw}$ ”

Per quanto riguarda l'isolamento acustico di facciata, si inizia considerando la zona del soggiorno.

I dati noti, riguardo tale locale, sono:

$$\text{superficie stanza} = 21,14 \text{ m}^2$$

$$\text{altezza} = 2,7 \text{ m}$$

$$\text{lunghezza} = 5,41 \text{ m}$$

Parete lorda	Parete netta	Porta finestra n.1	Porta finestra n.2
14,6 m <sup>2</sup>	9,15 m <sup>2</sup>	2,75 m <sup>2</sup>	2,25 m <sup>2</sup>
	R <sub>pw500Hz</sub> = 54dB	R <sub>fw500Hz</sub> = 41dB	R <sub>fw500Hz</sub> = 41dB
	t <sub>p</sub> = 3,98 x 10 <sup>-6</sup>	t <sub>f,1</sub> = 7,9432 x 10 <sup>-5</sup>	t <sub>f,2</sub> = 7,9432 x 10 <sup>-5</sup>

Tabella 5

Lo studio della facciata esterna prosegue con il calcolo del “ coefficiente di trasmissione medio “:

$$t_m = 0,0004334793/14,6 = 2,96 \cdot 10^{-5}$$

grazie al quale è possibile ottenere il potere fonoisolante:

$$R_w = 10 \cdot \log ( 1/t_m ) = 45\text{dB}$$

a cui vanno sottratti 3dB a causa delle dispersioni laterali:

$$R'_w = 45 - 3 = 42\text{dB}$$

Al numero appena trovato vanno poi addizionati due ulteriori membri, in modo da rintracciare il  $D_{2m,ntw}$  relativo all'ambiente in questione:

$$D_{2m,ntw} = R'_w + \Delta L_{fs} + 10\log[ V/6T_{0s} ] = 42 + 0 + 10 \log[ 57/6 \cdot 0,5 \cdot 14,6 ] = 43 [ \text{Db} ]$$

Lo studio dell'isolamento acustico di facciata prosegue, dunque, mediante il calcolo del potere fonoisolante della parete, disomogenea, della cucina:

dati noti:

superficie stanza: 12,92 m<sup>2</sup>

altezza: 2,7 m

lunghezza: 3,63 m

Parete lorda	Parete netta	Porta finestra	Foro di aerazione
11,5 m <sup>2</sup>	9,34 m <sup>2</sup>	2 m <sup>2</sup>	7,85 · 10 <sup>-3</sup> m <sup>2</sup>
	R <sub>pw</sub> 500Hz = 54 dB	R <sub>fw</sub> 500Hz = 41 dB	R <sub>fw</sub> 500Hz = 41 dB
	tp = 3,98 x 10 <sup>-6</sup>	tf,1 = 7,9432 x 10 <sup>-5</sup>	tf,2 = 7,9432 x 10 <sup>-6</sup>

Tabella 6

Lo studio della facciata esterna prosegue con il calcolo del “ coefficiente di trasmissione medio “:

$$t_m = 0,0001960996 = 1,7 \cdot 10^{-5}$$

grazie al quale è possibile ottenere il potere fonoisolante:

$$R_w = 10 \cdot \log ( 1/t_m ) = 48\text{dB}$$

a cui vanno sottratti 3dB a causa delle dispersioni laterali:

$$R'_w = 45 - 3 = 42\text{dB}$$

Al numero appena trovato vanno poi addizionati due ulteriori membri, in modo da rintracciare il D<sub>2m,ntw</sub> relativo all'ambiente in questione:

$$D_{2m,ntw} = R'_w + \Delta L_{fs} + 10\log[ V/6T_{0s} ] = 42 + 0 + 10 \log[ 35/6 \cdot 0,5 \cdot 11,5 ]$$

Per quanto riguarda il vano scala, in allegato alla tesi sono rintracciabili gli elaborati tecnici relativi. Per motivazioni economiche sono stati utilizzati materiali resilienti provenienti da ditte differenti da quelli studiati nei casi di calcolo.

### 3. Livello di rumore di calpestio: “ $L'_{n,w}$ ”

Lo studio dei parametri acustici prosegue, infine, con la determinazione del livello di rumore di calpestio: sotto è rappresentata la sezione verticale concernente la stratigrafia considerata.

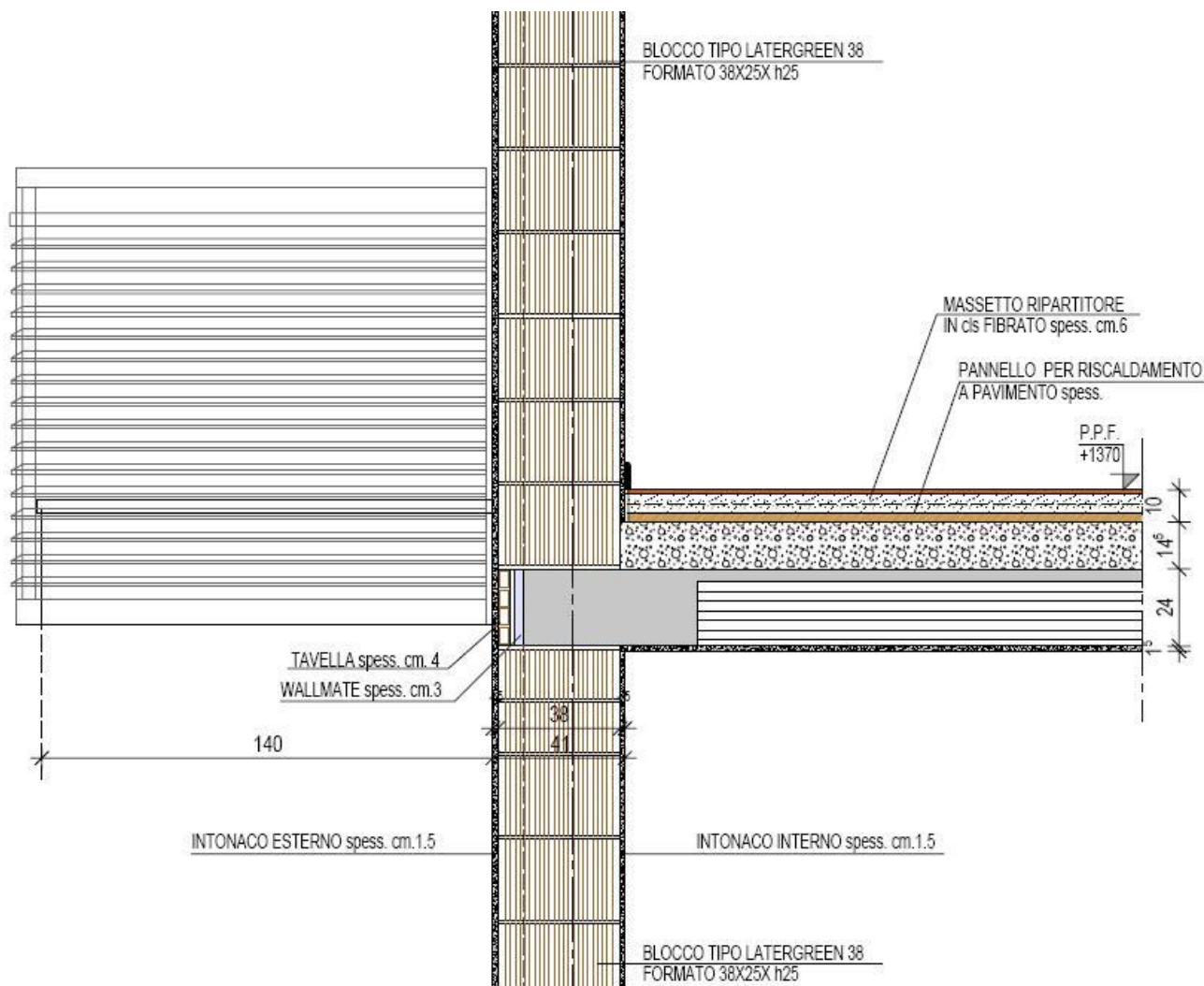


Figura 7: dettaglio costruttivo

La sezione sopra presentata si articola in:

1. pavimentazione: 1,5cm
2. massetto ripartitore in cls fibrato: 6cm
3. materassino per pavimento galleggiante ( strato fonoisolante di tipo G8 isolgomma ) dello spessore di 1cm e rigidità dinamica  $s' = 12 \text{ MN/m}^3$
4. Isocal: 14,5cm, densità  $500 \text{ Kg/m}^3$
5. Solaio in latero - cemento: 20 + 4cm
6. Intonaco: 1,5cm.

Qui sotto è riassunta la tabella degli spessori:

<b>PESO COMPLESSIVO DEL SOLAIO</b>		
Pavimentazione	2000 kg/ m <sup>3</sup> x 0,015 m	30Kg/m <sup>2</sup>
Massetto riparatore in cls fibrato	2000 kg/ m <sup>3</sup> x 0,06m	120Kg/m <sup>2</sup>
<b>Peso sovrastante il p.g.</b>	<b>/</b>	<b>150Kg/m<sup>2</sup></b>
Isocal	500 kg/ m <sup>3</sup> x 0,145 m	72,5Kg/m <sup>2</sup>
Solaio latero - cemento	1000 kg/ m <sup>3</sup> x 0,2m	200Kg/m <sup>2</sup>
Soletta	2500 kg/ m <sup>3</sup> x 0,04m	100Kg/m <sup>2</sup>
Intonaco	2000 kg/ m <sup>3</sup> x 0,015m	30Kg/m <sup>2</sup>
<b>Peso solaio nudo</b>	<b>/</b>	<b>402,5Kg/m<sup>2</sup></b>
<b>Peso solaio nudo</b>	<b>/</b>	<b>552,5 Kg/m<sup>2</sup></b>

Tabella 7

Procedo dunque con il calcolo dell'indice di valutazione del livello equivalente di pressione sonora, relativo ad un solaio nudo e omogeneo:

$$L_{n,w,eq} = 164 - 35 \log (\sigma) \text{ [dB]}$$

$$L_{n,w,eq} = 164 - 35 \log (402,5) = 73 \text{ [dB]}$$

Il valore ottenuto è eccessivamente alto, portando quindi lo studio verso un'analisi più approfondita della UNI EN 12354 -2:2002.

Grazie ad un'attenta analisi svolta presso l'Acmar di Ravenna della norma UNI EN sopra citata, è stato possibile rintracciare la motivazione del valore in un utilizzo improprio della formula: quest'ultima, infatti, è adatto allo studio di solai con soletta piena in cemento armato, ma non è utilizzabile, con buoni risultati, ad un solaio in latero - cemento, proprio come quello studiato nel corso della presente tesi.

Risulta quindi possibile utilizzare la stessa formula ma con la variazione del numero che moltiplica il logaritmo, portandola così ad essere:

$$L_{n,w,eq} = 164 - 30 \log(\sigma) \text{ [dB]}$$

$$L_{n,w,eq} = 164 - 30 \log(402,5) = 86 \text{ [dB]}$$

lo studio in questione, poi, prosegue con il calcolo della “ frequenza di risonanza “ del sistema ( semplificato ) molla - massa “  $f_0$  ”, dell’attenuazione del livello di pressione sonora “  $\Delta L_w$  ” ed, infine, dell’indice di valutazione del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato  $L'_{n,w}$ . In sequenza sono calcolabili come:

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

$$f_0 = 160 \sqrt{\frac{12}{150}}$$

$$f_0 = 45,25 \text{ [Hz]} \text{ ( “ frequenza di risonanza “ del sistema semplificato )}.$$

$$\Delta L_w = 30 \log(f / f_0) + 3 \text{ [dB]}$$

$$\Delta L_w = 30 \log(500 / 53) + 3 = 34,3 \text{ [dB]} \text{ ( l’attenuazione del livello di pressione sonora )}.$$

Si calcola, infine, l’indice di valutazione del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato, nella formula presentata sotto:

$$L'_{n,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L_w + K \text{ [dB]}$$

$$L'_{n,w} = 88 - 34 = 54 \text{ ( } < 63 \text{ [dB] )}.$$



## Comparazione definitiva tra i valori misurati in sito ed i valori calcolati

Lo studio dei dati acustici dell'edificio situato a Borgo Montone e costruito dall'Acmar di Ravenna, svoltosi nella presente tesi di laurea, si conclude con la comparazione tra i dati calcolati mediante le formule utilizzate nell'elaborato di tesi e le misurazioni svolte in sito dalla ditta costruttrice.

Il grafico di seguito riportato chiarisce, in maniera grafica, il risultato ottenuto tramite i calcoli acustici effettuati: lo studio evidenzia, infatti, una immediata comparabilità tra i valori studiati e quelli misurati in sito. Ciò sottolinea un ottimo impiego delle corrette modalità di posa ed il rispetto, marginalmente superiore, dei limiti di legge, imposti dalle UNI EN già citate nel corso dell'elaborato di tesi.

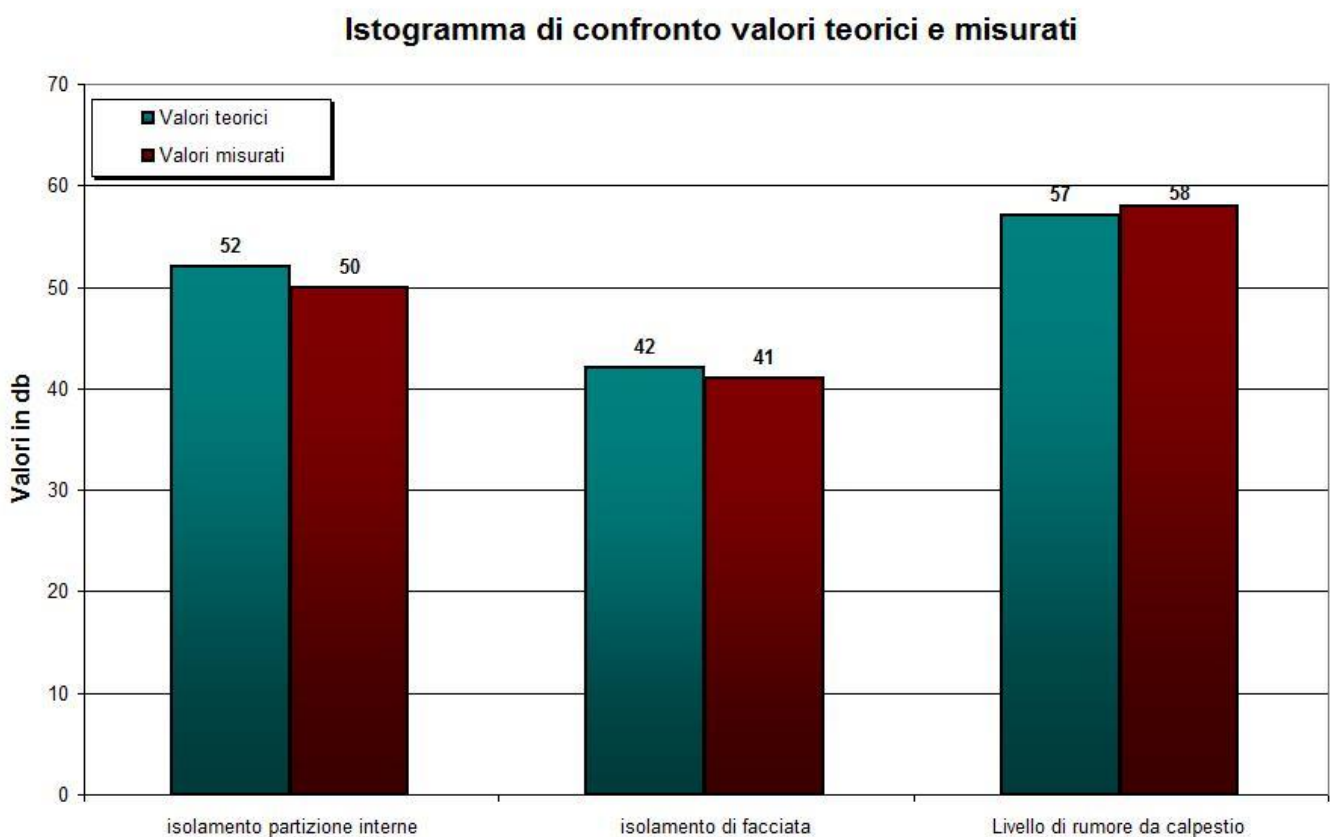
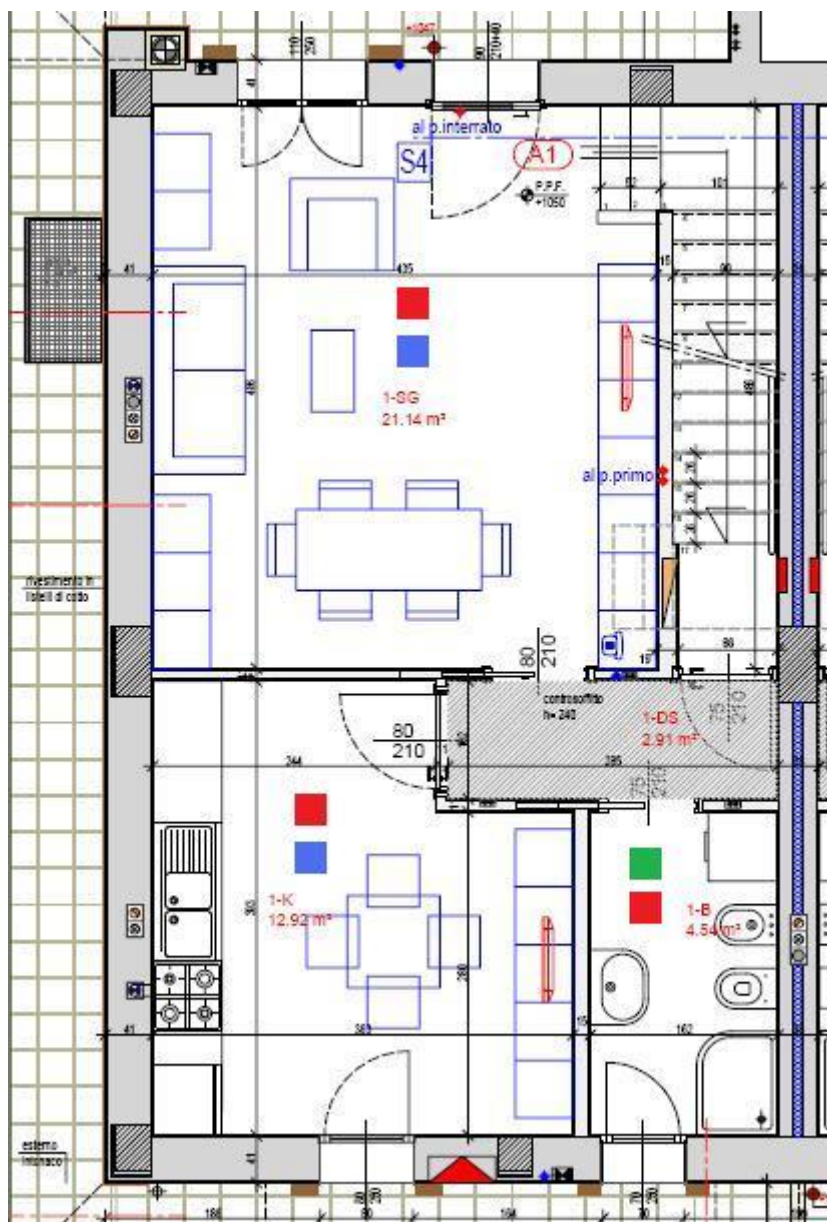


Figura 8: istogramma comparativo

Nella pianta allegata di seguito è riportato uno schema degli ambienti in cui è stato possibile verificare i dati acustici mediante le formule:



I quadrati colorati rappresentati stanno a significare:

**rosso:**  $L'_{n,w}$

**verde:**  $R'_w$

**blu:**  $D_{2m,ntw}$

Oltre che in forma grafica, di seguito sono allegate le tabelle riassuntive dei valori calcolati e dei valori misurati in sito:

Stanza	Rw	R'w	D2	L'n,w
Soggiorno	45 [dB]	42 [dB]	42 [dB]	57 [dB]
Cucina	45 [dB]	42 [dB]	42 [dB]	57 [dB]
Bagno	55 [dB] ( partizione )	52 [dB] ( partizione )	/	57 [dB]

tabella 8: riassuntiva dei valori calcolati

Stanza	R'w	D2	L'n,w
Soggiorno	50 (-1;-4)	42 [dB]	58 [dB]
Cucina	/	42 [dB]	58 [dB]
Bagno	/	42 [dB]	58 [dB]

tabella 9: riassuntiva dei valori misurati

## **Riferimenti bibliografici**

### **Libri di testo consultati:**

Elementi di Fisica tecnica e controllo Ambientale di Lamberto Tronchin, edizioni Esculapio

### **Siti Internet consultati:**

[http://fisicaondemusica.unimore.it/Teorema\\_di\\_Fourier.html](http://fisicaondemusica.unimore.it/Teorema_di_Fourier.html)

<http://www.maffei-engineering.com/file/acustica/classificazione-acustica-degli-edifici.html>

<http://www.iuav.it/Ateneo1/docenti/design-e-a/docenti-st/Romagnoni-/materiali-/fisica-tec/130319---Parte-081.pdf>

<http://www.rockwool.it/prodotti+e+soluzioni/u/2011.construction/1721/pareti-divisorie/pareti-leggere-a-secco>

<http://www.edilportale.com/csmartnews/2858.asp>

[http://www.acustica-edilizia.it/gyptone\\_utilizzo.htm](http://www.acustica-edilizia.it/gyptone_utilizzo.htm)

<http://www.insonorizzazionecasamilano.it/potere-fonoisolante-apparente.html>

<http://docplayer.it/12988556-Tecniche-di-rilevamento-e-di-misurazione-dell-inquinamento-acustico.html>

<http://www.toppetti.it/prodotti/linea-ecopor/ecopor-311-pluristrato/lana-di-roccia/parete-pluristrato>

### **Norme tecniche prese in considerazione e/o citate**

UNI EN ISO 717 - 2 : 1997

UNI EN ISO 12354 - 1

UNI EN ISO 12354 - 2

**Standardised Level Difference according to ISO 140-5**  
**Field measurements of airborne sound insulation of façade elements and façades**

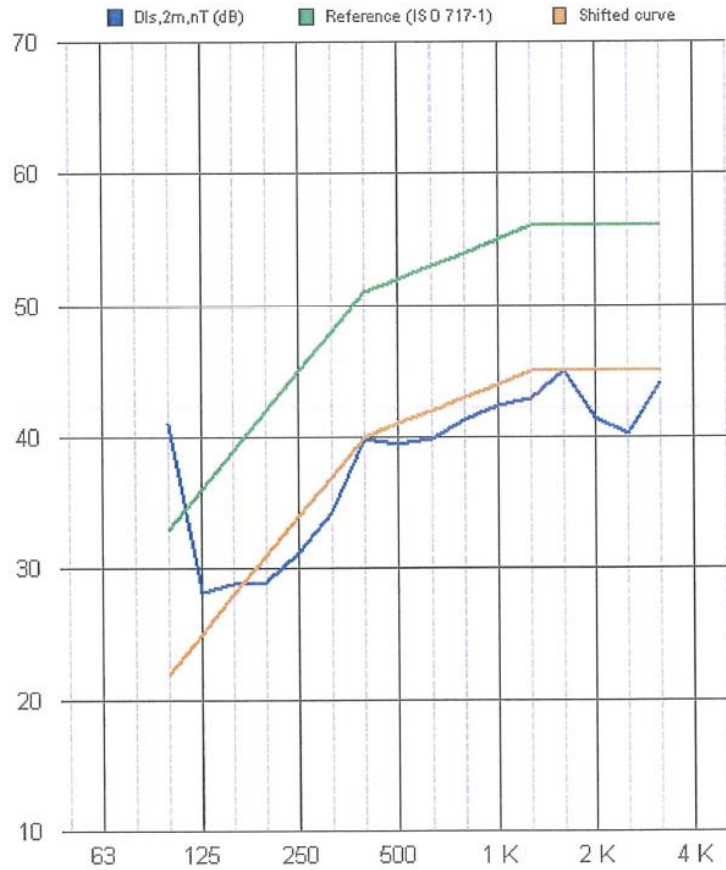
Customer: ACMAR

Test date: 26/11/12

Description and identification of test building, test set-up and measurement direction:  
 Misura isolamento acustico normalizzato di facciata B1 LETTO MATR.

Specimen area (m<sup>2</sup>): 11,1  
 Volume of receiving room (m<sup>3</sup>): 37,8

Frequency f, (Hz)	D <sub>Is,2m,nT</sub> (third octave), dB
100	41,1
125	28,2
160	28,8
200	29,0
250	31,3
315	34,3
400	39,9
500	39,5
630	39,9
800	41,3
1000	42,4
1250	42,9
1600	45,0
2000	41,5
2500	40,3
3150	44,1



Estimation of  $D_{Is,2m,nT,w}$  (C ; Ctr) (dB) : (C;Ctr)=41 (-1 ; -3) according to ISO 717-1  
 Estimation based on field measurement results obtained using an expert method

Report No.: 3

Testing agency: sigmambiente sas

Date: 11/03/2013

Signature: 

Il grafico sopra allegato ed i seguenti tre, come citato dal titolo degli stessi, rappresentano i risultati delle prove, messi a confronto con i valori presentati dalle norme ISO 140 - 4 - 5 - 7.

In particolare, il grafico sopra rappresentato fornisce un'utile comparazione tra i valori misurati in sito, riguardanti il  $D_{2m}$  della parete della camera da letto matrimoniale e la trilatera di riferimento opportunamente, poi, traslata, in modo da chiarire l'andamento della spezzata rappresentate i valori misurati in sito. Risulta infatti evidente l'effetto della coincidenza nella zona delle più alte frequenze, ma un generale buon adattamento alla trilatera di riferimento, opportunamente traslata.

**Standardised Level Difference according to ISO 140-5**  
**Field measurements of airborne sound insulation of façade elements and façades**

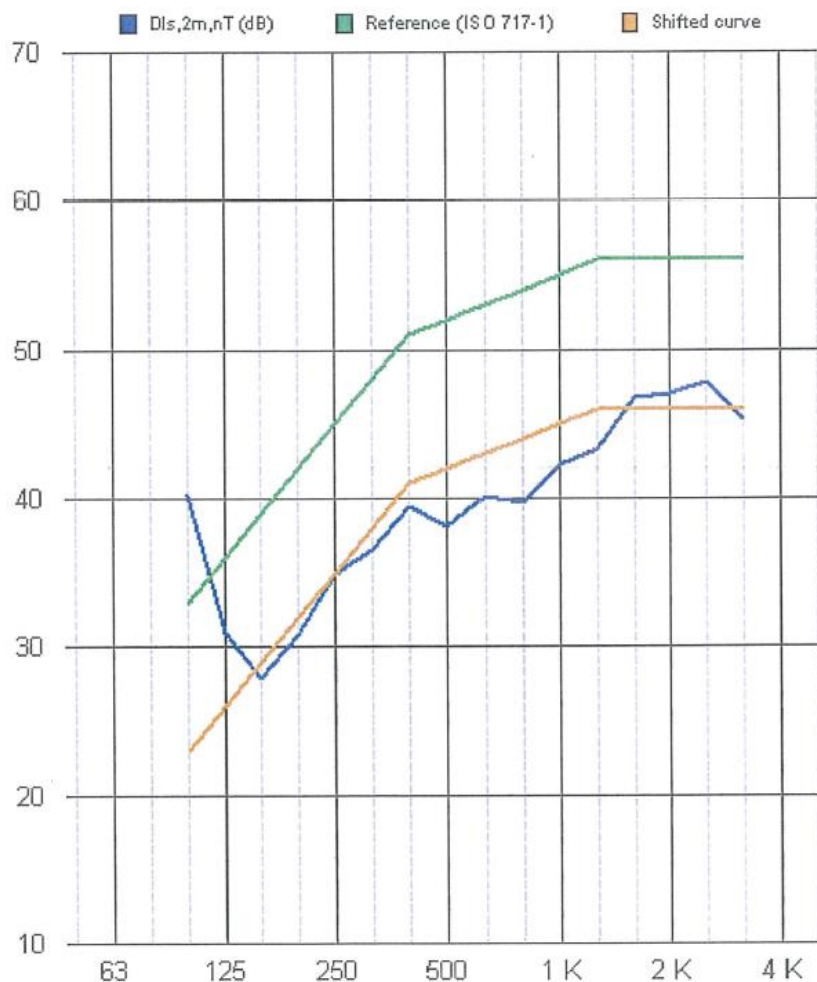
Customer: ACMAR

Test date: 26/11/12

Description and identification of test building, test set-up and measurement direction:  
 Misura isolamento acustico normalizzato di facciata, B5 SOGGIORNO

Specimen area (m<sup>2</sup>): 15,7  
 Volume of receiving room (m<sup>3</sup>): 65,3

Frequency f, (Hz)	D <sub>1s,2m,nT</sub> (third octave), dB
100	40,3
125	31,0
160	27,9
200	30,8
250	35,0
315	36,5
400	39,5
500	38,1
630	40,1
800	39,7
1000	42,3
1250	43,3
1600	46,8
2000	47,0
2500	47,8
3150	45,3




Estimation of  $D_{1s,2m,nT,w} (C; C_{tr})$  (dB) :  $(C; C_{tr}) = 42 (-1; -3)$  according to ISO 717-1  
 Estimation based on field measurement results obtained using an expert method

Report No.: 4

Testing agency: sigmambiente sas.

Date: 11/04/2013

Signature: 

Il grafico sopra rappresentato fornisce un'utile comparazione tra i valori misurati in sito, riguardanti il  $D_{2m}$  della parete del soggiorno e la trilatera di riferimento opportunamente, poi, traslata, in modo da chiarire l'andamento della spezzata rappresentate i valori misurati in sito. Nel grafico in questione si può constatare un generale buon adattamento alla trilatera di riferimento, opportunamente traslata.

**Apparent Transmission Loss according to ISO 140-4**  
**Field measurement of airborne sound insulation between rooms**

Customer: ACMAR

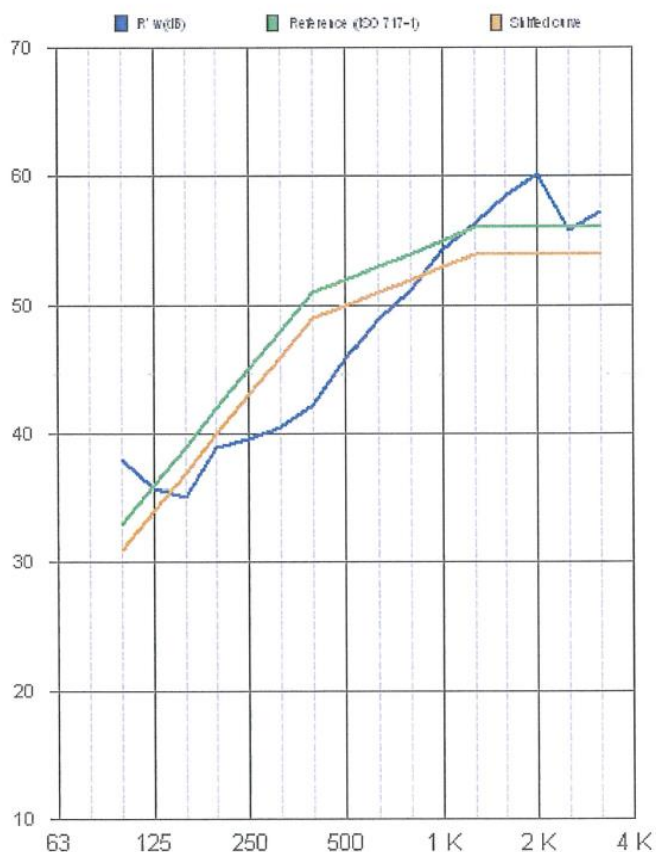
Test date: 27/04/13

Description and identification of test building, test set-up and measurement direction:  
 Potere fonoisolante divisorio verticale LETTO MATR. B6 / LETTO MATR. B7

Volume of emission room (m<sup>3</sup>): 37,8  
 Volume of receiving room (m<sup>3</sup>): 37,8

Separation element area (m<sup>2</sup>): 9,9

Frequency f, (Hz)	R' (third octave), dB
100	38,0
125	35,8
160	35,1
200	38,9
250	39,6
315	40,5
400	42,3
500	45,9
630	48,9
800	51,1
1000	54,3
1250	56,3
1600	58,5
2000	60,2
2500	55,8
3150	57,3



Estimation of R'<sub>w</sub> (C ; Ctr) (dB) : (C;Ctr)=50 ( -1 ; -4) according to ISO 717-1  
 Estimation based on laboratory measurement results obtained using an expert method

Report No. : 12

Testing company: sigmambiente sas

Date: 11/04/2013

Signature: 

Il grafico sopra rappresentato fornisce un'utile comparazione tra i valori misurati in sito, riguardanti l' R'<sub>w</sub> della parete della camera da letto matrimoniale e la trilatera di riferimento opportunamente, poi, traslata, in modo da chiarire l'andamento della spezzata rappresentate i valori misurati in sito. Nel locale considerato risulta evidente un, seppure lieve, scostamento dai valori di riferimento tra 250 e 500 Hz, ma un migliore isolamento di quanto previsto dalla normativa nella zona delle più alte frequenze. In generale si ha un buon adattamento alla trilatera di riferimento, opportunamente traslata.

## Normalised Impact Sound Levels according to ISO 140-7 Field measurements of impact sound insulation of floors

Customer: ACMAR

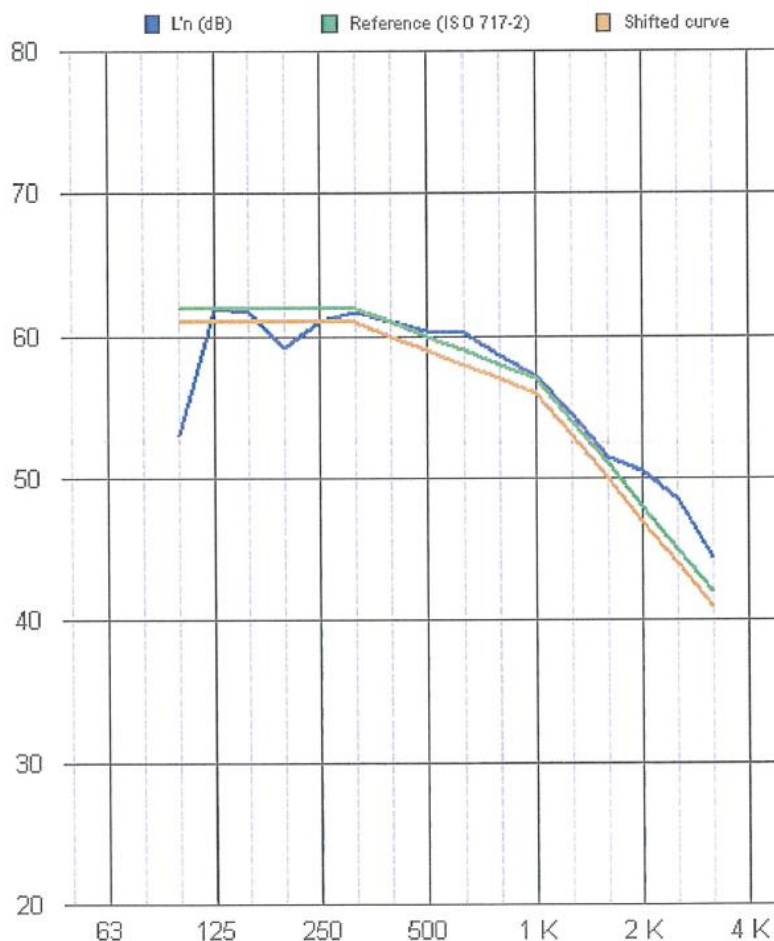
Test date: 28/11/12

Description or identification of test building, test set-up and measurement direction:

Misura del rumore generato dal calpestio SOGGIORNO B5 / SOGGIORNO B1

Volume of receiving room (m<sup>3</sup>): 64,3

Frequency f, (Hz)	L'n (third octave), dB
100	53,1
125	62,0
160	61,7
200	59,1
250	61,0
315	61,7
400	61,0
500	60,4
630	60,2
800	58,6
1000	57,2
1250	54,5
1600	51,5
2000	50,5
2500	48,6
3150	44,4



Estimation of L'n,w (CI) (dB) : 59 (-3) according to ISO 717-2

Estimation of field measurement results obtained by an expert method

Report No.: 20

Testing agency: sigmambiente sas

Date: 11/04/2013

Signature:

Il grafico sopra rappresentato fornisce un'utile comparazione tra i valori misurati in sito, riguardanti l'L'n,w della parete del soggiorno e la trilatera di riferimento opportunamente, poi, traslata, in modo da chiarire l'andamento della spezzata rappresentate i valori misurati in sito. In questo particolare grafico si può notare l'effetto della "desolidarizzazione" del solaio, ossia il fatto che, aggiungendo uno strato assorbente, i valori registrati dal solaio "scendono", seguendo la trilatera di riferimento, anziché procedere in linea pressoché orizzontale, come succedrebbe in caso di un solaio "nudo". In generale si può notare un buon adattamento alla trilatera di riferimento, opportunamente traslata.



**Normalised Impact Sound Levels according to ISO 140-7**  
**Field measurements of impact sound insulation of floors**

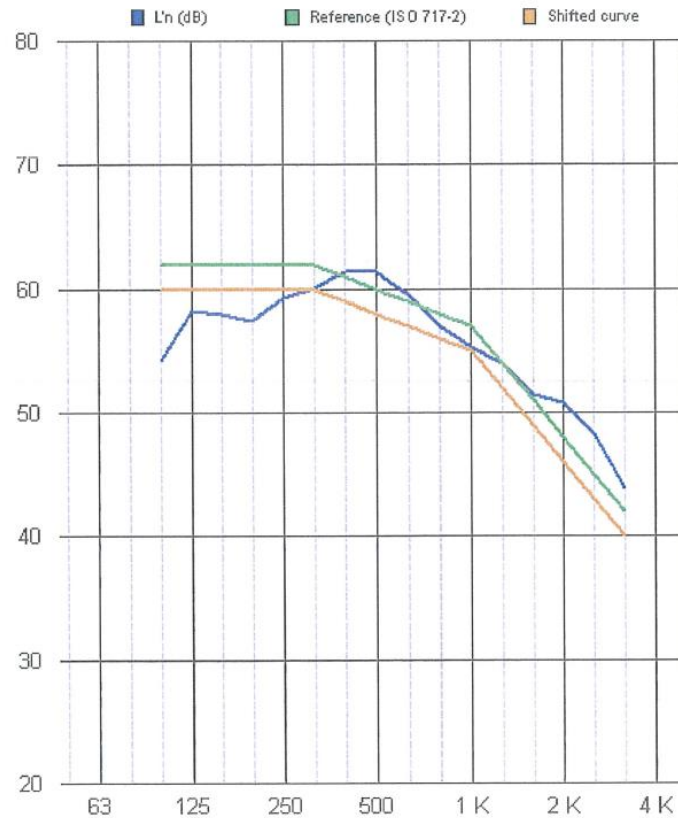
Customer: ACMAR.

Test date: 28/11/12

Description or identification of test building, test set-up and measurement direction:  
 Misura del rumore generato dal calpestio LETTO B5 / LETTO B1

Volume of receiving room (m<sup>3</sup>): 39,7

Frequency f <sub>i</sub> (Hz)	L'n (third octave), dB
100	54,2
125	58,2
160	57,9
200	57,5
250	59,3
315	60,1
400	61,4
500	61,4
630	59,5
800	57,1
1000	55,3
1250	54,0
1600	51,4
2000	50,8
2500	48,3
3150	43,9



Estimation of L'n,w (CI) (dB) : 58 (-3) according to ISO 717-2  
 Estimation of field measurement results obtained by an expert method

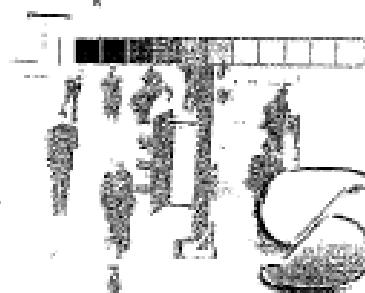
Report No.: 19

Testing agency: sigmambiente sas

Date: 11/04/2013

Signature:

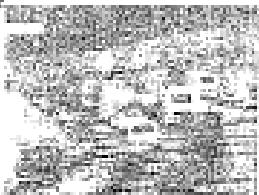
Il grafico sopra rappresentato fornisce, un'altra volta, un'utile comparazione tra i valori misurati in sito, riguardanti l'L'n,w della parete della camera da letto e la trilatera di riferimento opportunamente, poi, traslata, in modo da chiarire l'andamento della spezzata rappresentate i valori misurati in sito. In questo particolare grafico si può notare l'effetto della "desolidarizzazione" del solaio, ossia il fatto che, aggiungendo uno strato assorbente, i valori registrati dal solaio "scendono", seguendo la trilatera di riferimento, anziché procedere in linea pressoché orizzontale, come succederebbe in caso di un solaio "nudo". In generale si può notare un buon adattamento alla trilatera di riferimento, opportunamente traslata.



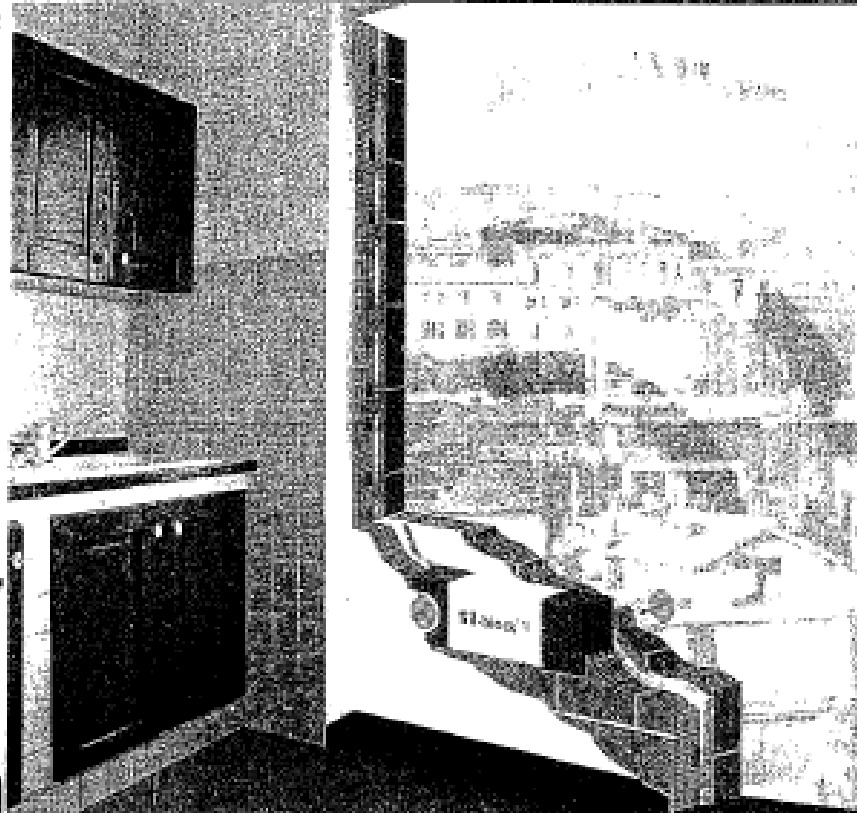
# Sil-block®

SILENZIATORE PER FORI DI VENTILAZIONE NEGLI EDIFICI

[www.sil-block.it](http://www.sil-block.it)



Contro ogni tipo di rumore



Sil-block® è un silenziatore progettato per consentire il ricambio d'aria attraverso i fori di ventilazione presenti nelle facciate degli edifici, impedendo la trasmissione del rumore.

Dalle prestazioni uniche,  
un valore di isolamento acustico da primato:

**$D_{n,e,w} = 51 \text{ dB}$**

# Pannello SUPERWALL VV

## Descrizione

Pannello autoportante di grandi dimensioni in lana di vetro non idrofilo trattato con speciale legante a base di resine termoindurenti, rivestito su entrambi le facce con un velo di vetro.

Prodotto isolante conforme alla Direttiva 89/106/CE, recepita dal DPR 246 del 21/4/1993, in base alle norme EN 13 162 e EN 13 172.

## Impieghi prevalenti

Isolamento termico ed acustico di intercapedini divisorie in edilizia

Conduttività termica  $\lambda$  dichiarata alla temperatura media **CE**

di 10°C :  $\lambda = 0,033 \text{ W/(m K)}$ .

di 20°C :  $\lambda = 0,034 \text{ W/(m K)}$  (valore teorico).

Resistenza termica R dichiarata alla temperatura media **CE**

di 10°C :

Spessore (mm)	40	50	60
R (m <sup>2</sup> K/W)	1,20	1,50	1,80

## Reazione al fuoco

Pannello Superwall VV classe 0 secondo certificato di prova n. 183633/RF3951 del 24/05/2004 dell'Istituto Giordano Spa.

## Euroclassi **CE**

F (secondo metodo di prova EN 13501-1)  
Classificazione definitiva in corso

## Calore specifico

850 J/kg.K (0,2 kcal/kg.°C).

## Costante di attenuazione acustica (indice di valutazione a 500 Hz)

155 dB/m

## Assorbimento acustico

Coefficiente di assorbimento acustico medio ( $\alpha_w$ ) per lo spessore di 50 mm : 0,80

## Altre caratteristiche

Manufatto traspirante, non idrofilo, elastico, di agevole manipolazione, inodore, imputrescibile, chimicamente inerte, resistente all'insaccamento, inattaccabile dalle muffe. Resistente alle escursioni termiche anche notevoli.

## Dimensioni standard

Pannelli : 1,20 x 2,80 m  
Spessori : 40, 50, 60 mm

CODICE  
STC 75  
REVISIONE  
01

# ISOVER

### Tolleranze dimensionali (UNI 6264-68)



lunghezza :  $\pm 2\%$   
larghezza :  $\pm 1,5\%$   
secondo metodo di prova EN 822  
Spessore: T2 (-5 mm + 15 mm) secondo metodo di prova EN 823

### Resistenza alla trazione parallela alle faccie



Conforme alla norma EN 13162 (secondo metodo di prova EN 1608)

### Squadratura



$\leq 5$  mm/m secondo metodo di prova EN 824

### Planarità



$\leq 6$  mm secondo metodo di prova EN 825

### Stabilità dimensionale



$\leq 1\%$  secondo metodo di prova EN 1604

### Imballo

Spessori (mm)	pannelli per pallet	m <sup>2</sup> per pallet
40	30	100,80
50	24	80,64
60	20	67,20

Per quanto riguarda la marcatura CE, Questo prodotto isolante è conforme alla Direttiva 89/106/CE recepita dal DPR 246 del 21/4/1993 in base alle norme EN 13162 e EN 13172 come da certificato M320 rilasciato da BVQI (accreditamento n°7014).

I dati CE riportati in questa scheda sono quelli richiesti per l'isolamento termico degli edifici dalla norma EN 13162 e comuni a tutte le applicazioni.

Il sistema qualità della Saint-Gobain Isover Italia S.p.A. è certificato secondo ISO 9001:2000.

\* I dati indicati nella presente scheda, ad esclusione di quelli richiesti dalla marcatura CE, non sono tassativi e la Saint-Gobain Isover Italia S.p.A. può, senza particolare segnalazione, modificarli.

\* il valore della resistenza termica a 10°C è conforme a quanto previsto dalla Legge 10/91 - art. 32 e dal DM 2.4.98.

\* L'effettuazione delle forniture è subordinata alle nostre possibilità di produzione.

### Stoccaggio

Il prodotto deve essere maneggiato con cura onde evitare l'accidentale distacco del supporto.

### Prezzo

Al metro quadrato.

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

**ISOVER**

**Saint-Gobain Isover Italia S.p.A.**

20146 Milano - Via Romagnoli, 6

Tel.: +39 02 42 43 267/255/327 • Fax: +39 02 48 95 37 80

**SERVIZIO CLIENTI**

24043 Vidalengo di Caravaggio (BG)

Via Donizetti, 32/34 - Tel. 0363 / 31.82.68 - Fax 0363 / 30.14.48

# SCHEDA TECNICA

**ISOLGOMMA srl** - Acustici, acustici e acustici  
Via dell'Angiolano, 21 - 36020 Albatone (VI)  
Tel: 0444.790791 Fax 0444.790794  
Email: info@isolgomma.it  
Internet: www.isolgomma.it

## G8

GSACERT

ISO 9001

Accredited

No. 035.EU.15

WQC Nr. 99101 EVI

Intestazione DA 1151

SCH 1.13.02

Rev 0 del 10-11-05 - Pag. 1 di 1

### PRODOTTO

Isolgomma tipo G8

### DESCRIZIONE

Isolante acustico in rotolo composto da granuli di gomma EPDM, ancorati a caldo con lattice carbossilato ad un supporto in polipropilene idrorepellente, antistrappo

### CAMPO D'IMPIEGO

- Isolamento acustico anticalpestio

### CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE

	VALORE
• Spessore nominale:	8 mm
• Lunghezza:	5 m $\pm$ 1%
• Larghezza:	1 m $\pm$ 1%
• Densità relativa (al netto del supporto):	370 kg/m <sup>3</sup> $\pm$ 10%
• Grammatura supporto:	0,090 kg/m <sup>2</sup>
• Massa superficiale:	3,05 kg/m <sup>2</sup> $\pm$ 10%
• Colorazione:	.grigio

### CARATTERISTICHE TECNICHE

	NORMA/PROVA	VALORE
• Resistenza a trazione longitudinale:	UNI EN 12311	> 160 N/50mm
• Allungamento longitudinale:	UNI EN 12311	65%
• Resistenza a trazione trasversale:	UNI EN 12311	> 90 N/50mm
• Allungamento trasversale:	UNI EN 12311	70%
• Rigidità dinamica:	UNI EN 29052/1	s' = 12 MN/m <sup>3</sup>
• Attenuazione del livello di calpestio: (Rapporto di prova CSI 0104-B/DC/ACU/05 del 18/11/05)	UNI EN ISO 140-6 UNI EN ISO 717-2	$\Delta L_w = 29$ dB
• Spessore a Compressione:	UNI EN 12431-2000	
• Spessore $\Delta d_L$ :	-	0,72 mm
• Spessore $\Delta d_F$ :	-	1,80 mm
• Spessore $\Delta d_S$ :	-	2,21 mm

### PROPRIETÀ FISICO-CHIMICHE

	NORMA/PROVA	VALORE
• Resistenza al flusso:	UNI EN 29053	$\geq 100$ kPa·s/m <sup>2</sup>
• Resistenza alle temperature:		- 20° + + 80°C
• Coefficiente di conducibilità termica:	UNI 7745	0,113 W/m°C
• Comportamento al fuoco:	D.M. del 26/06/84	CLASSE 3
• Chimicamente neutrale		

### STOCCAGGIO E IMBALLO

- Superficie dei rotoli per paletta: 200 m<sup>2</sup>
- Dimensioni paletta in legno: 1,05 m x 1,05 m
- Rotoli per paletta: 40

L'imballaggio delle palette è realizzato con l'avvolgimento di un film in polietilene. Si consiglia lo stoccaggio al coperto, protetto dalle precipitazioni.

### MODALITÀ D'USO

I rotoli devono essere posati accostati su tutta la superficie del solaio con i granuli di gomma rivolti verso il basso e sormontati tra di loro di almeno 4 cm (cimosa laterale).

Deve essere mantenuta la continuità del materiale sulle pareti, oltre il pavimento finito, creando una fascia perimetrale di contenimento del massetto e della pavimentazione.

### PRECAUZIONI E SICUREZZA

Il prodotto non è una sostanza o un preparato pericoloso e pertanto non è soggetto agli obblighi fissati dalla direttiva 67/648/CEE.

Il composto non contiene sostanze dannose come formaldeide, fluoro carburi, mercurio o similari e allo stato normale non emette fumi tossici.



### SEZIONE FISICA TECNICA SETTORE ACUSTICA

Prot. n. 1193B/07

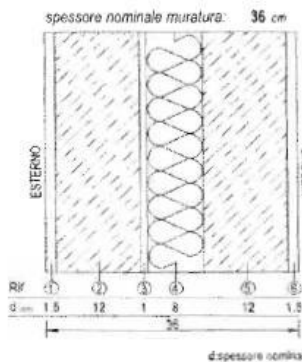
Verbale di accettazione n. 291B/07 del 13/09/07

Levalta di Curtalone, 26/09/07

#### INDICE DI VALUTAZIONE DEL POTERE FONOISOLANTE: partizioni verticali opache RAPPORTO DI CALCOLO

**Dati dichiarati dal committente**

**RICHIEDENTE:** TOPPETTI 2 s.a.  
**INDIRIZZO:** Via A. Cannobbio, 34 - 37132 Verona - (VR)  
**OGGETTO:** Determinazione analitica dell'indice di valutazione del potere fonoisolante di una partizione verticale opaca avente stratigrafia come indicato nel disegno sottostante.



ref.	elemento costruttivo	d cm	$\rho$ Kg/m <sup>3</sup>
1	Intonaco di calce o cemento e sabbia	1,5	1800,0
2*	Parete in ECOPOR 12x25x25 (giunto verticale e orizzontale continuo sp=8mm)	12,0	810,4
3	Rinzaffo in malta di calce o cemento e sabbia	1,0	1800,0
4	Pannello isolante in lana di roccia	8,0	40,0
5*	Parete in ECOPOR 12x25x25 (giunto verticale e orizzontale continuo sp=8mm)	12,0	810,4
6	Intonaco di calce o cemento e sabbia	1,5	1800,0

d: spessore nominale  $\rho$ : massa volumica \* la massa volumica è al netto dei giunti di malta

**Risultati**

INDICE DI VALUTAZIONE DEL POTERE FONOISOLANTE $R_w$		57 dB	
Valori minimi prescritti dal D.P.C.M. 5/12/97 "Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici"			
	$R_w$	$D_{20,25,w}$	
Categoria A	Edifici adibiti a residenza o assimilabili	50 dB	40 dB
Categoria B	Edifici adibiti ad uffici o assimilabili	50 dB	42 dB
Categoria C	Edifici adibiti ad alberghi, pensioni ed attività assimilabili	50 dB	40 dB
Categoria D	Edifici adibiti ad ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili	56 dB	45 dB
Categoria E	Edifici adibiti ad attività scolastica a tutti i livelli e assimilabili	50 dB	48 dB
Categoria F	Edifici adibiti ad attività ricreative o di culto o assimilabili	50 dB	42 dB
Categoria G	Edifici adibiti ad attività commerciali o assimilabili	50 dB	42 dB

**Note**

Il metodo di calcolo utilizzato per la determinazione di  $R_w$  è conforme alle norme UNI EN 12354-1:2002 "Acustica in edilizia - Valutazione delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti isolanti del rumore per via aerea tra ambienti" e UNI/TR 11175:2005 "Acustica in edilizia. Guida alle norme UNI 12354 per la previsione delle prestazioni acustiche degli edifici. Applicazione alle tipologie costruttive nazionali". Sono state utilizzate relazioni generali in funzione della massa frontale della struttura e di altri parametri quali lo spessore dell'intercapedine d'aria fra le murature, la presenza, la tipologia e lo spessore di materiali fonoassorbenti o fonoimpedenti all'interno dell'intercapedine.

L'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente  $R'_{w,app}$  i cui valori limite sono riportati nel D.P.C.M. 5/12/97 "Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici", differisce dall'indice di valutazione del potere fonoisolante  $R_w$  valore simulato, in quanto, oltre a considerare l'attenuazione prodotta dalla trasmissione diretta attraverso la partizione (parete e soletta), tiene anche conto delle componenti di trasmissione del rumore attraverso la struttura laterale. Esse dipendono dalle caratteristiche costruttive dagli elementi laterali o dalle modalità di esecuzione seguite per la loro messa in opera.

L'indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverberazione  $D_{20,25,w}$  i cui valori limite sono riportati nel D.P.C.M. 5/12/97 "Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici", si riferisce alla tipologia delle superficie esterna di un ambiente composto da diversi elementi come per esempio una parete, una finestra, una porta, e un sistema di aereazione.

Il presente rapporto non è riproducibile, neppure parzialmente, senza autorizzazione scritta del Laboratorio. Gli esiti in esso contenuti si riferiscono a materiali, condizioni ed ambiente come specificato nel presente rapporto.

Il Tecnico di Laboratorio  
dott. Ing. Riccardo Oldani

Il Direttore del Laboratorio  
dott. Ing. Giuliano Ferrari



Livello di pressione sonora da impatto normalizzato in conformità a ISO 140-7

Misure in sito dell'isolamento acustico del rumore da impatto di pavimenti

Cilente: ACMAR

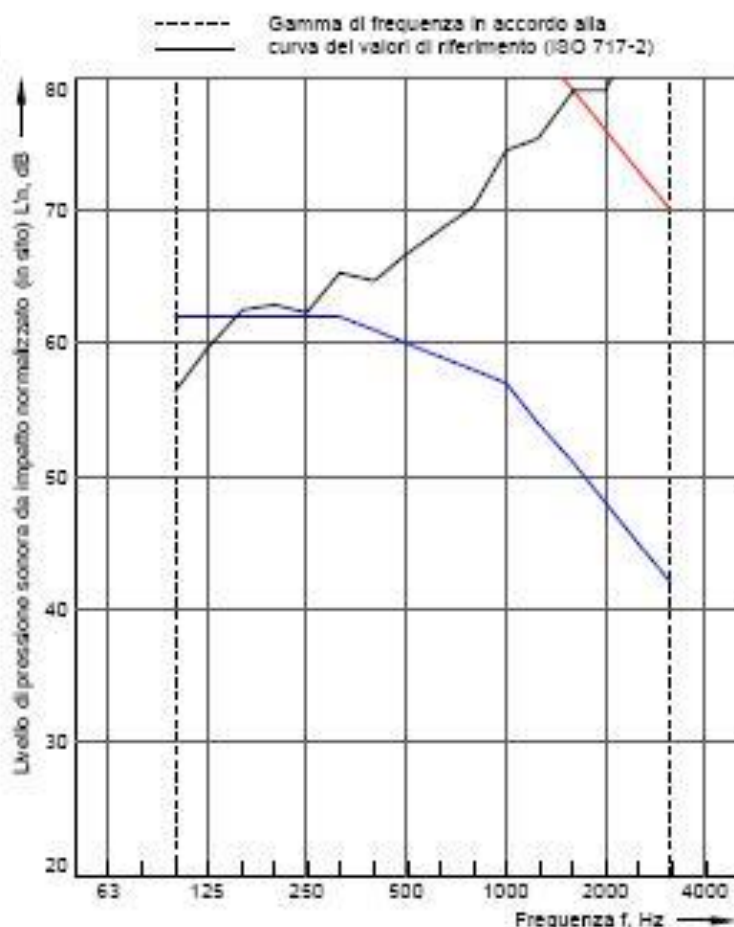
Data del collaudo: 17/11/2011

Descrizione ed identificazione del tipo di costruzione e disposizione del collaudo:

COLLAUDO ESEGUITO A STRUTTURE GREZZE

Volume ambiente ricevente: 28,30 m<sup>3</sup>

Frequenza f Hz	L'n 1/3 ottava dB
50	
63	
80	
100	55,4
125	59,6
160	62,5
200	62,9
250	62,3
315	65,3
400	64,7
500	66,7
630	68,5
800	70,3
1000	74,5
1250	75,4
1600	79,0
2000	79,0
2500	84,1
3150	84,5
4000	
5000	



Rating in conformità a ISO 717-2

$L'_{nW} (C_1) = 88 (-16) \text{ dB}$

$C_{(80-2500)} = \text{N/A dB}$

Valutazione basata sui risultati di misura in sito ottenuti in bande di un terzo d'ottava tramite un metodo tecnico

Nr. di report di collaudo: 01

Nome dell'istituto di collaudo:

Data: 07/12/2011

Firma: arch. Davide Biagiotti

**Indice di riduzione sonora apparente in conformità a ISO 140-4**  
**Misure in sito dell'isolamento acustico del rumore per via aerea tra ambienti**

Cliente:

Data del collaudo: 17/11/2011

Descrizione ed identificazione del tipo di costruzione e disposizione del collaudo, direzione della misura:

COLLAUDO ESEGUITO A STRUTTURE GREZZE

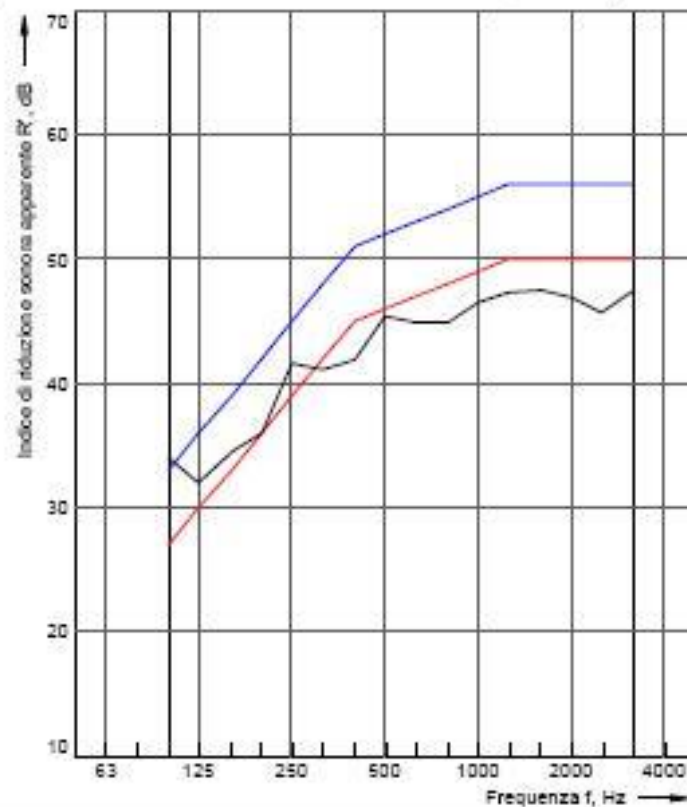
Area S dell'elemento di separazione: 9,20 m<sup>2</sup>

Volume ambiente emittente: 24,70 m<sup>3</sup>

Volume ambiente ricevente: 25,50 m<sup>3</sup>

— Gamma di frequenza in accordo alla  
 — curva dei valori di riferimento (ISO 717-1)

Frequenza f Hz	R' 1/3 ottava dB
50 63 80	
100 125 160	34,0 32,0 34,5
200 250 315	36,0 41,6 41,1
400 500 630	41,9 45,4 44,9
800 1000 1250	44,9 46,5 47,3
1600 2000 2500	47,5 46,9 46,7
3150 4000 5000	47,4



Rating in conformità a ISO 717-1

$R'_w (C; C_{125}) = 46 (-1; -3) \text{ dB}$

$C_{50-3150} = \text{N/AdB}$

$C_{50-5000} = \text{N/AdB}$

$C_{100-5000} = \text{N/AdB}$

Valutazione basata sui risultati di misura  
 in sito ottenuti in bande di un terzo  
 d'ottava tramite un metodo tecnico

$C_{9,50-3150} = \text{N/AdB}$

$C_{12,50-5000} = \text{N/AdB}$

$C_{12,100-5000} = \text{N/AdB}$

Nr. di report di collaudo: 02

Nome dell'istituto di collaudo:

Data: 07/12/2011

Firma: arch. Davide Biagiotti



### Strumentazione impiegata

I rilievi sono stati effettuati con la strumentazione, rispondente alle specifiche previste dalle Norme EN 60651/1994 e EN 60804/1994 per gli strumenti di classe 1, di seguito descritta:

- Fonometro di marca 01db stell-metravib modello SOLO , n° seriale 11085;
- Strumento di taratura marca 01db stell-metravib modello Cal 21 , n° seriale 51031090;
- Microfono 01db stell-metravib modello mce 212 n° seriale 43848;
- Cavalletto Manfrotto 141RC;
- Sorgente sonora 01 dB Metravib OMNI 12;

La calibrazione effettuata prima e dopo le misure non ha dato scostamenti maggiori di 0,1 dB rispetto al segnale di riferimento di 94 dB a 1000 Hz.

### Risultati dei test

In allegato i report dei test; i livelli di prestazione rilevati risultano essere i seguenti:

**L'n,w (livello normalizzato di calpestio) = 88 dB**

**R',w (potere fonoisolante) = 46 dB**

### Commento ai risultati

I risultati risultano in linea alle aspettative derivanti dal calcolo in fase di progetto dei requisiti acustici passivi.

In allegato, sopra, si trovano brevi estratti di documenti fornitomi dall'Acmar di Ravenna riguardo l'effettiva strumentazione utilizzata nelle prove su solaio grezzo ed un commento della ditta riguardo i risultati ottenuti.