



# Linee Guida per la redazione del Progetto Acustico

Arpa Umbria

Agosto 2009



Indice

**Linea Guida per la redazione del Progetto Acustico.....3**

**Contenuti del Progetto Acustico.....7**

**Esempio di calcolo .....8**

**Calcolo dell'indice di valutazione del potere fono isolante apparente tra due locali  
    adiacenti .....15**

**Calcolo dell'indice di valutazione del livello di rumore di calpestio normalizzato..... 23**

**Calcolo dell'indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata..... 27**

**Calcolo dell'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente di facciata.....29**

**Calcolo dell'indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata.....29**

**ALLEGATI .....31**

Gruppo di Lavoro

Redazione

Ing. Stefano Ortica

Contributi

Commissione Acustica  
dell'Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Perugia

Ing. Cinzia Tosti

## Linea Guida per la redazione del Progetto Acustico

La Legge Quadro n. 447/1995 stabilisce, tra le competenze dello Stato (art. 3), di determinare, con decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri, i requisiti acustici passivi delle sorgenti sonore e dei requisiti acustici passivi degli edifici e dei loro componenti (art. 3 comma e) e di indicare, con decreto del Ministro dei Lavori Pubblici, i criteri per la progettazione, l'esecuzione e la ristrutturazione delle costruzioni edilizie (art. 3 comma f).

Con l'emanazione del DPCM 5/12/1997 sono stati definiti i requisiti acustici delle sorgenti sonore all'interno degli edifici e i requisiti di fonoisolamento che i componenti di un edificio (facciate, partizioni interne, solai, coperture) devono necessariamente avere, dando seguito all'art. 3 comma e) della Legge Quadro n. 447/1995.

Ad oggi non è stato ancora emanato il decreto inerente le modalità per la progettazione acustica degli edifici, come invece prevede l'art. 3 comma f) della Legge Quadro n. 447/1995. Questa lacuna normativa potrebbe formalmente ostacolare la corretta progettazione acustica degli edifici.

E' tuttavia possibile progettare correttamente un edificio e valutare in via previsionale i relativi requisiti acustici passivi applicando una serie di norme tecniche contenenti degli specifici metodi di calcolo. In letteratura infatti sono numerosi e facilmente reperibili manuali e codici di calcolo che aiutano il progettista acustico alla corretta applicazione di queste norme tecniche.

Si riporta di seguito l'elenco di tali norme tecniche, da tenere in considerazione durante la redazione del progetto acustico:

1. UNI – EN 12354 – 1 (novembre 2002): “Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti – Isolamento dal rumore per via aerea tra ambienti”;
2. UNI – EN 12354 – 2 (novembre 2002): “Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti – Isolamento acustico al calpestio tra ambienti”;
3. UNI – EN 12354 – 3 (novembre 2002): “Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti – Isolamento acustico contro il rumore proveniente dall'esterno per via aerea”;

4. UNI – TR 11175 (novembre 2005) “Guida alle norme serie UNI EN 12354 per la previsione delle prestazioni acustiche degli edifici – Applicazione alla tipologia costruttiva nazionale”.

I metodi sopra riportati contengono dei modelli previsionali la cui accuratezza dei risultati dipende dai dati immessi; questi sono generalmente ottenuti da misure eseguite in laboratorio, in opera o da estrapolazioni matematiche su modelli sperimentali.

Il modello di calcolo consente la previsione delle prestazioni misurabili degli edifici nell'ipotesi di esecuzione a regola d'arte.

La redazione del progetto acustico è obbligatoria e costituisce parte integrante della documentazione tecnica da produrre ai fini del rilascio della concessione edilizia (Art. 16 Regolamento Regionale n.1/2004). Occorre presentare il progetto acustico nel caso di **nuove costruzioni** ed **interventi di ristrutturazione urbanistica**, fatto salvo quanto specificamente riportato nei regolamenti comunali allegati ai relativi piani di zonizzazione acustica comunali.

Il progetto acustico deve essere redatto per gli **edifici** specificatamente indicati nella tabella A del DPCM 5/12/1997. Tale tabella è di seguito riportata:

**Tabella 1: Categorie degli edifici secondo il DPCM 5/12/1997**

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

Nella tabella 1 non sono compresi gli edifici destinati ad uso industriale/artigianale o comunque edifici all'interno dei quali vi si possano svolgere delle attività produttive, manifatturiere o assimilabili. Pertanto all'atto della richiesta del permesso a costruire di **capannoni ad uso industriale/artigianale non occorre presentare il progetto acustico**. In questi casi il progetto acustico potrà essere richiesto per la porzione di capannone eventualmente destinata ad uso uffici o comunque ad usi già considerati nella tabella 1.

In merito agli interventi di *ristrutturazione urbanistica*, per i quali occorre il progetto acustico, si richiama la definizione di ristrutturazione urbanistica secondo l'art. 31 della legge 5 agosto 1978 n. 457 alla quale rimanda il Regolamento Regionale n.1/2004.

**Art. 31. Definizione degli interventi**

e) interventi di ristrutturazione urbanistica, quelli rivolti a **sostituire l'esistente tessuto urbanistico** edilizio con altro diverso, **mediante** un insieme sistematico di **interventi edilizi** anche con la **modificazione del disegno dei lotti, degli isolati e della rete stradale**.

Si sottolinea che **solo per gli interventi di ristrutturazione urbanistica è obbligatoria la redazione del progetto acustico**; per tutti gli altri tipi di ristrutturazione NON è richiesto il progetto acustico.

Per maggior chiarezza si elencano gli altri tipi di ristrutturazione, ai sensi dell'art. 31 della legge 5 agosto 1978 n. 457, per i quali NON è necessario il progetto acustico.

### **Art. 31. Definizione degli interventi**

a) interventi di manutenzione ordinaria, quelli che riguardano le opere di riparazione, rinnovamento e sostituzione delle finiture degli edifici e quelle necessarie ad integrare o mantenere in efficienza gli impianti tecnologici esistenti;

b) interventi di manutenzione straordinaria, le opere e le modifiche necessarie per rinnovare e sostituire parti anche strutturali degli edifici, nonché per realizzare ed integrare i servizi igienico-sanitari e tecnologici, sempre che non alterino i volumi e le superfici delle singole unità immobiliari e non comportino modifiche delle destinazioni di uso;

c) interventi di restauro e di risanamento conservativo, quelli rivolti a conservare l'organismo edilizio e ad assicurarne la funzionalità mediante un insieme sistematico di opere che, nel rispetto degli elementi tipologici, formali e strutturali dell'organismo stesso, ne consentano destinazioni d'uso con essi compatibili. Tali interventi comprendono il consolidamento, il ripristino e il rinnovo degli elementi costitutivi dell'edificio, l'inserimento degli elementi accessori e degli impianti richiesti dalle esigenze dell'uso, l'eliminazione degli elementi estranei all'organismo edilizio;

d) interventi di ristrutturazione edilizia, quelli rivolti a trasformare gli organismi edilizi mediante un insieme sistematico di opere che possono portare ad un organismo edilizio in tutto o in parte diverso dal precedente. Tali interventi comprendono il ripristino o la sostituzione di alcuni elementi costitutivi dell'edificio, la eliminazione, la modifica e l'inserimento di nuovi elementi ed impianti;

In merito al contenuto del progetto acustico il Regolamento Regionale 1/2004 stabilisce che esso deve definire le caratteristiche costruttive del fabbricato specificando i requisiti geometrici e fisici delle componenti edilizie, dei materiali e degli impianti tecnologici ai fini del soddisfacimento dei valori limite stabiliti dal DPCM 5/12/1997.

Il Regolamento Regionale n.1/2004 tuttavia non fa alcun riferimento alle metodologie di calcolo previsionale per la stima dei requisiti acustici passivi in fase progettuale.

Questo documento vuole indicare il corretto approccio metodologico nella redazione del progetto acustico. Esso costituisce una Linea Guida che definisce i contenuti e la forma di presentazione del progetto acustico alla luce della normativa tecnica di riferimento citata.

**Obiettivo della Linea Guida è la definizione di uno standard per la redazione del progetto acustico cui tutti i progettisti coinvolti devono uniformarsi.**

## Contenuti del Progetto Acustico

La documentazione del Progetto Acustico deve essere composta da:

1. **Relazione Tecnica e di Calcolo** che dimostra il rispetto delle norme **UNI EN 12354**, nonché degli obiettivi di qualità acustica richiesti eventualmente dalla committenza, in aggiunta ai requisiti minimi definiti dal DPCM 5/12/1997. Il tecnico progettista dovrà verificare tutti i locali dell'edificio; le conclusioni analitiche dovranno evidenziare in maniera chiara ed inequivocabile che, seguendo le indicazioni progettuali, saranno verificati i valori dei requisiti acustici passivi in tutti i locali dell'edificio;
2. **Elaborati grafici e tabellari** costituiti da **planimetrie, sezioni, dettagli tipologici, particolari costruttivi**, in appropriato formato e scala di rappresentazione, che evidenzino gli interventi previsti ai fini del rispetto della normativa e degli eventuali criteri di qualità definiti dal committente. Gli allegati grafici devono far riferimento a tabelle, contenenti descrizione, peso e spessori della muratura. In particolare dovranno essere prodotti i seguenti elaborati grafici che descrivano:
  - Tipologia delle partizioni verticali, di separazione e di facciata (fac simile 1 in ALLEGATI);
  - Tipologia delle partizioni orizzontali (solai e coperture) (fac simile 2 in ALLEGATI);
  - Piante e sezioni dell'edificio con riferimento alle tipologie delle partizioni verticali, orizzontali e dei serramenti (fac simile 3 e 4 in ALLEGATI);
  - Schema dell'impianto di scarico (fac simile 5 in ALLEGATI).
3. **Relazione Tecnico Descrittiva** delle opere acustiche nella quale sono indicate le modalità di esecuzione, gli standard normativi e/o gli obiettivi qualitativi richiesti. Saranno incluse le norme tecniche e di prodotto, a cui dovranno sottostare i materiali adottati dall'appaltatore, nonché la esplicita richiesta di certificati di laboratorio attestanti le prestazioni richieste; la Relazione Tecnico Descrittiva conterrà anche le specifiche e le schede tecniche di silenziatori, materiali fonoassorbenti, materiali fonoisolanti, prodotti antivibranti per macchinari ed impianti, materiali edili, prodotti resilienti vari e prodotti per la riduzione del rumore di calpestio.

## Esempio di calcolo

In questo paragrafo è presentato un esempio di calcolo previsionale dell'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente  $R'_w$  nel rispetto delle norme UNI EN 12354.

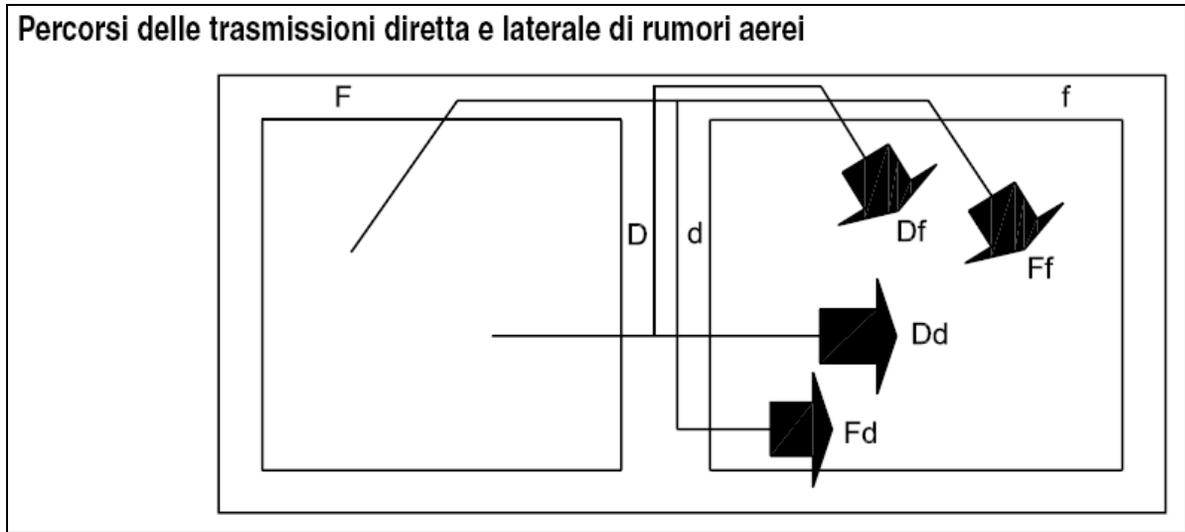
Questo esempio è da prendere come riferimento nella stima previsionale dei requisiti acustici passivi da progettare. Occorre infatti che, nella relazione di calcolo di ciascun elemento preso in considerazione (facciata, partizioni verticali ed orizzontali), i valori di  $R'_w$ ,  $L'_{nw}$ ,  $D_{2m,nT,w}$  siano determinati, tenendo conto delle trasmissioni laterali attraverso i parametri  $R_{ij}$  e  $K_{ij}$  definiti nelle UNI EN 12354.

Si richiamano alcuni cenni teorici da intendersi come introduzione ad una lettura approfondita delle norme UNI EN 12354, ai fini di una corretta progettazione acustica.

Facendo riferimento allo schema di trasmissione, diretta e per fiancheggiamento, tra due ambienti adiacenti, di figura 1, l'indice del potere fono isolante apparente è dato da:

$$R'_w = -10 \lg \left( 10^{\frac{-R_{Dd,w}}{10}} + \sum_{F=f=1}^n 10^{\frac{-R_{Ff,w}}{10}} + \sum_{f=1}^n 10^{\frac{-R_{Df,w}}{10}} + \sum_{F=1}^n 10^{\frac{-R_{Fd,w}}{10}} \right) \text{ (dB)}$$

L'indice di valutazione  $R_{Dd,w}$  è l'indice del potere fonoisolante per trasmissione diretta; gli indici di valutazione  $R_{Ff,w}$ ,  $R_{Df,w}$ ,  $R_{Fd,w}$ , sono gli indici di valutazione del potere fonoisolante per trasmissione laterale di tutti i singoli percorsi diretti ed indiretti possibili fra i due ambienti, dove  $n$  è il numero degli elementi laterali (in genere 4) rispetto all'elemento di separazione.



**Figura 1: Schema dei percorsi delle trasmissioni di rumori aerei per via diretta e per fiancheggiamento tra due ambienti adiacenti.**

Pertanto per determinare  $R'_w$  occorre calcolare l'indice di valutazione del potere fonoisolante per trasmissione laterale,  $R_{ij,w}$ , di ogni singolo percorso di trasmissione sonora; questo può essere fatto con la seguente formula:

$$R_{ij,w} = \frac{R_{i,w} + R_{j,w}}{2} + \Delta R_{ij,w} + K_{ij} + 10 \lg \frac{S_s}{l_0 l_{ij}} \text{ (dB)}$$

Dove:

i simboli (i) e (j) generalizzano i simboli (D), (d), (F) e (f) usati nella precedente espressione;

$R_{i,w}$  è l'indice di valutazione del potere fono isolante della struttura (i), in decibel (dB);

$R_{j,w}$  è l'indice di valutazione del potere fono isolante della struttura (j), in decibel (dB);

$\Delta R_{ij,w}$  è l'incremento dell'indice di valutazione del potere fono isolante dovuto all'apposizione di strati addizionali di rivestimento alle strutture omogenee (i) e (j) lungo il percorso (ij); se lungo il percorso (ij) si trovano due strati addizionali si somma il valore maggiore con la metà del minore ( $\Delta R_{ij,w} = \Delta R_{i,w} + \Delta R_{j,w}/2$  con  $\Delta R_{j,w} < \Delta R_{i,w}$ );

$K_{ij}$  è l'indice di riduzione delle vibrazioni prodotto dal giunto (ij), in decibel (dB);

$S_s$  è l'area dell'elemento di separazione, in metri quadrati ( $m^2$ );

$l_0$  è la lunghezza di riferimento, pari a 1 metro;

$l_{ij}$  è la lunghezza del giunto (ij), in metri (m).

Calcolato così i valori di  $R_{ij,w}$  si può calcolare infine il valore dell'indice di valutazione del potere fono isolante apparente  $R'_w$ .

Sulla base di questo indice ( $R'_w$ ) è possibile determinare altre grandezze pertinenti per la caratterizzazione delle prestazioni acustiche dell'edificio nella trasmissione per via aerea del suono tra ambienti adiacenti. In particolare è possibile determinare l'indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato rispetto al tempo di riverberazione,  $D_{2m,nT,w}$ , mediante la seguente formula:

$$D_{2m,nT,w} = R'_w + \Delta L_{fs} + 10 \lg [V/(6 T_0 S)]$$

$R'_w$  si calcola in funzione delle grandezze pertinenti dei componenti (prodotti) e cioè dei singoli elementi che compongono la parte di facciata corrispondente all'ambiente interno, considerando anche i "piccoli elementi" quali prese d'aria, ventilatori, condotti elettrici. L'apporto energetico dovuto alla trasmissione laterale è considerato globalmente ed espresso dal fattore K.

$$R'_w = -10 \lg \left[ \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{S} \cdot 10^{\frac{-R_{wi}}{10}} + \sum_{i=1}^n \frac{A_0}{S} \cdot 10^{\frac{-D_{n,e,wi}}{10}} \right] - K$$

Dove:

$R_{wi}$  è l'indice di valutazione del potere fonoisolante dell'elemento (i), in decibel (dB);

$S_i$  è l'area dell'elemento (i), in metri quadrati ( $m^2$ );

$S$  è l'area totale della facciata, vista dall'interno (cioè la somma delle aree di tutti gli elementi), in metri quadrati ( $m^2$ );

$D_{ne,wi}$  è l'indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato rispetto all'assorbimento equivalente del "piccolo elemento" (i), in decibel (dB);

$K$  è la correzione relativa al contributo della trasmissione laterale 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 pari a  $10 \text{ m}^2$ .

$\Delta L_{fs}$  è il termine correttivo che tiene conto della forma della facciata.

$V$  è il volume del locale ricevente, in metri cubi ( $\text{m}^3$ );

$T_0$  è il tempo di riverberazione di riferimento per appartamenti, assunto pari a 0,5 secondi.

L'indice di riduzione delle vibrazioni,  $K_{ij}$ , che nel modello si assume indipendente dalla frequenza, esprime la resistenza alla trasmissione delle vibrazioni strutturali da un elemento costruttivo a quello adiacente (complanare o perpendicolare), resistenza che si verifica in corrispondenza del giunto fra gli stessi elementi.

L'indice di riduzione delle vibrazioni,  $K_{ij}$ , può essere calcolato per i più comuni tipi di giunzioni in funzione delle masse per unità di area degli elementi connessi dalla giunzione attraverso relazioni riportate nel prospetto di figura 2 (Appendice E – UNI EN 12354-1).

Il calcolo di  $K_{ij}$  è effettuato in funzione del logaritmo decimale del rapporto  $M$  fra le masse per unità di area delle pareti collegate ad angolo retto fra di loro in corrispondenza del giunto:

$$M = \lg (m'_{\perp i} / m'_i)$$

Dove:

$m'_i$  è la massa per unità di area dell'elemento  $i$  nel percorso  $ij$ , in chilogrammi al metro quadrato ( $\text{kg}/\text{m}^2$ );

$m'_{\perp i}$  è la massa per unità di area dell'altro elemento che costituisce la giunzione perpendicolare all'elemento, in chilogrammi al metro quadrato ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ).

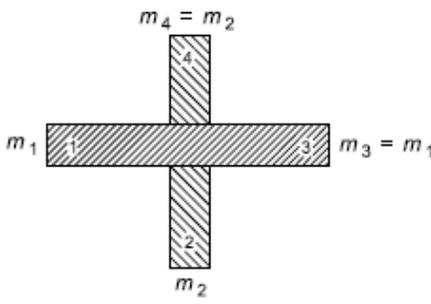
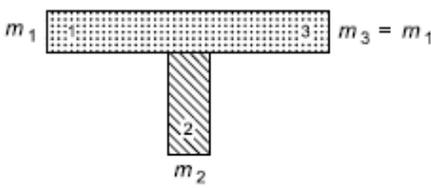
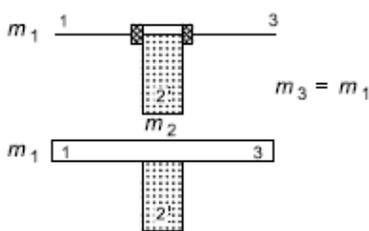
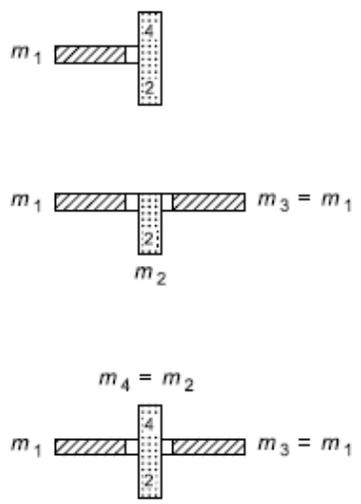
Giunzione	Trasmissione	Valori di $K_{ij}$ dB
a) Rigida a croce 	Diritto Angolo	$K_{13} = 8,7 + 17,1 M + 5,7 M^2$ $K_{12} = 8,7 + 5,7 M^2 (= K_{23})$
b) Rigida a T 	Diritto Angolo	$K_{13} = 5,7 + 14,1 M + 5,7 M^2$ $K_{12} = 5,7 + 5,7 M^2 (= K_{23})$
c) Struttura omogenea e facciata leggera 	Diritto Angolo	$K_{13} = 5 + 10 M$ (minimo 5 dB) $K_{12} = 10 + 10 IMI (= K_{23})$
d) Strutture omogenee con strato flessibile Rapporto $E/d \approx 100 \text{ MN/m}^3$ dove: $E$ è il modulo elastico dello strato flessibile, $d$ è lo spessore dello strato flessibile 	Diritto su pareti con strato flessibile Diritto su parete Omogenea Angolo	$K_{13} = 5,7 + 14,1 M + 5,7 M^2 + 12$ $K_{24} = 3,7 + 14,1 M + 5,7 M^2$ $-4 \leq K_{24} \leq 0$ $K_{12} = 5,7 + 5,7 M^2 + 6 (= K_{23})$

Figura 2: trasmissione caratteristica di giunzione  $K_{ij}$  per i tipi più comuni di giunzione

Giunzione	Trasmissione		Valori di $K_{ij}$ dB
e) Struttura omogenea con angolo o cambio spessore	Angolo		$K_{12} = 15 \text{ IMI} - 3 (=K_{21})$ (minimo -2 dB)
	Cambio spessore		$K_{12} = 5 M^2 - 5 (=K_{21})$
f) Doppia parete leggera e struttura omogenea	Diritto su parete doppia		$K_{13} = 10 + 20 M$ (minimo 10 dB)
	Diritto su parete		$K_{24} = 3 + 14,1 M + 5,7 M^2$ $m'1 / m'2 > 3$
	Omogenea Angolo		$K_{12} = 10 + 10 \text{ IMI} (=K_{23})$
g) Pareti doppie leggere accoppiate	Diritto		$K_{13} = 10 + 20 M$
	Angolo		$K_{12} = 10 + 10 \text{ IMI} (=K_{23})$
Nota Per la trasmissione intorno all'angolo, la scelta di un rapporto di massa o del suo reciproco dà sempre luogo allo stesso valore assoluto $ M  = \left  \lg \frac{m_1}{m_2} \right  = \left  \lg \frac{m_2}{m_1} \right $ e ciò concorda con l'assunto che la trasmissione delle vibrazioni sul giunto per il principio di reciprocità sia la stessa tanto in un senso tanto nell'altro.			

**Figura 2 (segue): trasmissione caratteristica di giunzione  $K_{ij}$  per i tipi più comuni di giunzione**

Il valore dell'indice di riduzione delle vibrazioni,  $K_{ij}$ , in ogni caso deve essere maggiore o almeno uguale ad un valore minimo, in decibel, dato da:

$$K_{ij} \geq 10 \lg \left[ I_{ij} / I_0 \left( \frac{1}{S_i} + \frac{1}{S_j} \right) \right] \text{ (dB)}$$

Dove:

$S_i$  è l'area dell'elemento nell'ambiente emittente, in metri quadrati ( $m^2$ );

$S_j$  è l'area dell'elemento nell'ambiente ricevente, in metri quadrati ( $m^2$ );

$l_0$  è la lunghezza di riferimento, pari a 1 metro;

$l_{ij}$  è la lunghezza del giunto (ij), in metri (m).

Calcolo dell'indice di valutazione del potere fono isolante apparente tra due locali adiacenti

Dati di ingresso per il modello:

- Superficie del divisorio;
- Volume dell'ambiente di emissione e di quello di ricezione;
- $R_w$  degli elementi strutturali;
- $\Delta R_w$  degli strati addizionali;
- $K_{ij}$  dei giunti con gli elementi laterali.

In figura 3 è riportata la pianta e la sezione dei due locali di esempio.

Descrizione degli elementi strutturali e dei loro giunti.

**Struttura A:** Parete perimetrale verticale (parete monostrato)

$$R_{A,w} = 48 \text{ dB}$$

$$\text{Massa per unità di area: } 252 \text{ kg/m}^2$$

**Struttura B:** Partizione interna verticale (parete monostrato)

$$R_{B,w} = 48 \text{ dB}$$

$$\text{Massa per unità di area: } 185 \text{ kg/m}^2$$

**Struttura C:** Parete perimetrale verticale (parete monostrato)

$$R_{C,w} = 41 \text{ dB}$$

$$\text{Massa per unità di area: } 100 \text{ kg/m}^2$$

**Struttura D:** Solaio interpiano (solaio in laterocemento, spessore 20 cm intonacato)

$$R_{D,w} = 46 \text{ dB}$$

$$\text{Massa per unità di area: } 261 \text{ kg/m}^2$$

**Struttura E:** Pavimento galleggiante (massetto a base cementizia e strato di rivestimento in piastrelle di ceramica su strato resiliente):

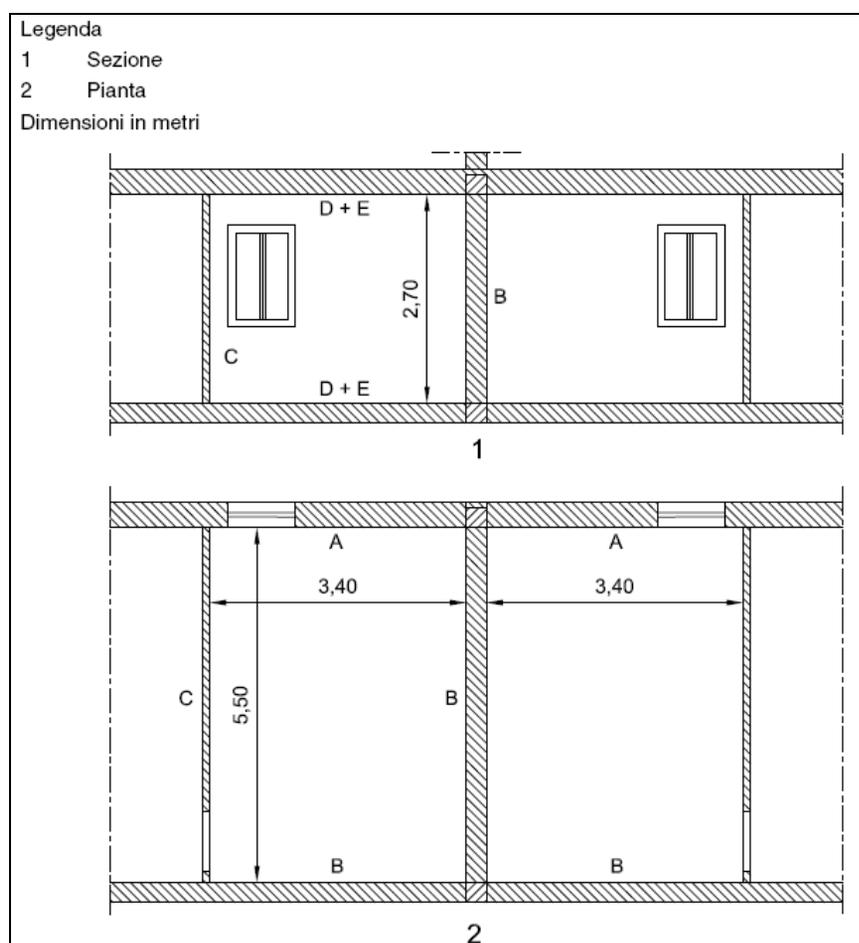
massa per unità d'area del massetto e del pavimento:  $126 \text{ kg/m}^2$ ;

rigidità dinamica dello strato isolante:  $s' = 30 \text{ MN/m}^3$

**Giunti tra gli elementi strutturali:** giunti rigidi a T e a croce (non sono presenti strati intermedi flessibili).

Volume dell'ambiente ricevente = volume dell'ambiente emittente:  $50,5 \text{ m}^3$ .

Superficie dell'elemento divisorio =  $14,9 \text{ m}^2$ .



**Figura 3: Sezione (1) e Pianta (2) dei due locali adiacenti di esempio.**

**Calcolo dell'incremento,  $\Delta R_w$ , dovuto alla presenza del pavimento galleggiante.**

$$\Delta R_w = f(f_0)$$

$f_0$  è la frequenza di risonanza espressa da:

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

Dove:

$s'$  è il valore della rigidità dinamica dello strato resiliente posto tra il solaio ed il massetto;

$m'_1$  è la massa superficiale del solaio

$m'_2$  è la massa superficiale del massetto posato sopra lo strato resiliente di rigidità dinamica  $s'$ .

In funzione di  $f_0$  il valore di  $\Delta R_w$  si ricava dalla seguente tabella:

**Incremento dell'indice di valutazione del potere fonoisolante,  $\Delta R_w$ , per strato addizionale**

Frequenza di risonanza $f_0$	$\Delta R_w$ 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
$500 < f_0 \leq 1\ 600$	-10
$f_0 > 1\ 600$	-5

Nota Il valore di  $R_w$  è relativo alla struttura di base (parete o solaio) nuda.

Dai dati di progetto si deduce che:

strato base (solaio laterocemento):  $m'_1 = 261 \text{ kg/m}^2$

$R_w$  del solaio in laterocemento (struttura D): 46 dB

strato di rivestimento (massetto):  $m'_2 = 126 \text{ kg/m}^2$

$s' = 30 \text{ MN/m}^3$

$$f_0 = 160 \sqrt[4]{s' \left( \frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} \text{ (Hz)}$$

$f_0 = 95 \text{ Hz}$

Essendo  $80 < f_0 < 125$

$\Delta R_w = 32 - R_w/2 = 32 - 46/2 = \mathbf{9 \text{ dB}}$

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

Per tutti i percorsi laterali si considera la presenza di nodi rigidi a T oppure a croce, a seconda dei casi (figura 3). I valori di  $K_{\min}$  sono stati calcolati secondo la:

$$K_{ij} \geq 10 \lg \left[ I_{ij} / I_0 \left( \frac{1}{S_i} + \frac{1}{S_j} \right) \right] \text{ (dB)}$$

<p><b>Percorso s - 5 (nodo rigido a T)</b></p> $M = \lg (185/252) = -0,13$ $K_{s5} = 5,7 + 5,7 M^2 = 5,8$ $K_{\min} = -3,2$	<p><b>Percorso 3 - s (nodo rigido a T)</b></p> $M = \lg (185/185) = 0$ $K_{3s} = 5,7 + 5,7 M^2 = 5,7$ $K_{\min} = -3,2$
<p><b>Percorso s - 6 (nodo rigido a croce)</b></p> $M = \lg (185/261) = -0,15$ $K_{s6} = 8,7 + 5,7 M^2 = 8,8$ $K_{\min} = -1,8$	<p><b>Percorso 4 - s (nodo rigido a T)</b></p> $M = \lg (261/185) = 0,15$ $K_{4s} = 5,7 + 5,7 M^2 = 5,8$ $K_{\min} = -1,8$
<p><b>Percorso s - 7 (nodo rigido a T)</b></p> $M = \lg (185/185) = 0$ $K_{s7} = 5,7 + 5,7 M^2 = 5,7$ $K_{\min} = -3,2$	<p><b>Percorso 1 - 5 (nodo rigido a T)</b></p> $M = \lg (185/252) = -0,13$ $K_{15} = 5,7 + 14,1 M + 5,7 M^2 = 3,9$ $K_{\min} = -2,3$
<p><b>Percorso s - 8 (nodo rigido a T)</b></p> $M = \lg (185/261) = -0,15$ $K_{s8} = 5,7 + 5,7 M^2 = 5,8$ $K_{\min} = -1,8$	<p><b>Percorso 2 - 6 (nodo rigido a croce)</b></p> $M = \lg (185/261) = -0,15$ $K_{26} = 8,7 + 17,1 M + 5,7 M^2 = 6,3$ $K_{\min} = -2,3$
<p><b>Percorso 1 - s (nodo rigido a T)</b></p> $M = \lg (252/185) = 0,13$ $K_{1s} = 5,7 + 5,7 M^2 = 5,8$ $K_{\min} = -3,2$	<p><b>Percorso 3 - 7 (nodo rigido a T)</b></p> $M = \lg (185/185) = 0$ $K_{37} = 5,7 + 14,1 M + 5,7 M^2 = 5,7$ $K_{\min} = -2,3$
<p><b>Percorso 2 - s (nodo rigido a croce)</b></p> $M = \lg (261/185) = 0,15$ $K_{2s} = 8,7 + 5,7 M^2 = 8,8$ $K_{\min} = -1,8$	<p><b>Percorso 4 - 8 (nodo rigido a T)</b></p> $M = \lg (185/261) = -0,15$ $K_{48} = 5,7 + 14,1 M + 5,7 M^2 = 3,7$ $K_{\min} = -2,3$

**Calcolo degli indici di valutazione del potere fonoisolante relativi a tutti i percorsi di trasmissione acustica**

Applicando la

$$R_{ij,w} = \frac{R_{i,w} + R_{j,w}}{2} + \Delta R_{ij,w} + K_{ij} + 10 \lg \frac{S_s}{I_0 I_{ij}} \text{ (dB)}$$

con riferimento alla figura 3 si calcolano i seguenti indici:

$$R_{d,w} = R_{1,w} = 48$$

$$R_{s-5,w} = (48 + 48)/2 + 0 + 5,8 + 10 \lg (14,85/2,7) = 61,2$$

$$R_{s-6,w} = (48 + 46)/2 + 0 + 8,8 + 10 \lg (14,85/5,5) = 60,1$$

$$R_{s-7,w} = (48 + 48)/2 + 0 + 5,7 + 10 \lg (14,85/2,7) = 61,1$$

$$R_{s-8,w} = (48 + 46)/2 + 9 + 5,8 + 10 \lg (14,85/5,5) = 66,1$$

$$R_{1-s,w} = (48 + 48)/2 + 0 + 5,8 + 10 \lg (14,85/2,7) = 61,2$$

$$R_{2-s,w} = (46 + 48)/2 + 0 + 8,8 + 10 \lg (14,85/5,5) = 60,1$$

$$R_{3-s,w} = (48 + 48)/2 + 0 + 5,7 + 10 \lg (14,85/2,7) = 61,1$$

$$R_{4-s,w} = (48 + 46)/2 + 9 + 5,8 + 10 \lg (14,85/5,5) = 66,1$$

$$R_{1-5,w} = (48 + 48)/2 + 0 + 3,9 + 10 \lg (14,85/2,7) = 59,3$$

$$R_{2-6,w} = (46 + 46)/2 + 0 + 6,3 + 10 \lg (14,85/5,5) = 56,6$$

$$R_{3-7,w} = (48 + 48)/2 + 0 + 5,7 + 10 \lg (14,85/2,7) = 61,1$$

$$R_{4-8,w} = (46 + 46)/2 + (9 + 9/2) + 3,7 + 10 \lg (14,85/5,5) = 67,5$$

I valori di  $K_{ij}$  sono specificatamente riportati nella seguente tabella:

**Indici di riduzione delle vibrazioni e indice di valutazione del potere fonoisolante relativi a tutti i percorsi di trasmissione acustica**

Percorso	$K_i$	$R_i$
s-5	5,8	61,2
s-6	8,8	60,1
s-7	5,7	61,1
s-8	5,8	66,1
1-s	5,8	61,2
2-s	8,8	60,1
3-s	5,7	61,1
4-s	5,8	66,6
1-5	3,9	59,3
2-6	6,3	56,6
3-7	5,7	61,1
4-8	3,7	67,5

Applicando la

$$R'_w = -10 \lg \left( 10^{\frac{-R_{Dd,w}}{10}} + \sum_{F=f=1}^n 10^{\frac{-R_{Ff,w}}{10}} + \sum_{f=1}^n 10^{\frac{-R_{Df,w}}{10}} + \sum_{F=1}^n 10^{\frac{-R_{Fd,w}}{10}} \right) \text{ (dB)}$$

si calcola il valore dell'indice del potere fonoisolante apparente,  $R'_w$ , pari a: **45,9 dB**.

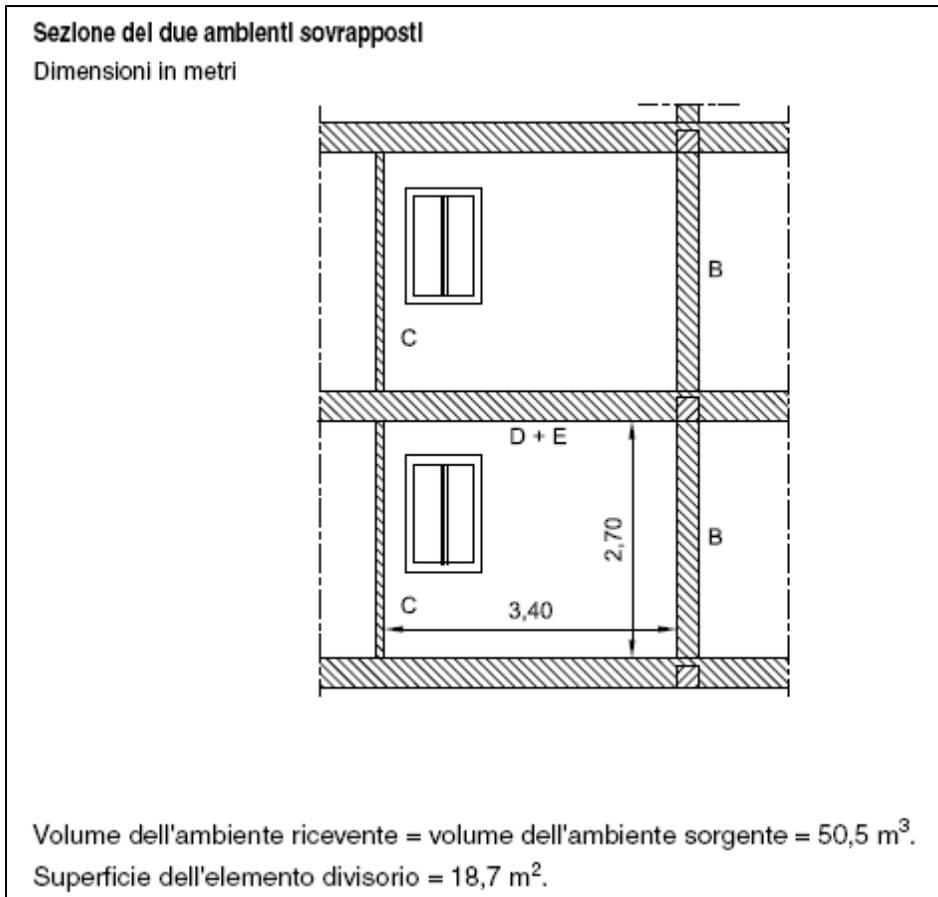
Tale valore rappresenta il **valore da confrontare** con i **limiti** stabiliti dal **DPCM 5/12/1997**.

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

I dati che occorrono per l'implementazione dell'algoritmo di calcolo sono i seguenti:

1. massa per unità di area degli elementi strutturali;
2.  $\Delta L_w$  del rivestimento.

Lo schema degli ambienti sovrapposti è quello della figura 4.



**Figura 4: Schema degli ambienti sovrapposti per il calcolo dell'indice di valutazione del livello di rumore di calpestio normalizzato.**

L'indice di valutazione del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato,  $L'_{n,w}$ , si calcola utilizzando la formula seguente:

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

Dove:

$L_{n,w,eq}$  è l'indice di valutazione del livello equivalente di pressione sonora di calpestio normalizzato relativo al solaio nudo privo di rivestimento;

$\Delta L_w$  è l'indice di valutazione dell'attenuazione del livello di pressione sonora di calpestio del rivestimento<sup>2)</sup>;

$K$  è la correzione da apportare per tenere conto della trasmissione laterale nelle strutture omogenee.

- 2) Il valore di  $\Delta L_w$  ricavato sperimentalmente in laboratorio deve essere valutato secondo la UNI EN ISO 717-2 relativamente a prove effettuate secondo la UNI EN ISO 140-8. Si fa presente che per pavimenti galleggianti la UNI EN ISO 140-8 richiede che la prova venga fatta su circa 10 m<sup>2</sup> di massetto gettato in opera dopo che sia trascorso il periodo di stagionatura necessario, in caso di massetti di minor dimensione e/o posati a secco, il valore di  $\Delta L_w$  così ottenuto, non può essere utilizzato nella formula (24).

Il valore di  $L_{n,w,eq}$  si ricava dalla formula seguente:

$$L_{n,w,eq} = 164 - 35 \lg (m'/m'_0)$$

Dove:

$m'$  è la massa per unità di area del solaio nudo, in kilogrammi al metro quadrato (kg/m<sup>2</sup>);

$m'_0$  è la massa per unità di area di riferimento, uguale a 1 kg/m<sup>2</sup>.

Considerato che la massa per unità di area del solaio nudo è pari a 261 kg/m<sup>2</sup> (cfr. **Struttura D** dell'esempio in **Calcolo dell'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente tra due locali adiacenti**), il valore di  $L_{n,w,eq}$  è pari a:

$$L_{n,w,eq} = 164 - 35 \text{Log}(261) = 79,4 \text{ dB.}$$

Il valore di  $\Delta L_w$  si calcola in funzione della rigidità dinamica dello strato isolante e della massa per unità di area del pavimento galleggiante.

Considerato che:

la massa per unità d'area del massetto e del pavimento galleggiante,  $m'$ , (cfr. **Struttura E** dell'esempio in **Calcolo dell'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente tra due locali adiacenti**) è pari a 126 kg/m<sup>2</sup>;

la rigidità dinamica dello strato isolante,  $s'$ , è pari a 30 MN/m<sup>3</sup>;

si calcola innanzitutto la frequenza di risonanza,  $f_0$ , del sistema pavimento galleggiante – strato resiliente con la seguente relazione:

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

$$f_0 = 160 \sqrt{\left(\frac{30}{126}\right)} = 78,07 \text{ (Hz)}$$

Il calcolo del valore di  $\Delta L_w$  si effettua mediante la seguente formula:

$$\Delta L_w = 30 \lg (f/f_0) + 3 \text{ dB con massetto in calcestruzzo}$$

Dove per  $f$ , frequenza di riferimento, si assume il valore di 500 Hertz.

Applicando tale formula si ottiene:

$$\Delta L_w = 30 \text{Log}(500/78,07) + 3 = 27,2 \text{ dB.}$$

L'indice correttivo  $K$  si calcola a partire dalla massa per unità di area del solaio e di quella media delle strutture laterali non rivestite con strati addizionali isolanti:

**struttura laterale A:** massa per unità di area = 252 kg/m<sup>2</sup>;

**struttura laterale B:** massa per unità di area = 185 kg/m<sup>2</sup>;

**struttura laterale C:** massa per unità di area = 100 kg/m<sup>2</sup>;

**massa media delle strutture laterali:**  $m'_f = (252 + 185 + 100)/3 = 179 \text{ kg/m}^2$ .

Per massa per unità di area del solaio  $m'_s = 261 \text{ kg/m}^2$  e massa media per unità di area delle strutture laterali  $m'_f = 179 \text{ kg/m}^2$ , utilizzando il seguente prospetto, si ha  $K = 1$ .

### Termine di correzione $K$ per la trasmissione laterale, in decibel

Massa per unità di area del solaio di separazione kg/m <sup>2</sup>	Massa media per unità di area degli elementi laterali omogenei non ricoperti con rivestimenti supplementari kg/m <sup>2</sup>								
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
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
700	5	4	3	3	2	2	1	1	1
800	6	4	4	3	2	2	2	1	1
900	6	5	4	3	3	2	2	2	2

Pertanto:

$$L'_{n,w} = 79,4 - 27,2 + 1 = 53,2 \text{ dB}$$

Il valore ottenuto è da confrontarsi con i limiti di legge.

## Calcolo dell'indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata

I dati che occorrono per l'implementazione dell'algoritmo di calcolo sono i seguenti:

1. area totale della facciata;
2. area degli elementi costituenti la facciata;
3.  $D_{ne,w}$  dei piccoli elementi inseriti in facciata (cassettoni per serrande avvolgibili, bocchette di aerazione,...);
4. Volume dell'ambiente ricevente.

L'ambiente ricevente è riportato nello schema della figura 5.

### Descrizione degli elementi strutturali

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

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

Volume dell'ambiente ricevente:  $4 \times 4 \times 2,7 = 43,2 \text{ m}^3$

Dimensioni in metri

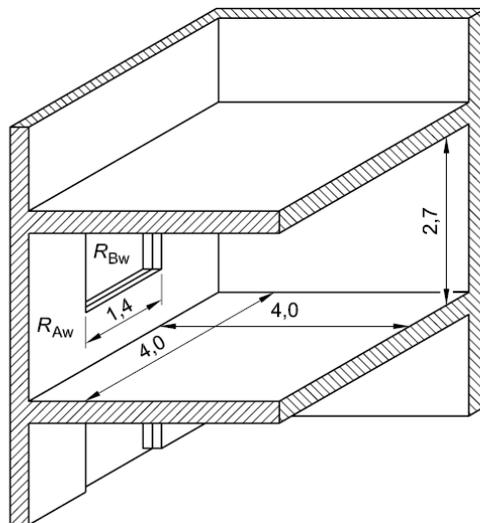


Figura 5: Schema geometrico degli elementi strutturali che compongono la facciata

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

$$D_{2m,nT,w} = R'_w + \Delta L_{fs} + 10 \lg [V/(6T_0S)]$$

Dove:

$R'_w$  si calcola in funzione delle grandezze pertinenti dei componenti (prodotti) e cioè dei singoli elementi che compongono la parte di facciata corrispondente all'ambiente interno, considerando anche i "piccoli elementi" quali prese d'aria, ventilatori, condotti elettrici, ecc. L'apporto energetico dovuto alla trasmissione laterale è considerato globalmente ed espresso dal fattore  $K$ .

$$R'_{w} = -10 \lg \left[ \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{S} \cdot 10^{\frac{-R_{wi}}{10}} + \sum_{i=1}^n \frac{A_0}{S} \cdot 10^{\frac{-D_{n,e,wi}}{10}} \right] - K$$

dove:

$R_{wi}$  è l'indice di valutazione del potere fonoisolante dell'elemento (i), in decibel (dB);

$S_i$  è l'area dell'elemento (i), in metri quadrati (m<sup>2</sup>);

$S$  è l'area totale della facciata, vista dall'interno (cioè la somma delle aree di tutti gli elementi), in metri quadrati (m<sup>2</sup>);

$D_{ne,wi}$  è l'indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato rispetto all'assorbimento equivalente del "piccolo elemento"(i), in decibel (dB);

$K$  è la correzione relativa al contributo della trasmissione laterale 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 pari a 10 m<sup>2</sup>.

### Descrizione degli elementi di facciata

**Elemento A:** Parete esterna costituita da doppio tavolato di elementi forati in laterizio intonacati sulle due facce esterne e su un lato dell'intercapedine riempita con materiale isolante fibroso.

$$R_{A,w} = 51,5 \text{ dB}$$

**Elemento B:** serramento con vetrocamera

$$R_{B,w} = 30,0 \text{ dB}$$

**Elemento C:** presa d'aria non insonorizzata con superficie uguale a 0,01 m<sup>2</sup> e  $D_{ne,w} = 30$ .

Calcolo dell'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente di facciata

Applicando la seguente formula, al caso in esame:

$$R'_w = -10 \lg \left[ \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{S} \cdot 10^{\frac{-R_{wi}}{10}} + \sum_{i=1}^n \frac{A_0}{S} \cdot 10^{\frac{-D_{n,e,wi}}{10}} \right] - K$$

Si ottiene:

$$R'_w = -10 \lg \left\{ \left( \frac{S_{finestra}}{S_{facciata}} \cdot 10^{\frac{-R_{B,w}}{10}} + \frac{S_{parete}}{S_{facciata}} \cdot 10^{\frac{-R_{A,w}}{10}} \right) + \left( \frac{A_0}{S_{facciata}} \cdot 10^{\frac{-D_{ne,w}}{10}} \right) \right\} - 2 \text{ (dB)}$$

$$R'_w = -10 \lg \left\{ \left( \frac{1,96}{10,8} \cdot 10^{\frac{-30}{10}} + \frac{10,8 - 1,96}{10,8} \cdot 10^{\frac{-51,5}{10}} \right) + \left( \frac{10}{10,8} \cdot 10^{\frac{-30}{10}} \right) \right\} - 2 \text{ (dB)}$$

$$R'_w = -10 \lg (1,87 \cdot 10^{-4} + 9,26 \cdot 10^{-4}) - 2 = 27,5 \text{ (dB)}$$

Calcolo dell'indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata

Utilizzando la seguente formula:

$$D_{2m,nT,w} = R'_w + \Delta L_{fs} + 10 \lg [V/(6T_0S)]$$

Trattandosi di una facciata piana, si ha inoltre  $\Delta L_{fs} = 0$  (vedi prospetto seguente).

	Facciata piana	Ballatoio <sup>1)</sup>											
$\alpha_w$	Non si applica	≤0,3	0,6	≥0,9	≤0,3	0,6	≥0,9	≤0,3	0,6	≥0,9	≤0,3	0,6	≥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 <sup>2)</sup>			Balcone <sup>2)</sup>			Balcone <sup>2)</sup>			Terrazza					
$\alpha_w$	≤0,3	0,6	≥0,9	≤0,3	0,6	≥0,9	≤0,3	0,6	≥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

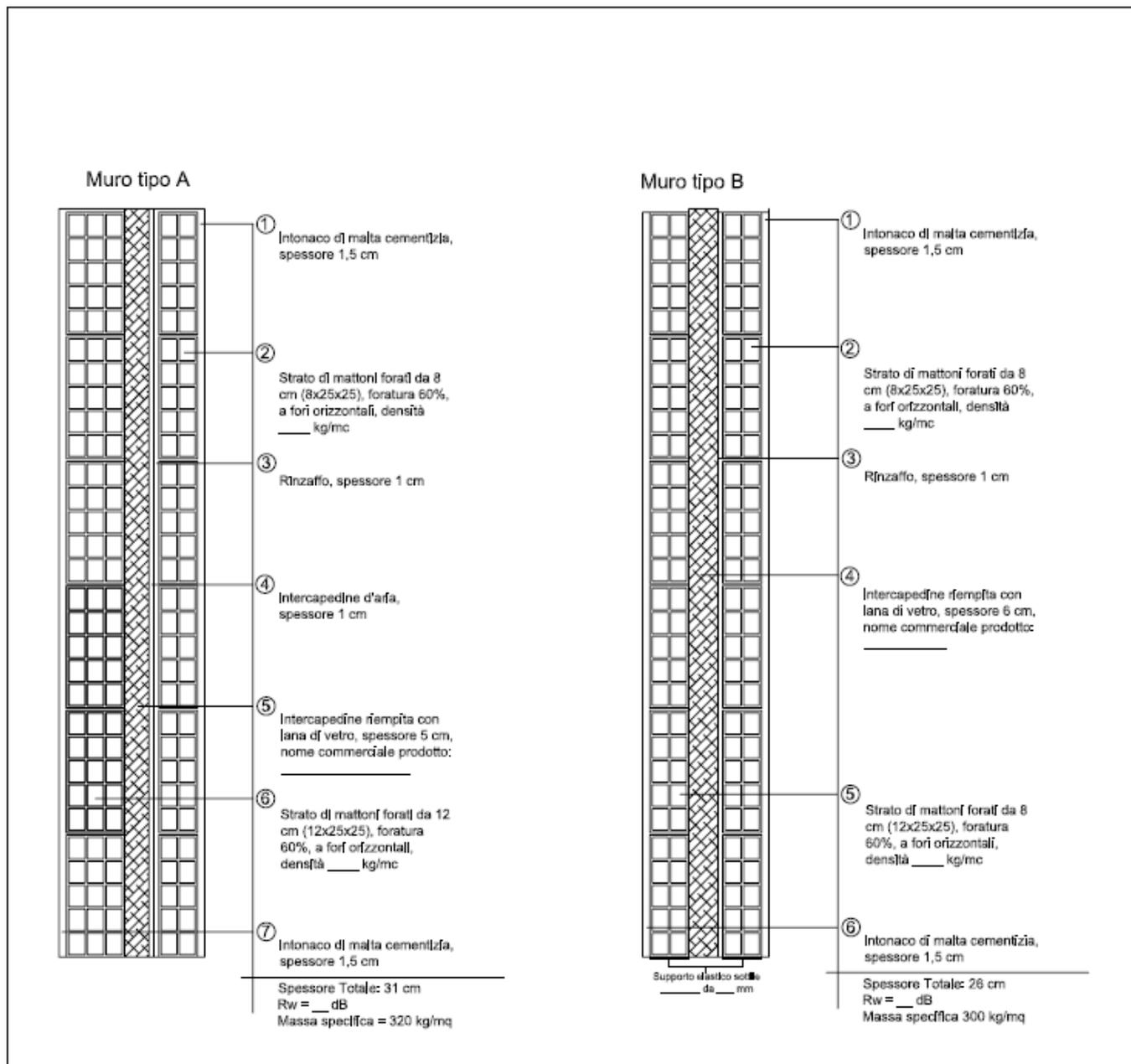
1) Ballatoio, terrazza continua.  
 2) Balcone, terrazza discontinua limitata lateralmente.

Si ottiene:

$$D_{2m,nT,w} = 27,5 + 0 + 10\lg\left(\frac{43,2}{6 \cdot 0,5 \cdot 10,8}\right) = 28,8 \text{ dB}$$

Il valore ottenuto è da confrontarsi con il limite di legge.

ALLEGATI



Comune di \_\_\_\_\_  
 Provincia di \_\_\_\_\_

**PROGETTO ACUSTICO**  
es. R.U.L. n.10204  
 Tribunale di Napoli del registro degli studi periti  
 degli studi tecnici del CPCM 5/12/1007

Progetto relativo a: \_\_\_\_\_

Committente: \_\_\_\_\_

Tavola n.	3	Scale 1/500
Versione	n.	data
Emissione		01/01/2007
Revisione	1	01/08/2007

Descrizione tavola  
 Schede tipologia Muri

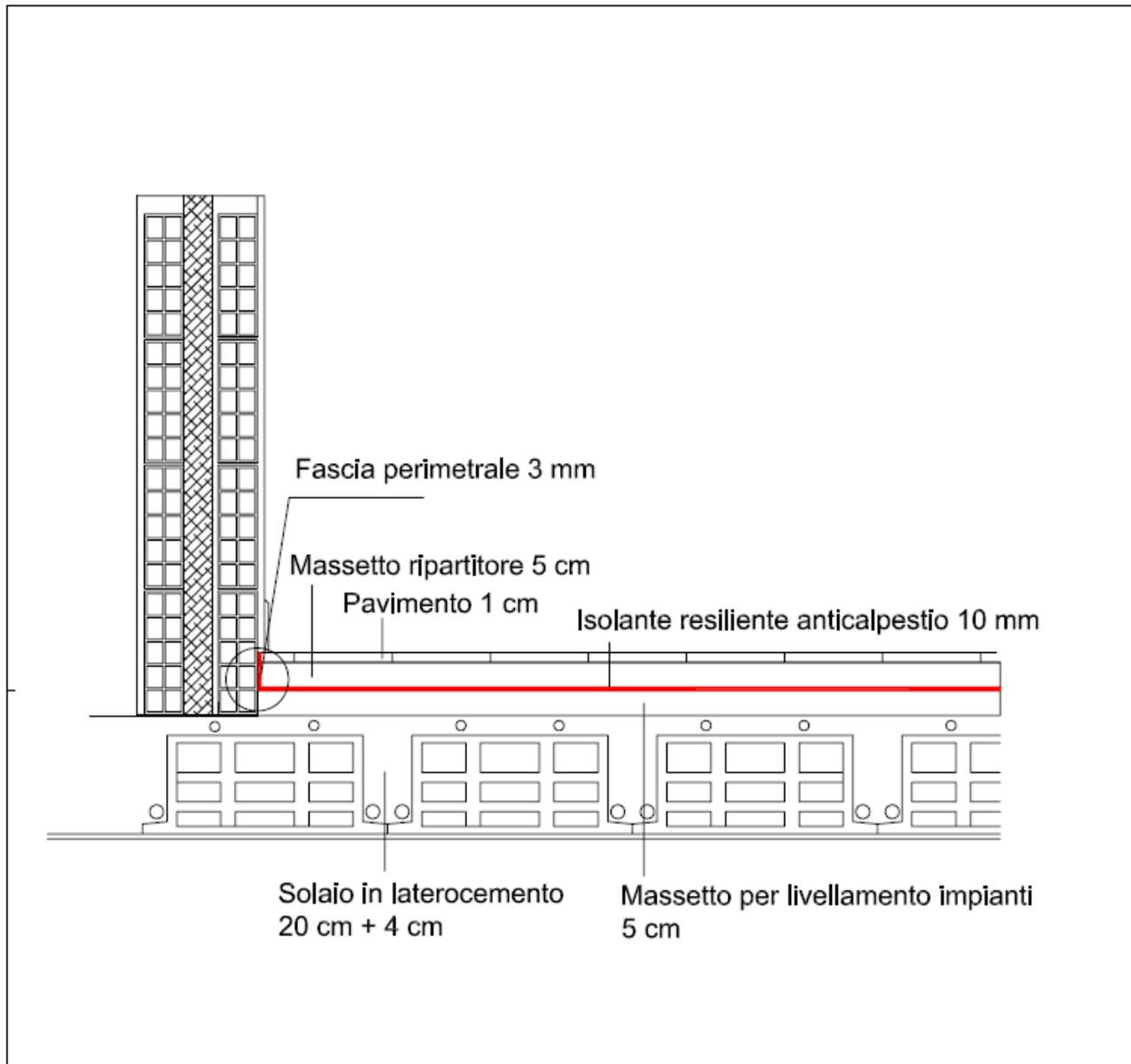
**Legenda**

- Muro tipo A
- Muro tipo B
- Muro tipo C

Ing. \_\_\_\_\_  
 Via \_\_\_\_\_ 1  
 08100  
 Telefono: \_\_\_\_\_  
 e mail: \_\_\_\_\_  
 Fax: \_\_\_\_\_

**Studio Progetti**

Fac-simile 1: Elaborato grafico per la descrizione delle tipologie di partizioni verticali



Comune di \_\_\_\_\_  
Provincia di \_\_\_\_\_

**PROGETTO  
ACUSTICO**  
ex D.P.C.M. n. 512/1997  
Indirizzo di ricerca del miglior acustico possibile  
degli edifici basati sul D.P.C.M. 512/1997

Progetto relativo a:

Committente:

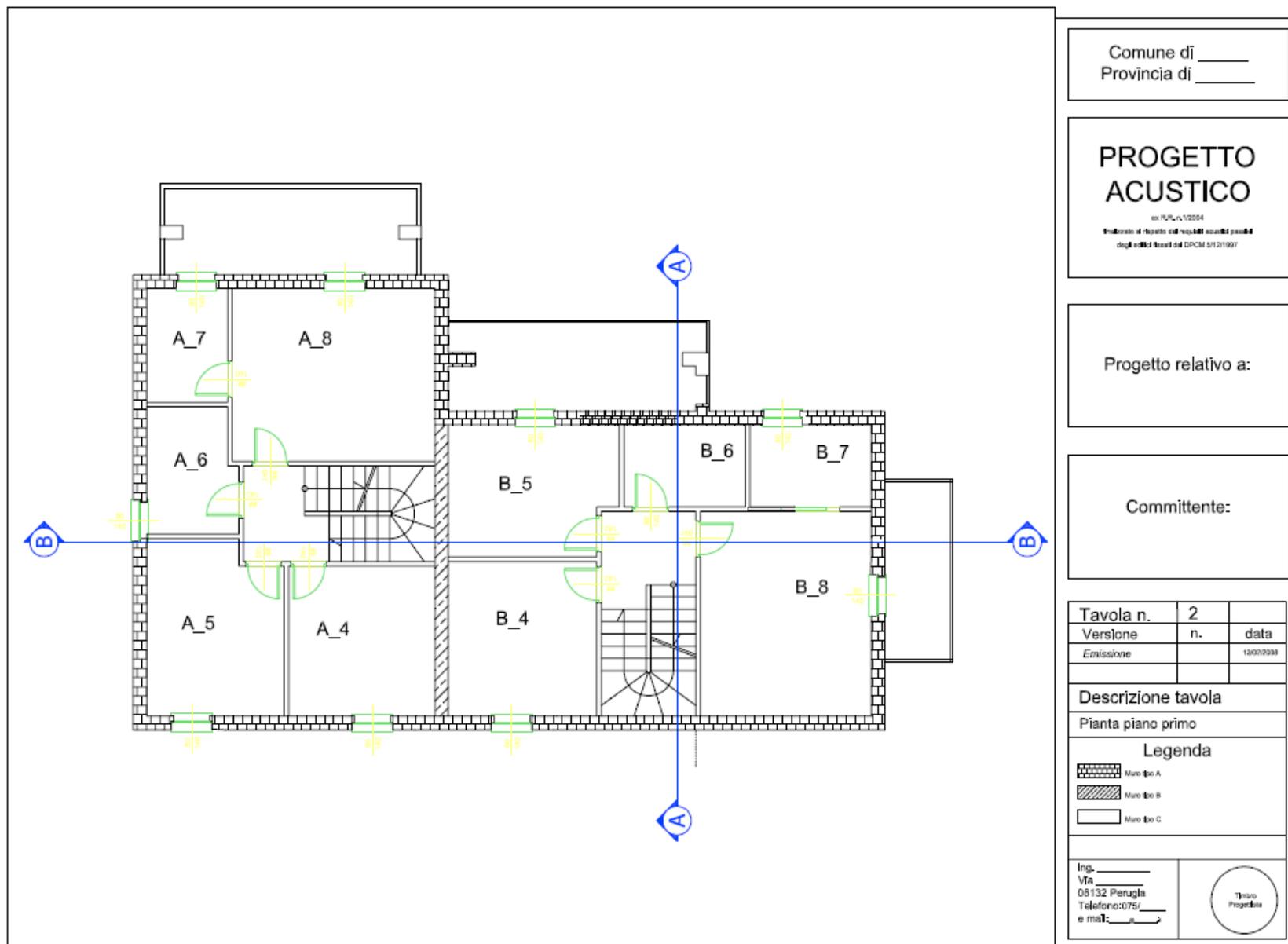
Tavola n.	6	
Versione	n.	data
Emissione		12/02/2008
	1	

Descrizione tavola  
Schede tipologia solaio

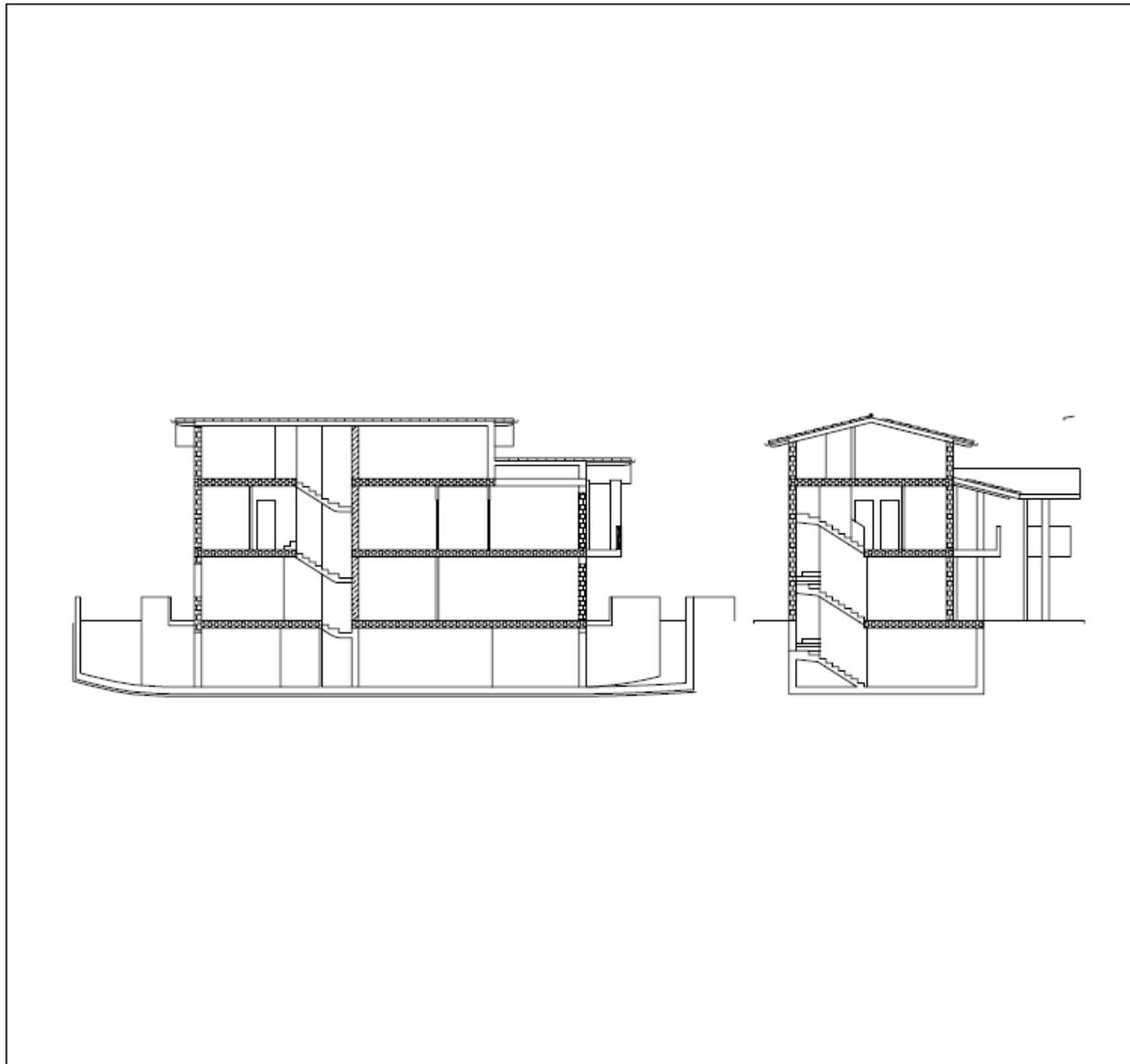
Ing. \_\_\_\_\_  
V.le \_\_\_\_\_  
06132 \_\_\_\_\_  
Telefono 075/ \_\_\_\_\_  
e mail \_\_\_\_\_

Timbro  
Progettista

Fac-simile 2: Elaborato grafico per la descrizione delle tipologie di partizioni orizzontali



Fac-simile 3: Elaborato grafico per la descrizione delle piante dell'edificio con riferimento alle diverse tipologie di partizioni verticali ed orizzontali



Comune di _____ Provincia di _____		
<b>PROGETTO ACUSTICO</b> <small>ex P.U.C. n. 1/2004 Finalizzato al rispetto del requisiti acustici passivi degli edifici fissati dal DPCM 5/12/1997</small>		
Progetto relativo a:		
Committente:		
Tavola n.	3	
Versione	n.	data
Emissione		18/02/2008
Descrizione tavola		
Sezione Edificio		
Legenda		
Muro tipo A	Muro tipo B	Edificio tipo 1
Ing. _____ Via _____ 08132 _____ Telefono 075/ _____ e mail: _____		

Fac-simile 4: Elaborato grafico per la descrizione delle sezioni dell'edificio con riferimento alle diverse tipologie di partizioni verticali ed orizzontali

