

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

Simone Secchi

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

Università di Firenze

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

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

## La legislazione italiana

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

## Requisiti acustici *Comparazione normativa*

### Requisiti acustici passivi degli edifici, dei loro componenti e degli impianti tecnologici

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

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

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

Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

3

## Requisiti acustici dei divisori *comparazione normativa*

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

Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

4

## Isolamento acustico in facciata *comparazione normativa*

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

Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

5

## La normativa tecnica di riferimento

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

Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

6

## Potere fonoisolante apparente tra ambienti interni

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

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

Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

7

## Potere fonoisolante apparente tra ambienti interni

Significato del parametro

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

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

S = Superficie della partizione (m<sup>2</sup>)

A = Unità di assorbimento acustico dell'ambiente ricevente (m<sup>2</sup>)

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

S<sub>i</sub> = Superficie dell'elemento i (m<sup>2</sup>)

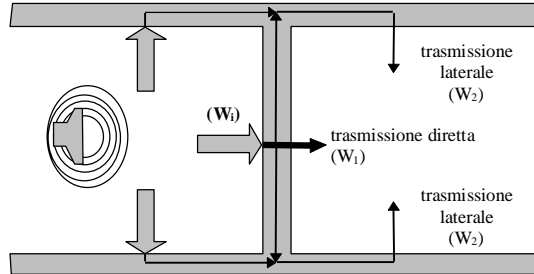
α = Coefficiente di assorbimento acustico dell'elemento i

n = numero di superfici presenti

Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

8

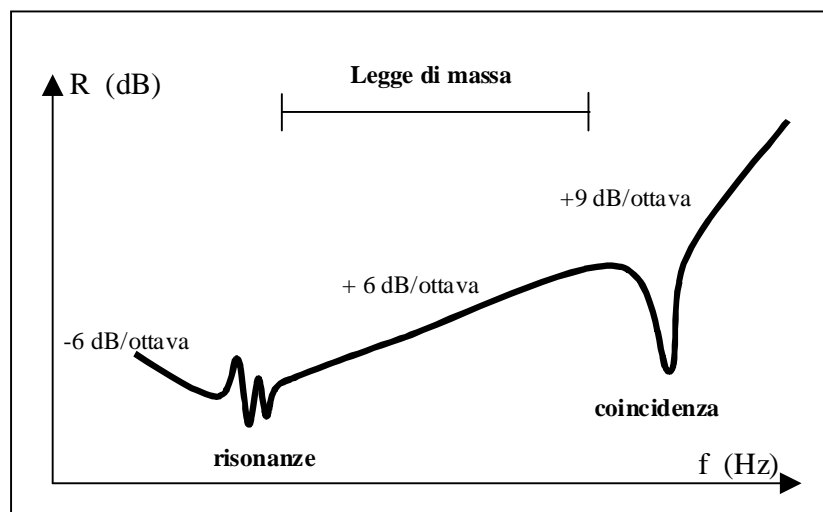
## Differenza tra potere fonoisolante apparente (R') e potere fonoisolante (R)



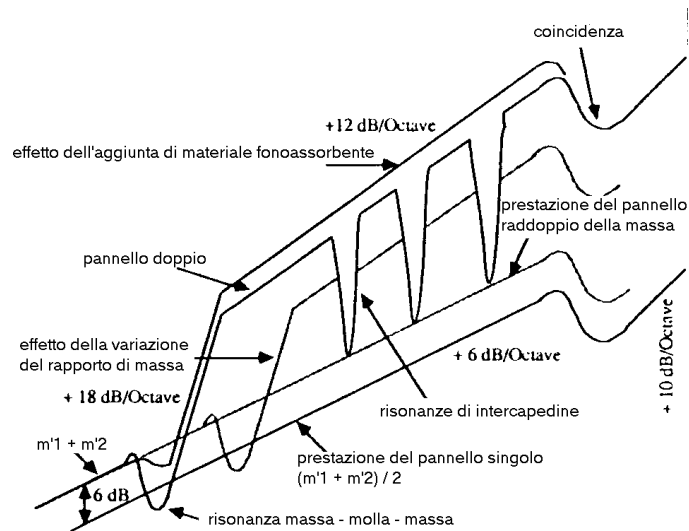
$$R = 10 \lg \frac{W_i}{W_1} = -10 \lg(\tau) \quad (\text{dB}) \qquad R' = 10 \lg \frac{W_i}{W_1 + W_2} \quad (\text{dB})$$

**$R \approx R' ?$**

## Potere fonoisolante di partizioni omogenee (stima teorica)



## Potere fonoisolante di partizioni doppie (stima teorica)



Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

11

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

Per pareti fissate tra loro mediante lo strato elastico

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

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

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

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

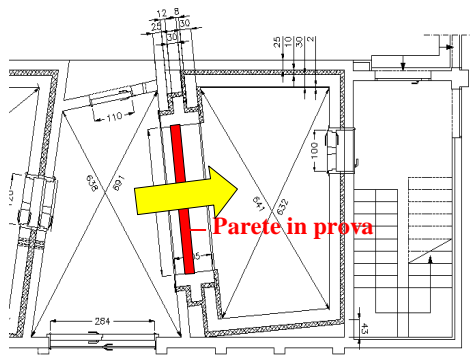
$m'$  = massa superficiale dei due strati della parete doppia (kg/m<sup>2</sup>)

$d$  = spessore dell'intercapedine (m)

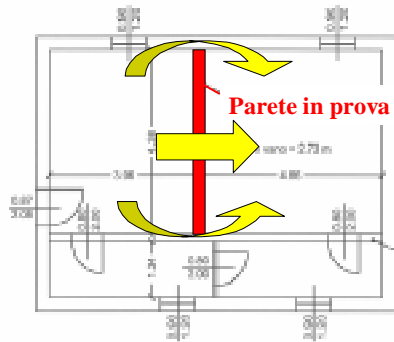
Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

12

## Descrizione dei laboratori di prova



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

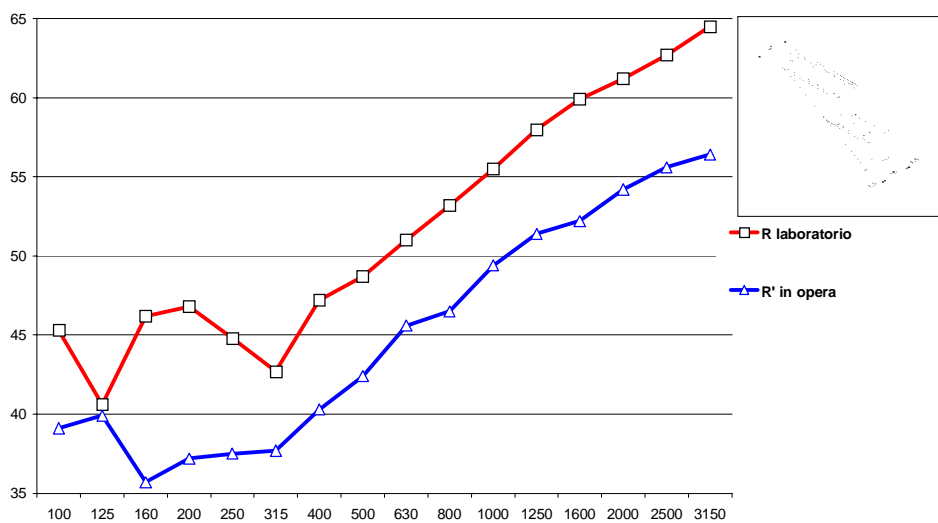


**Laboratorio con trasmissione laterale (Università di Trento)**

## Potere fonoisolante

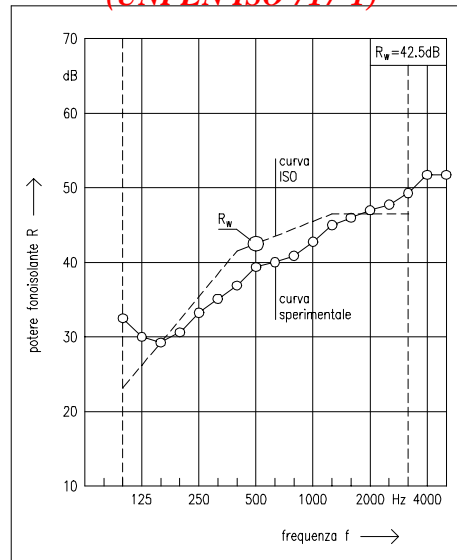
### Confronto tra dati di laboratorio (R) ed in opera (R')

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



## Indice di valutazione per l'isolamento ai rumori aerei

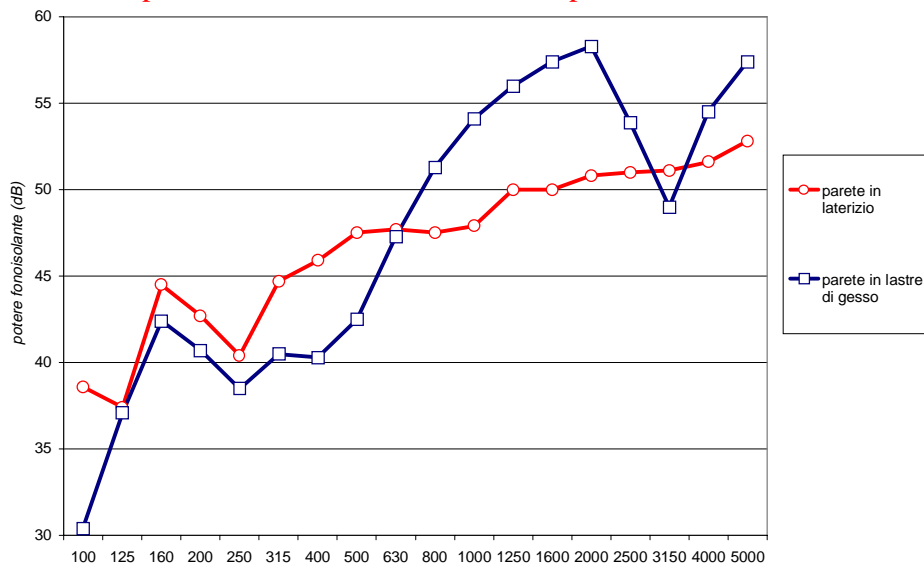
(UNI EN ISO 717-1)



Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

15

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



Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

16



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

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

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

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

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

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

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

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

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

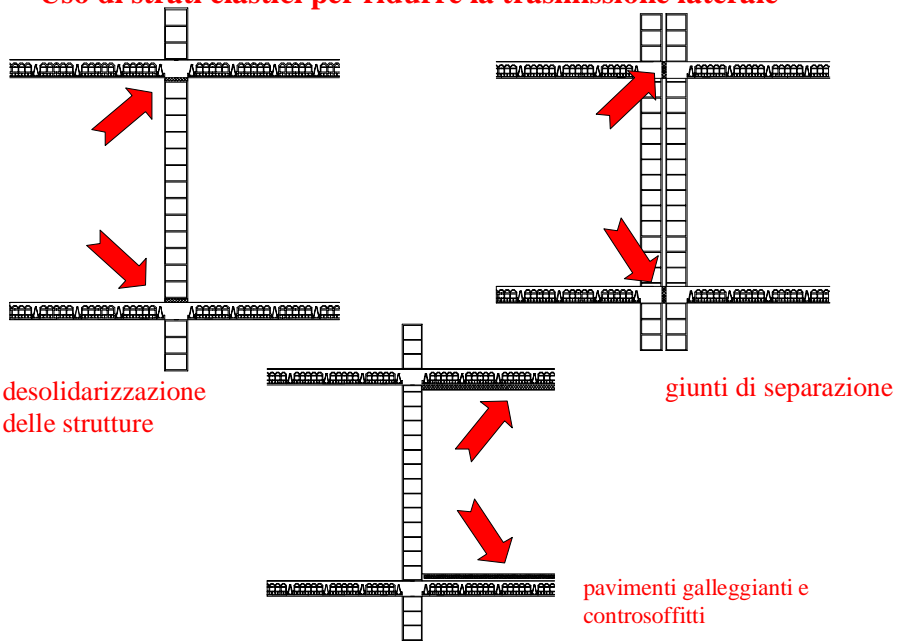
Formula italiana per blocchi in laterizio alleggerito ( $m' > 100 \text{ kg/m}^2$ )

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

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

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

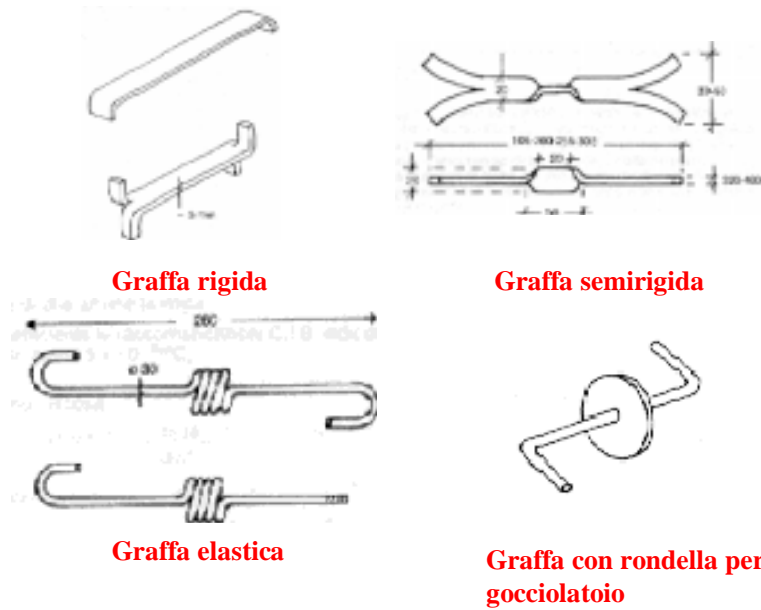
## Uso di strati elastici per ridurre la trasmissione laterale



Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

19

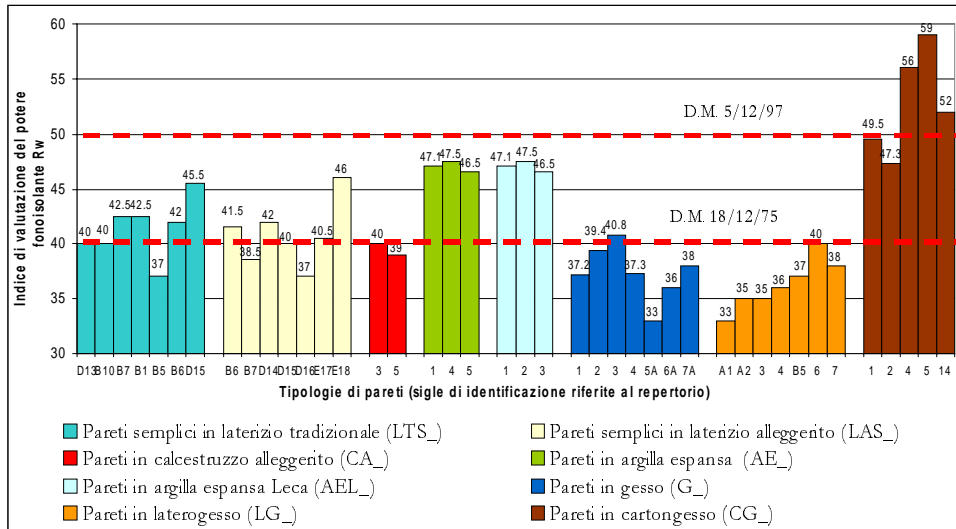
## Sistemi di ancoraggio per pareti doppie



Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

20

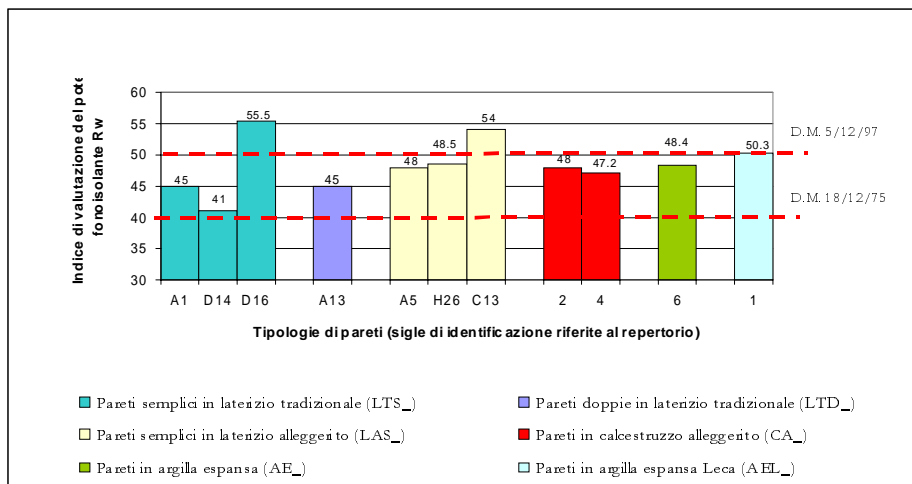
### Confronto tra gli $R_w$ tra tipologie di pareti diverse di spessore compreso tra 6 e 15 cm



Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

21

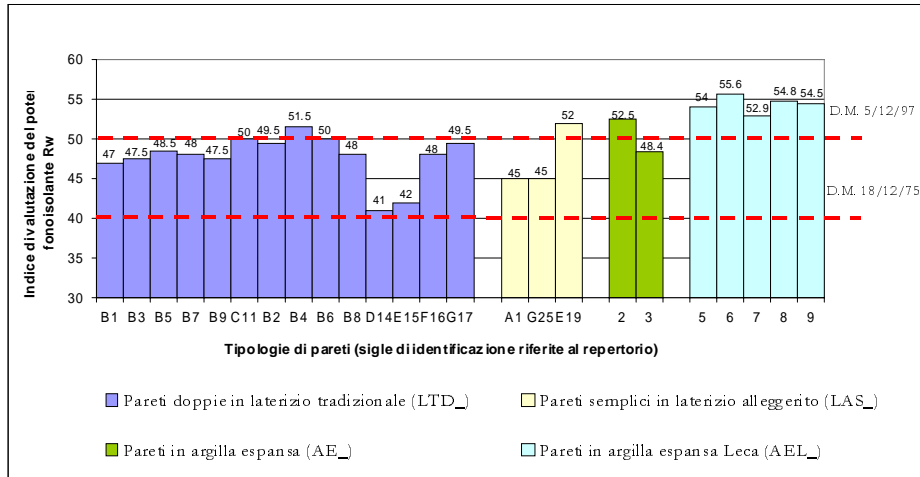
### Confronto tra gli $R_w$ tra tipologie di pareti diverse di spessore compreso tra 15.8 e 22 cm



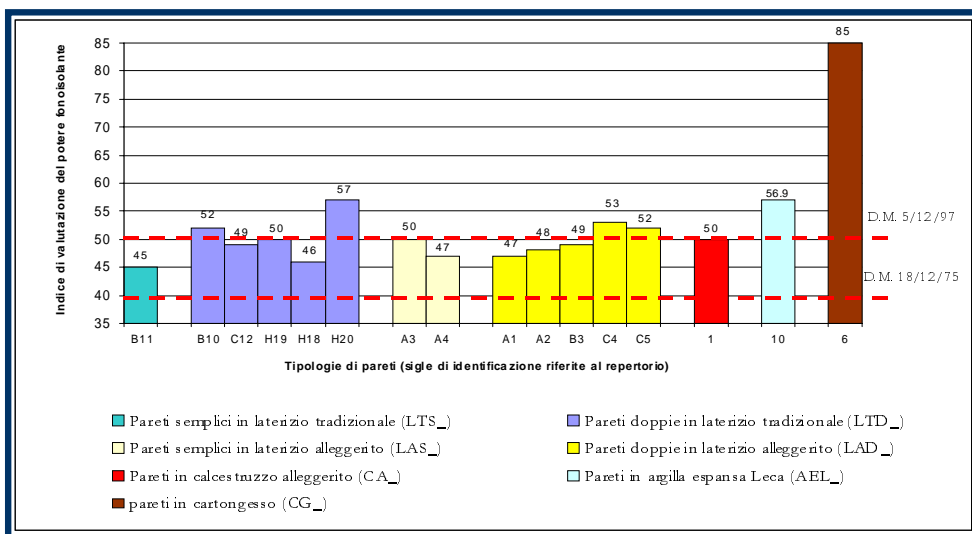
Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

22

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



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



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

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

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

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

### Significato del parametro

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

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

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

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

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

### Metodo di calcolo del parametro

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

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

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

V = Volume dell'ambiente ricevente (m<sup>3</sup>)

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

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

## Calcolo del potere fonoisolante apparente di facciata

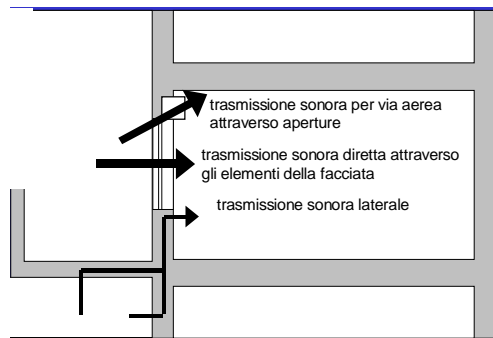
$$R' = -10 \lg \left( \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{S} 10^{\frac{-R_i}{10}} + \frac{A_0}{S} \sum_{i=1}^p 10^{\frac{-D_{n,e,i}}{10}} \right) - K$$

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

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

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

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



Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

27

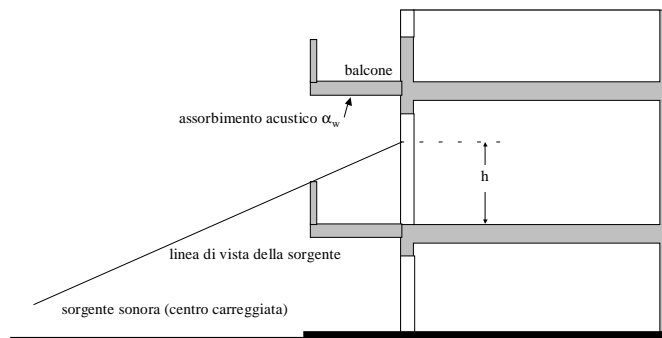
## Calcolo della differenza di livello per forma della facciata

### Significato del parametro

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

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

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



Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

28

### Metodo di calcolo del parametro

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

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

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

$h$  = altezza di vista della sorgente sonora

Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

29

### Dati sperimentali di vetrate singole e composte

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

Pannelli singoli

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

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

6 mm	<b>32</b> (-1; -3)
8 mm	<b>33</b> (-1; -3)
10 mm	<b>34</b> (-1; -3)

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

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

Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

30

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

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

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

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

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

Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

31

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

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

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

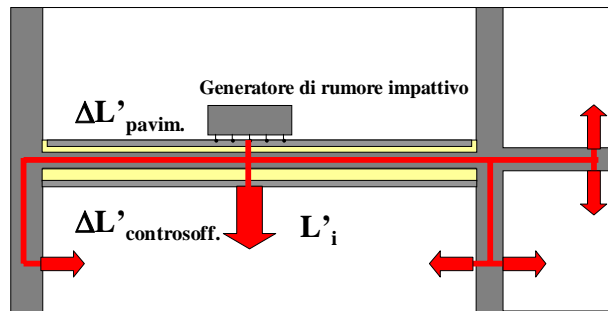
Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

32



## Livello di rumore da calpestio

### Significato del parametro



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

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

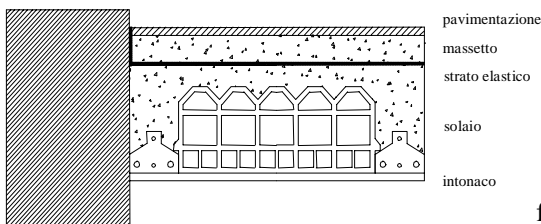
$A$  = Assorbimento equivalente nell'ambiente disturbato ( $\text{m}^2$ )

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

Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

33

## Calcolo della riduzione di livello di rumore da calpestio



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

$f$  = frequenza di analisi (Hz)

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

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

$s'$  = rigidità dinamica sup. dello strato elastico del pavimento galleggiante ( $\text{MN}/\text{m}^3$ )

$m'$  = massa superficiale del massetto del solaio (sopra lo strato elastico) ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )

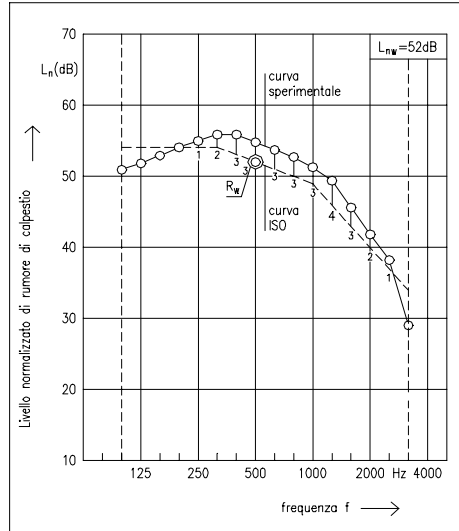
**Nel caso di più strati di materiale elastico sovrapposti:**

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

Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

34

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



Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

35

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

### Metodo di calcolo semplificato

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

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

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

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

Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

36

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

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

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

Per solai omogenei in cemento armato monolitico:

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

## Calcolo semplificato della trasmissione laterale

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

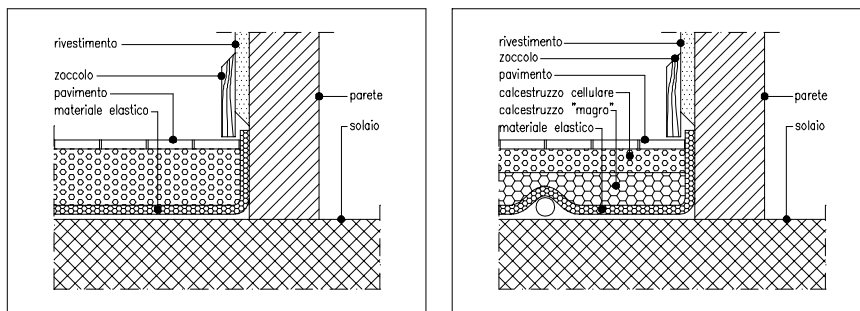
		Massa superficiale media delle strutture laterali ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )								
		100	150	200	250	300	350	400	450	500
massa superficiale del solaio ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )	100	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	150	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	200	2	1	1	0	0	0	0	0	0
	250	2	1	1	1	0	0	0	0	0
	300	3	2	1	1	1	0	0	0	0
	350	3	2	1	1	1	1	0	0	0
	400	4	2	2	1	1	1	1	0	0
	450	4	3	2	2	1	1	1	1	1
	500	4	3	2	2	1	1	1	1	1
	600	5	4	3	2	2	1	1	1	1

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

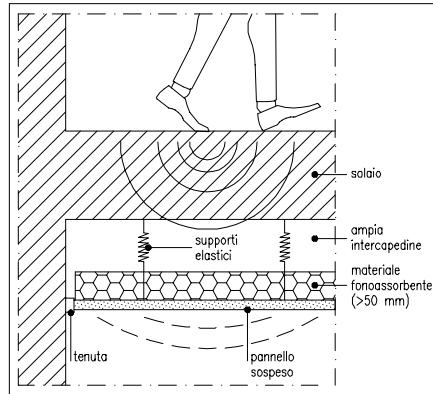
$$\Delta L_w = 30 \lg \frac{500}{f_0} \text{ (dB)}$$

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

## *Dettagli esecutivi di pavimentazioni galleggianti*



## **Dettagli esecutivi di un controsoffitto**



Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

41

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

Materiale	spessore mm	$\Delta L_{nw}$ dB	Materiale	spessore mm	$\Delta L_{nw}$ dB
Gomma industriale	4	11.8	Moquettes	4	19.3
	4	12.1		4	20.6
	5	10.6		4	21.5
	5	16.8		4	23.6
Piastrille viniliche	2	3.7		5	20.9
	2.5	8.3		6	26.3
	3.5	11.4		7	29.4
Tappeti vinilici	3	17.7		8	28.4
	3.5	15.7		8	30
	3.5	18.9		10	33.5
	4	17.4	12	35.6	
			14	36.8	

Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

42

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

Materiale	spessore mm	$\Delta L_{nw}$ dB	Materiale	spessore mm	$\Delta L_{nw}$ dB
Gomma granulare	6	20.3	Fibre di vetro o roccia	3	20.5
	7	19.3		3	21.2
	10	20.1		3	22.3
	10	21.8		3	22.5
	10	24.5		15	16
Poliuretano espanso	2	15.1		15	29.6
	3	16.8		20	47.4
	3	20.2			
	4	21			
Sughero granulare	6	19.8			
	Sughero in lastre	3	13.3		

Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

43

## Regolamento Edilizio Tipo della Regione Emilia Romagna (Requisiti raccomandati)

Il **TEMPO DI RIVERBERAZIONE** esprime la qualità acustica negli ambienti interni.

Deve essere riferito al volume dell'ambiente mediante il diagramma 1.

Il valore così ottenuto deve essere moltiplicato per i valori del diagramma 2 per ottenere i valori limite alla varie frequenze.

La verifica si esegue in funzione della frequenza alle bande di ottava caratterizzate da frequenza centrale di 250, 500, 1000 e 2000 Hz.

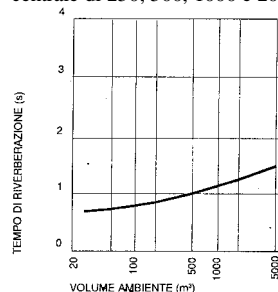


Figura 1

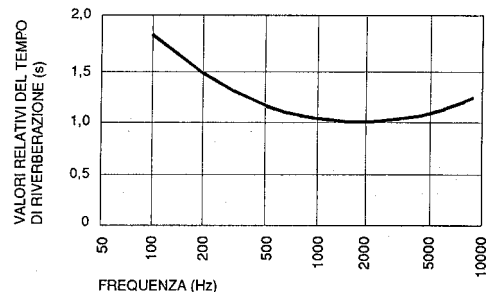


Figura 2

La **verifica su progetto** si esegue sulla base dei valori certificati del coefficiente di assorbimento acustico dei materiali presenti nell'ambiente da verificare.

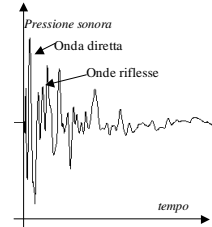
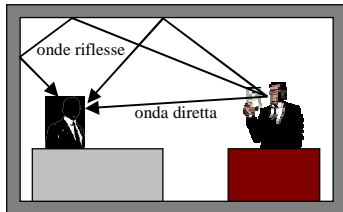
Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

44

## Tempo di riverberazione

### Significato fisico del tempo di riverberazione

Tempo impiegato al livello di pressione sonora per ridursi di 60 dB dopo che è cessata l'emissione da parte della sorgente sonora



### Calcolo del tempo di riverberazione

$$T = \frac{0,16V}{A} \quad (\text{s})$$

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_{s,i} S_i + \sum_{j=1}^o A_{ogg,j} + \sum_{k=1}^p \frac{S_k}{S_{config,k}} A_{config,k} + A_{air} \quad (\text{m}^2)$$

$\alpha_s$  = coefficiente di assorbimento della superficie  $i$  di area  $S$ ;  
 $A_{ogg}$  = assorbimento equivalente dell'oggetto  $j$ ;  
 $A_{config}$  = assorbimento equivalente della configurazione di oggetti  $k$ , che copre una superficie in pianta  $S$  nel caso reale e  $S_{config}$  nella prova in laboratorio;  
 $A_{air}$  = assorbimento equivalente dell'aria.

Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

45

## Materiali fonoassorbenti

Si classificano in:  
materiali porosi, risuonatori acustici, pannelli vibranti, sistemi misti.

### Valori del coefficiente di assorbimento di componenti

Descrizione	Frequenza (1/1 ott, Hz)					$\alpha_w$
	250	500	1000	2000	4000	
Lana di legno mineralizzata, spessore 25 mm, applicato a contatto con la parete	0.10	0.30	0.70	0.50	0.50	<b>0.3</b>
Lana di legno mineralizzata, spessore 35 mm, applicato a contatto con la parete	0.15	0.25	0.50	0.90	0.65	<b>0.3</b>
Lana di legno mineralizzata, spessore 50 mm, applicato a contatto con la parete	0.25	0.65	0.60	0.55	0.90	<b>0.5</b>
Gesso rivestito, spessore 13 mm, 18% di superficie perforata, a 200 mm dal soffitto	0.75	0.78	0.64	0.60	0.58	<b>0.6</b>
Gesso rivestito, spessore 13 mm, 18% della superficie perforata, a 58 mm dal soffitto	0.40	0.63	0.82	0.64	0.43	<b>0.6</b>
Linoleum	0.10	0.10	0.09	0.10	0.12	<b>0.1</b>
Moquette	0.05	0.10	0.20	0.40	0.81	<b>0.1</b>
Poliuretano espanso, 30 kg/m <sup>3</sup> , spessore 13 mm	0.11	0.40	0.90	0.90	0.82	<b>0.4</b>
Poliuretano espanso, 30 kg/m <sup>3</sup> , spessore 51 mm	0.12	0.25	0.55	0.88	0.96	<b>0.3</b>
Poliuretano espanso, 30 kg/m <sup>3</sup> , spessore 6 mm	0.30	0.62	0.90	0.99	0.98	<b>0.5</b>
Sedia di metallo	0.015	0.030	0.035	0.025	0.035	<b>0</b>
Sedia imbottita	0.23	0.37	0.27	0.25	0.25	<b>0.3</b>
Sughero	0.04	0.08	0.12	0.03	0.10	<b>0.1</b>
Sughero espanso, 80 kg/m <sup>3</sup> , in pannelli da 25 mm, aderente alla parete	0.04	0.08	0.12	0.03	0.10	<b>0.1</b>
Tappeto pesante	0.20	0.25	0.30	0.30	0.30	<b>0.3</b>
Tappeto sottile	0.10	0.15	0.20	0.20	0.20	<b>0.2</b>

Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

46

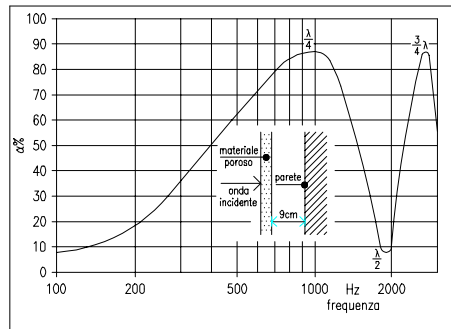
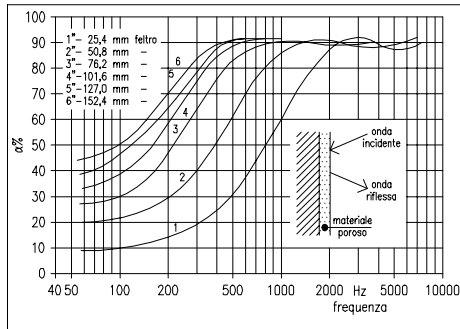
## Materiali porosi

Assorbimento acustico determinato dalla conversione in calore dell' energia meccanica dell'onda incidente.

Assorbimento acustico dipendente dalla lunghezza d'onda del suono incidente, dal rapporto tra il volume dei vuoti e quello totale e dallo spessore del materiale

Assorbimento in genere aumenta con la frequenza e con lo spessore dello strato di materiale.

Modalità di installazione influenzano l' assorbimento acustico: dove la velocità è massima si ha il massimo di dissipazione della energia sonora in calore e quindi il massimo assorbimento acustico.



Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

## Risuonatori acustici

Schematizzato come una cavità comunicante con l'esterno attraverso un foro praticato su di una parete non troppo sottile (collo del risuonatore).

L'aria contenuta nel collo si comporta come un pistone oscillante; quella nella cavità costituisce l'elemento elastico del sistema.

Massimo assorbimento alla frequenza di risonanza

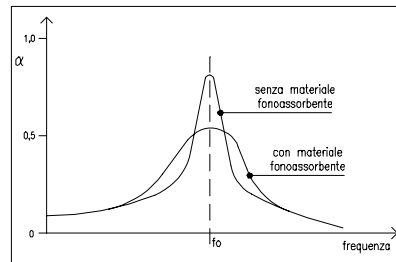
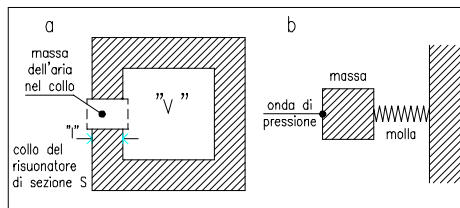
$$f_0 = \frac{c_0}{2\pi} \sqrt{\frac{\pi r^2}{V(l + 1.6r)}}$$

$c_0$  = velocità di propagazione del suono nel mezzo (m/s);

$r, l$  = raggio e la lunghezza del collo del risuonatore (m);

$V$  = volume della cavità (m<sup>3</sup>).

Possibile realizzare risuonatori con frequenza di risonanza bassa: diventano complementari dei materiali porosi.



Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

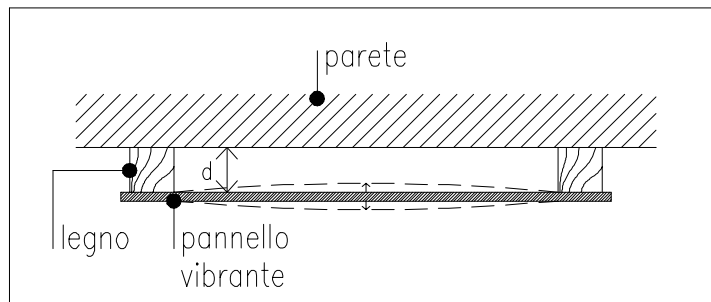


## Pannelli vibranti

Costituiti da pannelli rigidi piani, disposti ad una certa distanza dalla parete.  
Possono essere assimilati a masse oscillanti (il pannello) accoppiata ad un elemento elastico (l'aria racchiusa nell'intercapedine).

Massimo assorbimento alla frequenza di risonanza  $f_0 = \frac{60}{\sqrt{(\sigma d)}}$

$\sigma$  = densità superficiale del pannello (kg/m<sup>2</sup>);  
d = distanza del pannello dalla parete (m).



Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

49

## Rumorosità da impianti

### DPCM 5/12/97

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

(...)

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

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

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

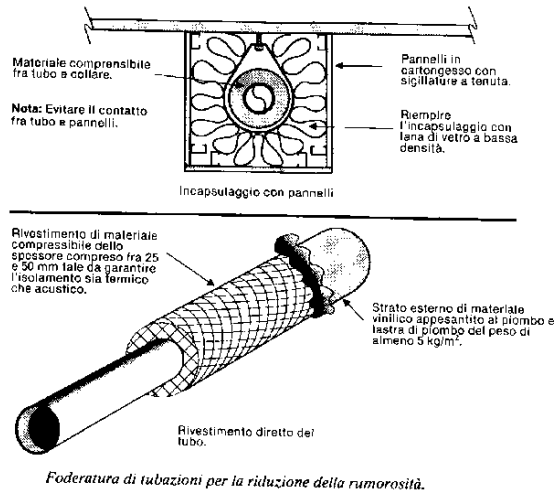
Tale ambiente deve essere diverso da quello in cui il rumore si origina.

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

Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

50

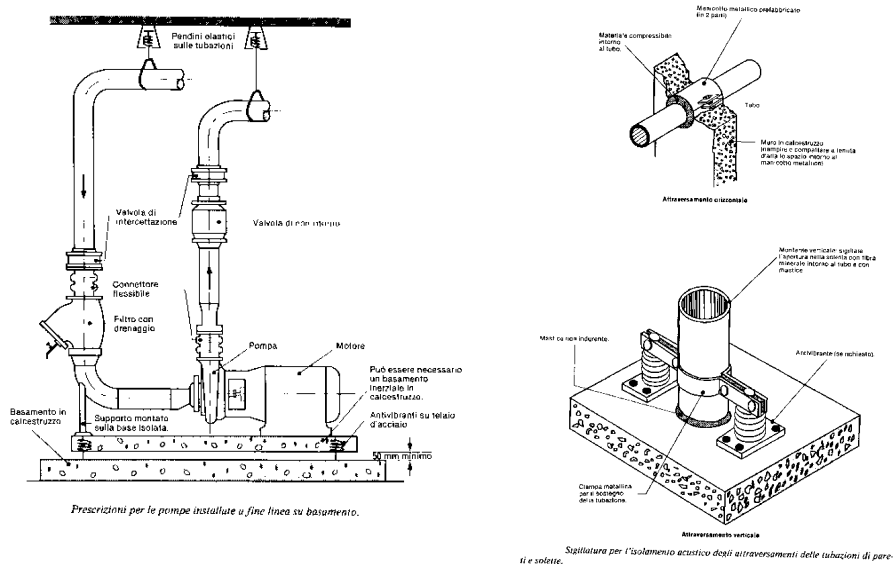
## Rumore di impianti Alcune regole di massima...



Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

51

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



Simone Secchi - Fondamenti di acustica edilizia

52

## Caratteristiche fisiche di alcuni materiali impiegati in edilizia

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