

La previsione della protezione acustica degli edifici con metodi semplificati

EDILTIRRENO EXPO

Carrara, 16 Maggio 2008



Simone Secchi

Dipartimento di Tecnologie dell'Architettura e Design _ Università di Firenze



Università degli Studi di Firenze

La normativa tecnica di riferimento per le valutazioni previsionali

- **UNI EN ISO12354-1**, Acustica edilizia – stima delle prestazioni acustiche degli edifici a partire dalle prestazioni dei componenti, parte 1, Isolamento ai rumori aerei tra stanze
- **UNI EN ISO 12354-2**, Acustica edilizia – stima delle prestazioni acustiche degli edifici a partire dalle prestazioni dei componenti, parte 1, Isolamento ai rumori impattivi tra stanze
- **UNI EN ISO 12354-3**, Acustica edilizia – stima delle prestazioni acustiche degli edifici a partire dalle prestazioni dei componenti, parte 1, Isolamento ai rumori aerei provenienti dall'esterno
- **UNI EN ISO 12354-4**, Acustica edilizia – stima delle prestazioni acustiche degli edifici a partire dalle prestazioni dei componenti, parte 1, trasmissione del rumore interno all'esterno.
- **UNI TR 11175** *Acustica in edilizia - Guida alle norme serie UNI EN 12354 per la previsione delle prestazioni acustiche degli edifici. Applicazione alla tipologia costruttiva nazionale*

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

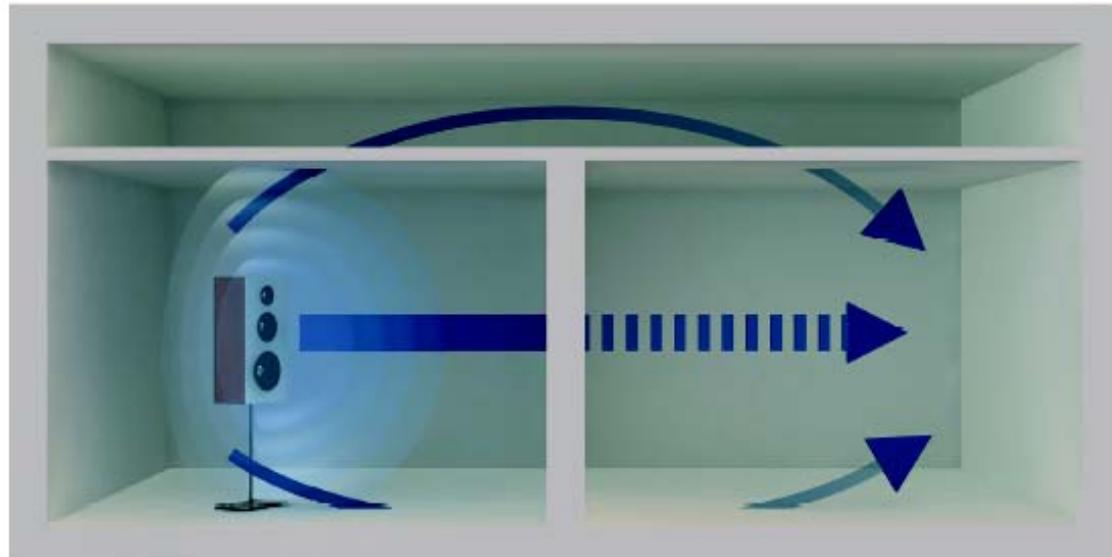
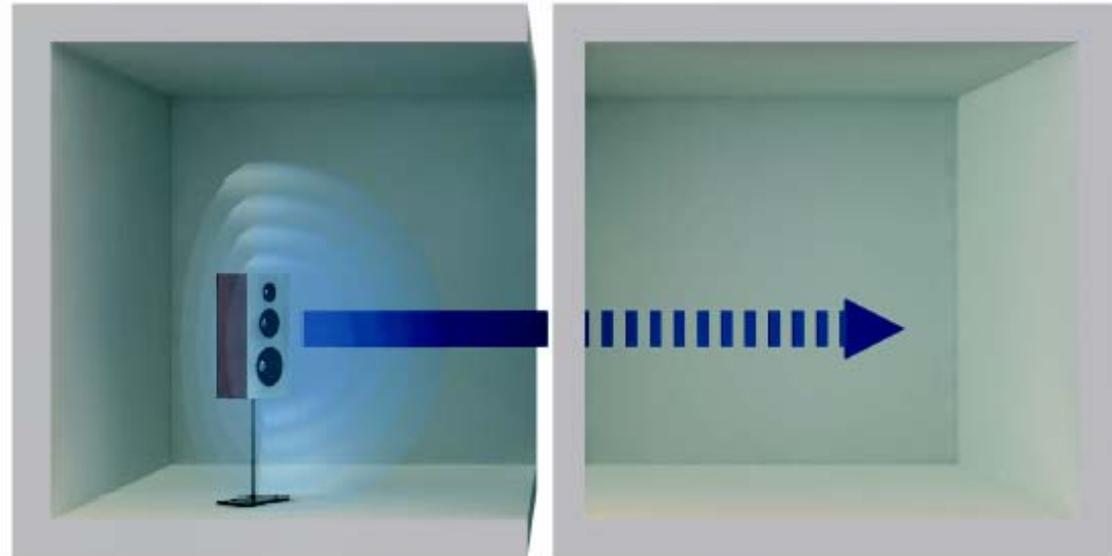
$$R = 10 \lg \frac{W_i}{W_1} \quad (\text{dB})$$

W_i = potenza sonora
incidente sulla partizione
 W_1 = potenza sonora
trasmessa dalla partizione

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

W_2 = potenza sonora
trasmessa dalle strutture
lateralali

$R \approx R' ?$



Il calcolo del potere fonoisolante (R) apparente può essere effettuato:

-in funzione della frequenza (metodo più accurato che permette di individuare eventuali problemi a specifiche frequenze del rumore disturbante)

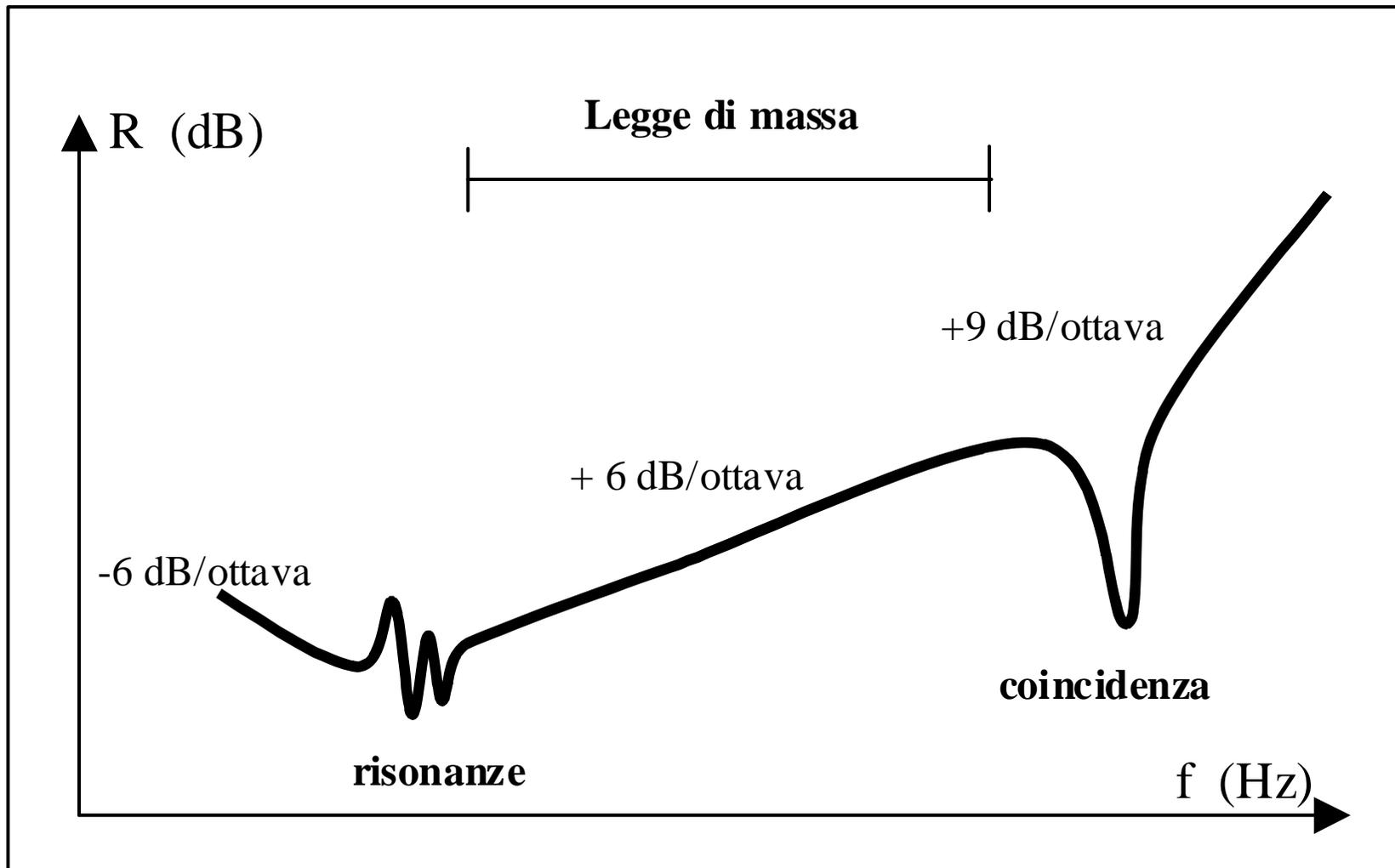
-in termini semplificati con il solo indice di valutazione del potere fonoisolante apparente (R'_{w}) (metodo più rapido, richiesto dalla normativa vigente e descritto dalle linee guida UNI)

La principale difficoltà insita nel metodo dettagliato (analisi in frequenza) risiede nella difficoltà di definire i valori in frequenza delle prestazioni dei diversi componenti dell'involucro edilizio.

L'analisi in frequenza del potere fonoisolante

Richiami di teoria

Potere fonoisolante di partizioni omogenee (stima teorica)



Stima semplificata del potere fonoisolante di pareti semplici

Sotto la frequenza critica (legge della massa)

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

m' = massa superficiale della parete (kg/m^2);

f = frequenza (Hz);

$\rho_0 c_0$ = impedenza acustica dell'aria.

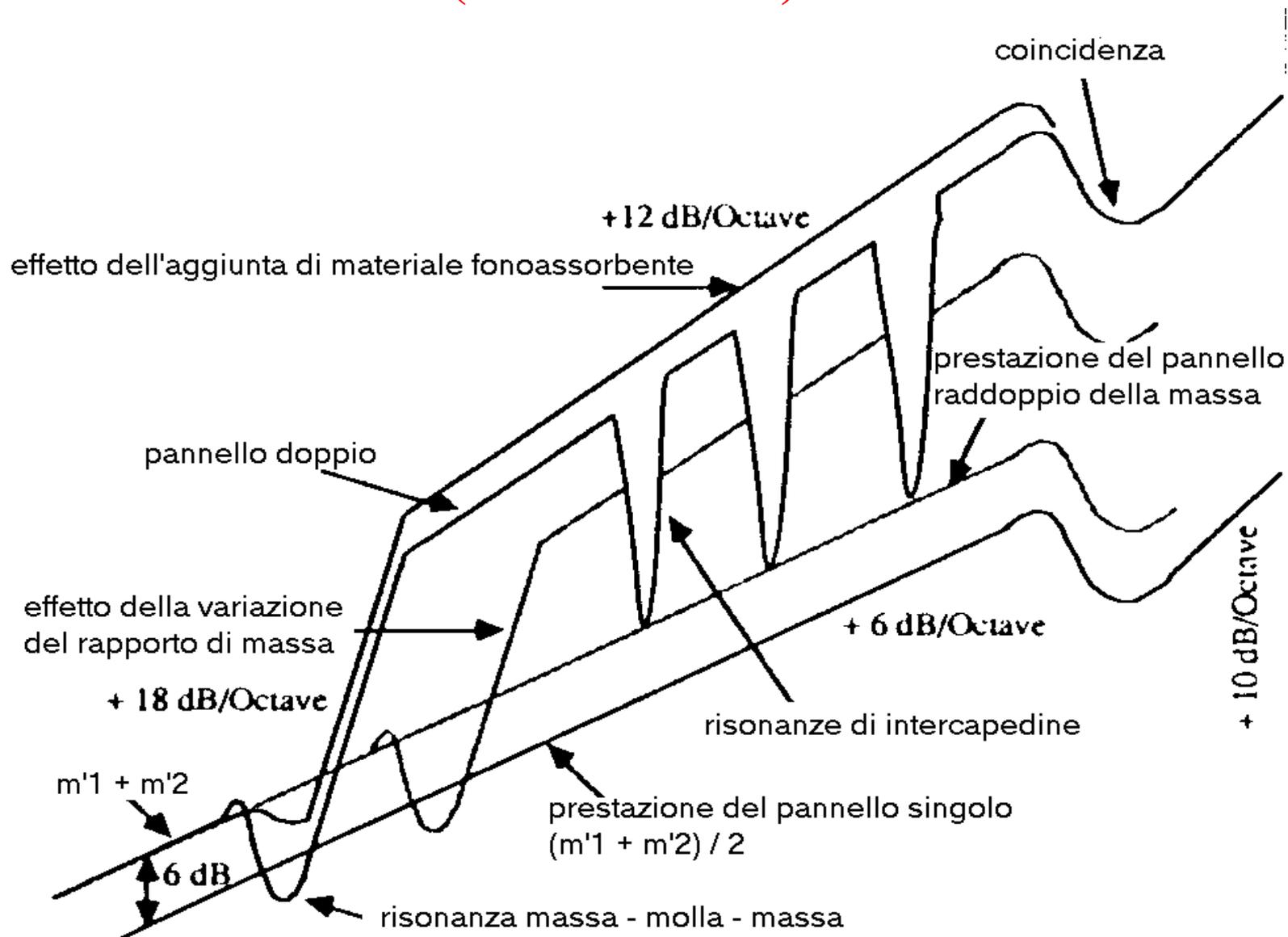
Sopra la frequenza critica

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

f_c = frequenza critica della parete (Hz);

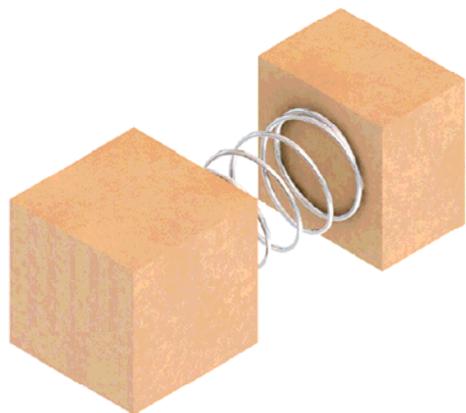
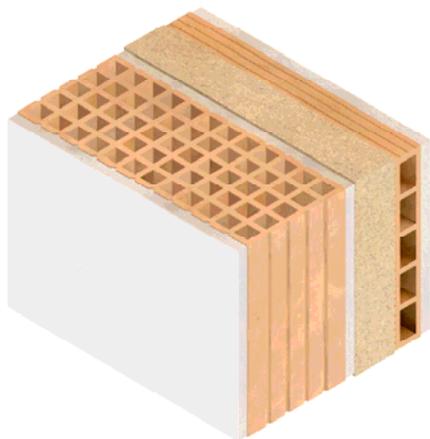
η = smorzamento totale della parete

Potere fonoisolante di partizioni doppie (stima teorica)

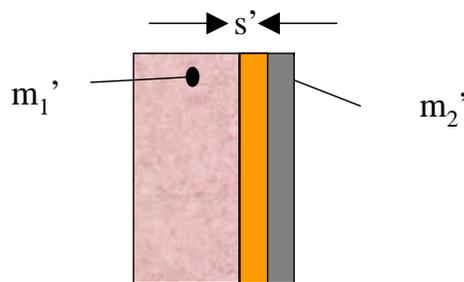


Frequenza di risonanza massa - molla – massa

(pareti doppie)

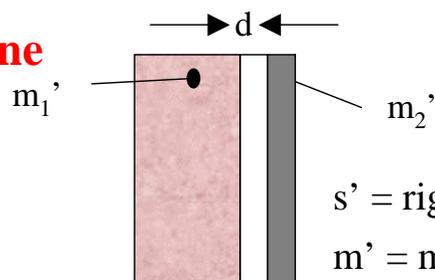


Per pareti fissate tra loro mediante lo strato elastico



$$f_0 = 160 \sqrt{s' \left(\frac{1}{m_1'} + \frac{1}{m_2'} \right)} \text{ (Hz)}$$

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



$$f_0 = 160 \sqrt{\frac{0,111}{d} \left(\frac{1}{m_1'} + \frac{1}{m_2'} \right)} \text{ (Hz)}$$

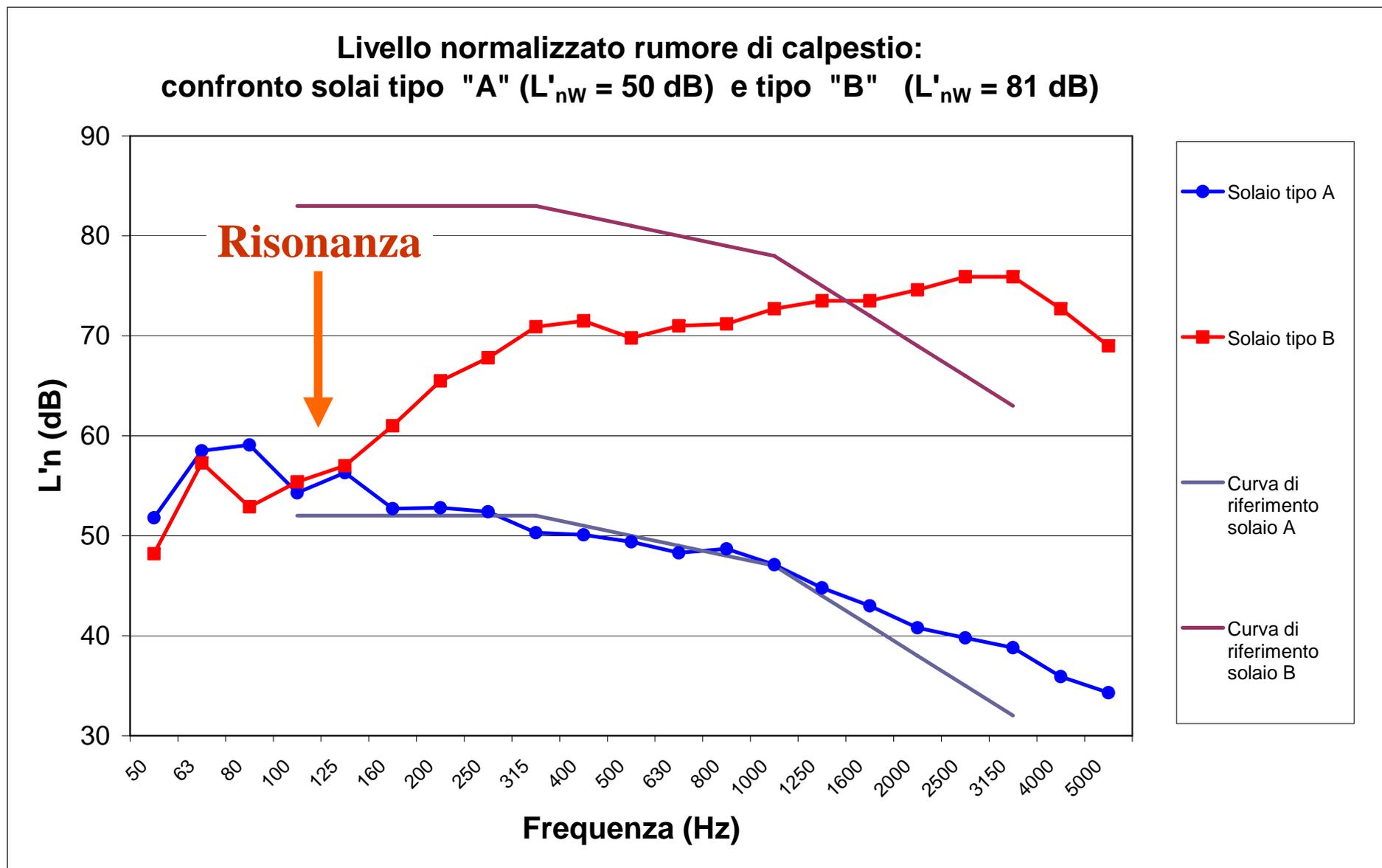
s' = rigidità dinamica superficiale dello strato elastico (MN/m³)

m' = massa superficiale dei due strati della parete doppia (kg/m²)

d = spessore dell'intercapedine (m)

Effetto della risonanza massa - molla - massa

Su un solaio con e senza pavimento galleggiante

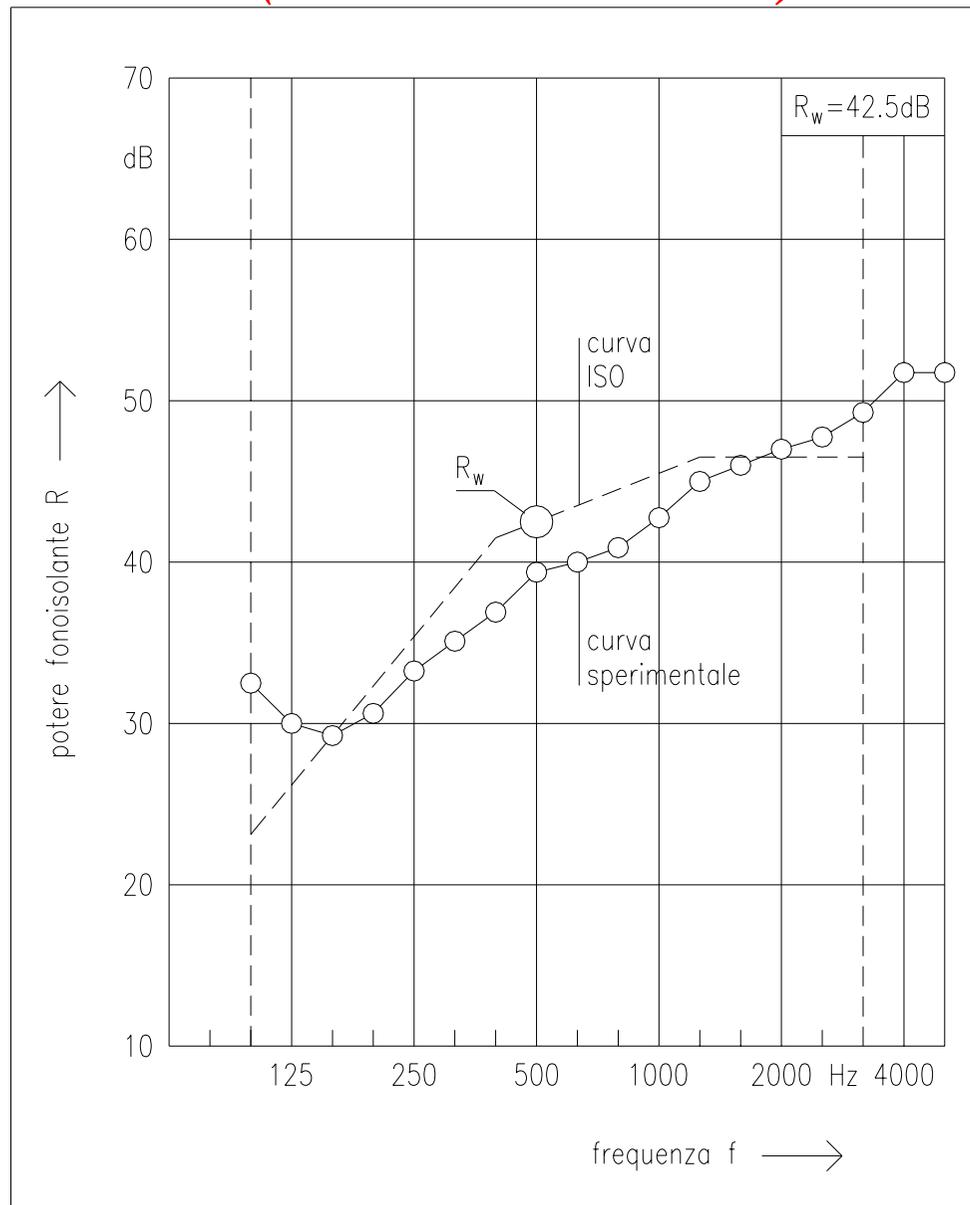


L'analisi semplificata del potere fonoisolante

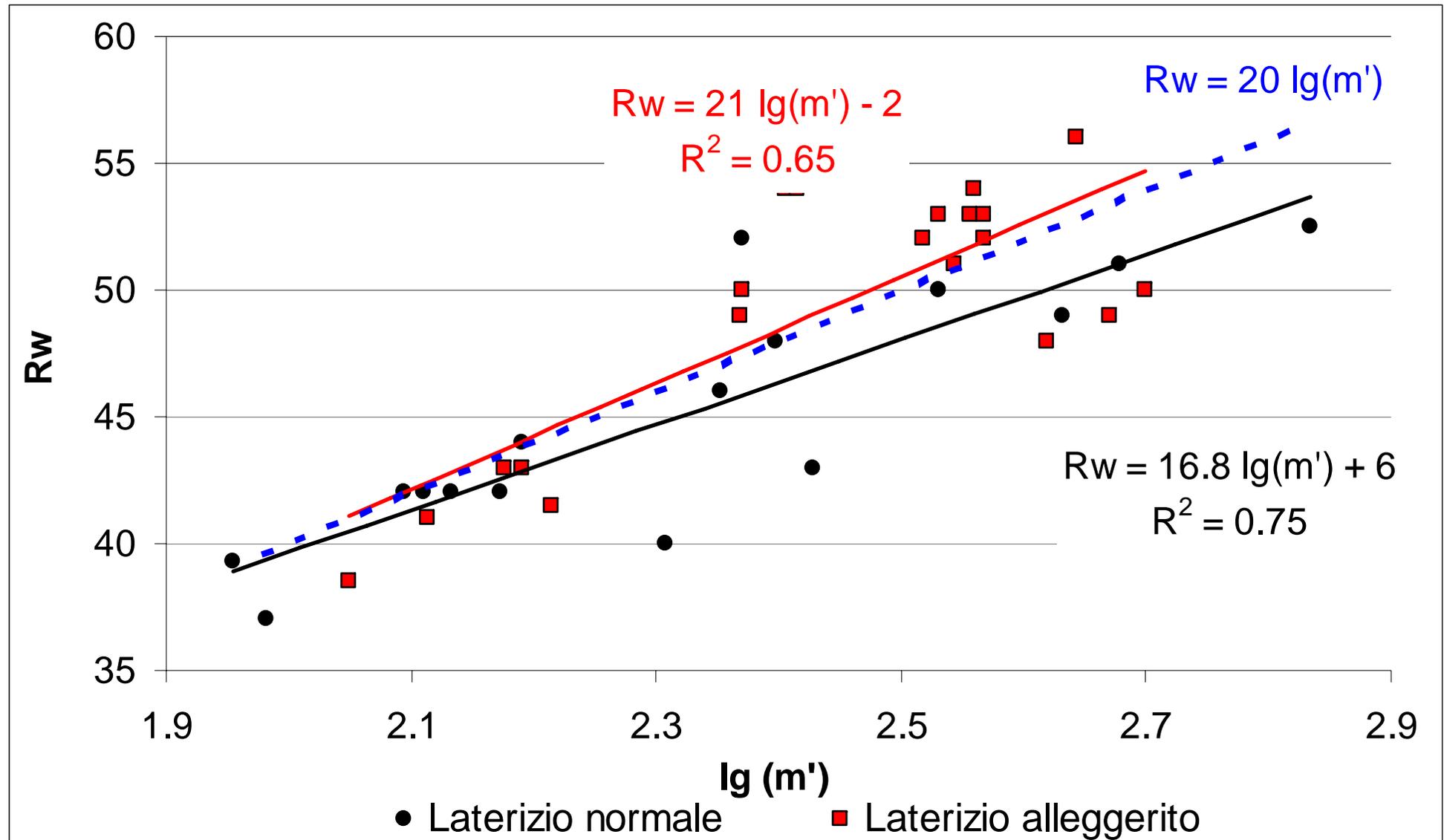
Gli indici di valutazione

Definizione dell'indice di valutazione per l'isolamento ai rumori aerei

(UNI EN ISO 717-1)



Le formule di correlazione (metodi EMPIRICI)



Calcolo dell'indice di valutazione del potere fonoisolante per strutture omogenee

Formula UNI EN 12354-1 ($m' > 150 \text{ kg/m}^2$)

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

Formula UNI TR 11175 ($80 < m' < 400 \text{ kg/m}^2$)

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

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

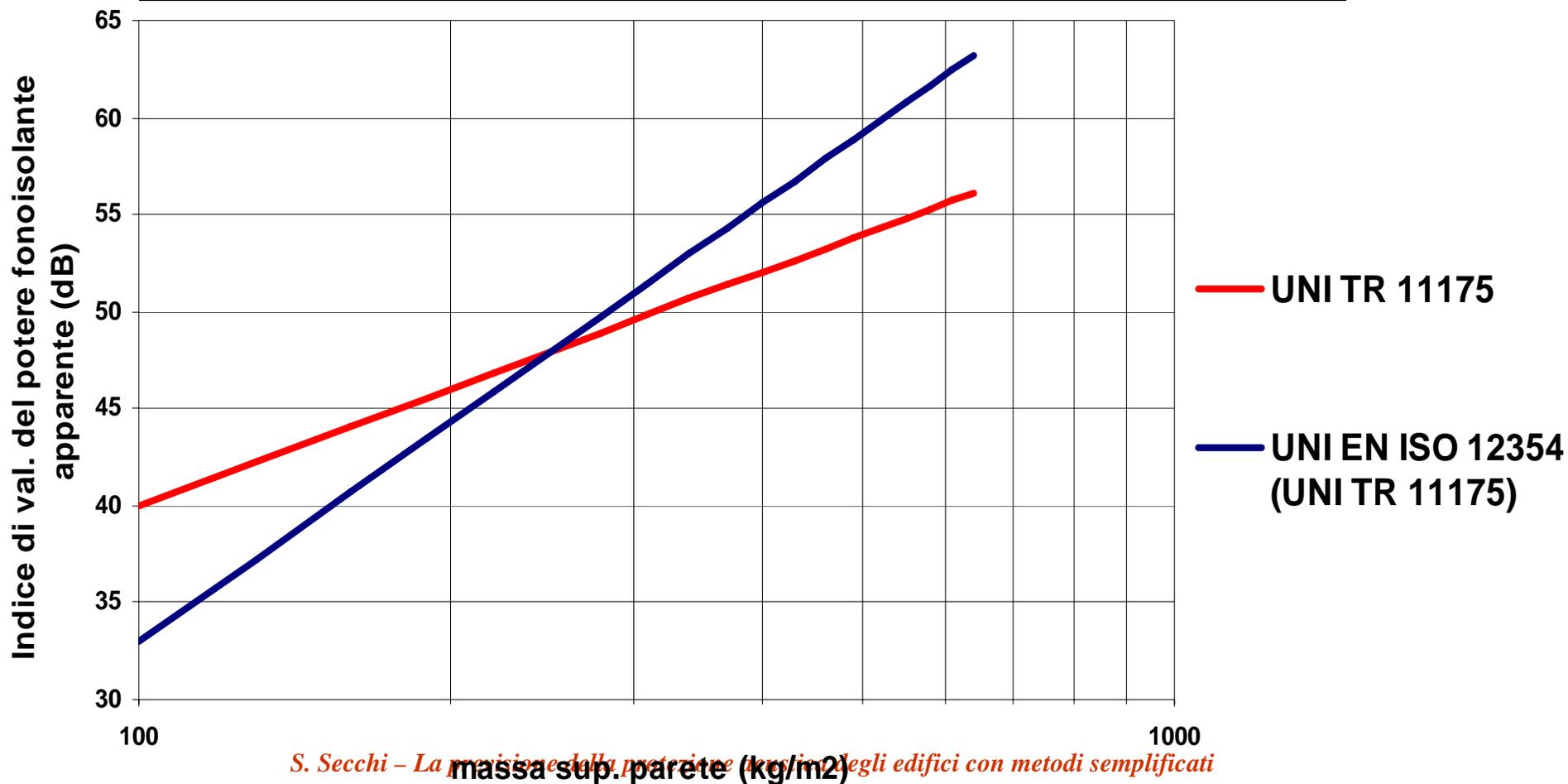
$$R_w = 32,1 \lg m' - 28,5 \text{ (dB)}$$

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

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

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
Linee guida UNI ($m' > 150 \text{ kg/m}^2$)	43.5	48.0	50.9
DIN ($m' > 150 \text{ kg/m}^2$)	41.4	48.5	53.2
Önorm ($m' > 150 \text{ kg/m}^2$)	44.5	51.7	56.4

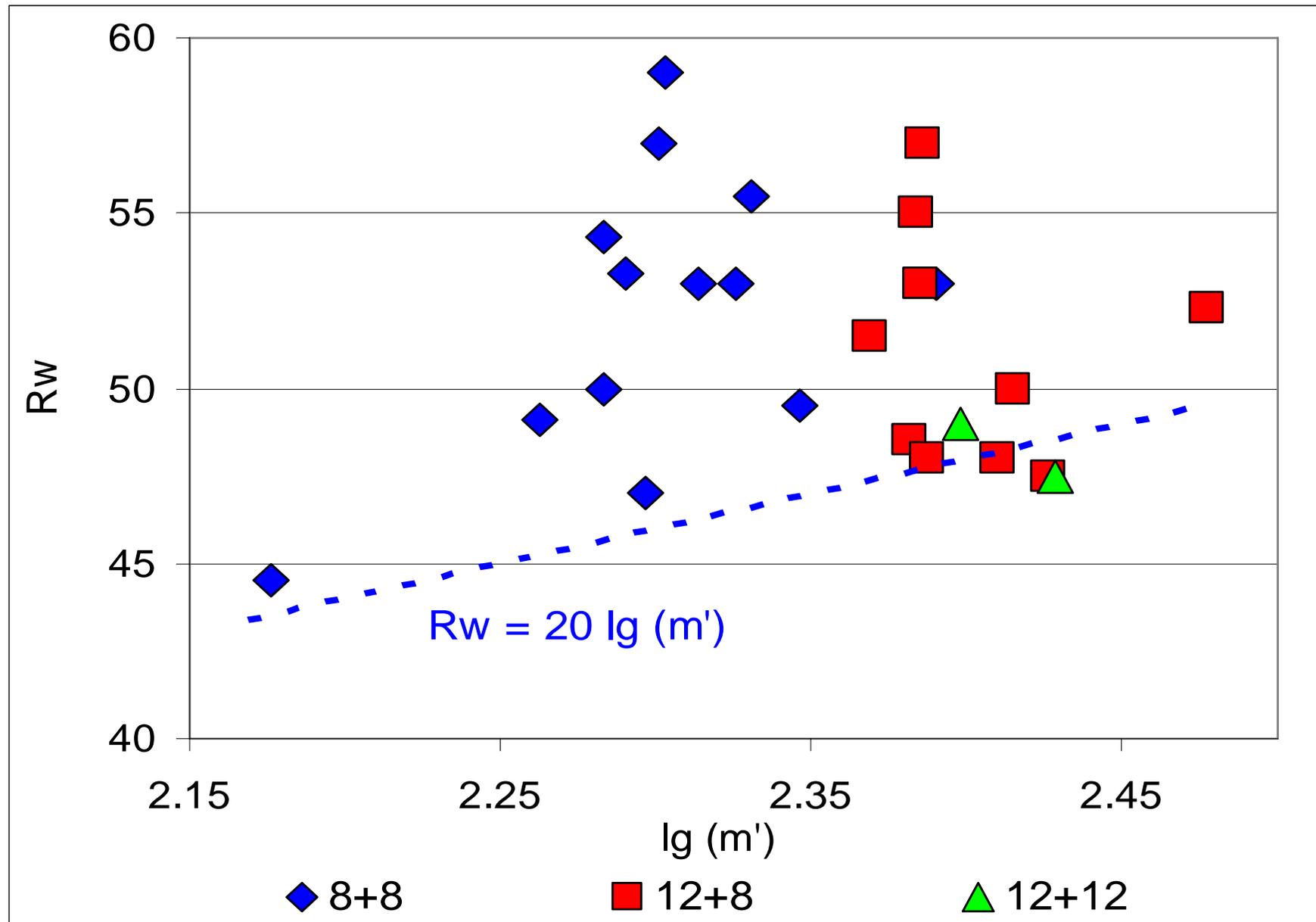


Indice di valutazione del potere fonoisolante di pareti semplici

Principali considerazioni

- Per $m' > 200 \text{ kg/m}^2$, le pareti in elementi di **laterizio alleggerito** forniscono R_w superiore di alcuni dB rispetto a quelle in laterizio normale
- La differenza aumenta all'aumentare della massa superficiale della parete
- I blocchi provvisti di bordi con **incastro maschio/femmina**, a parità di massa superficiale, incrementano R_w in media maggiore di 4 dB
- Lo stesso incremento è raggiungibile aumentando la massa con il **riempimento di malta dei fori dei blocchi**
- Dall'analisi dei risultati emerge che i dati forniti da **alcuni laboratori** tendono a **sovrastimare le prestazioni** di determinate soluzioni tecnologiche rispetto ai valori mediamente forniti dagli altri laboratori

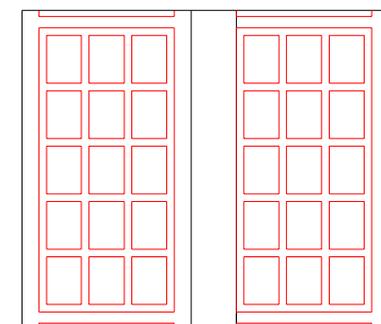
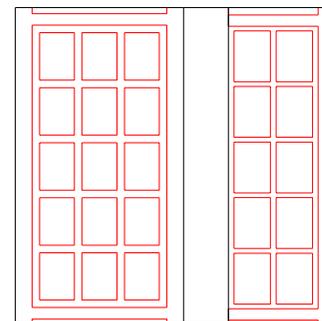
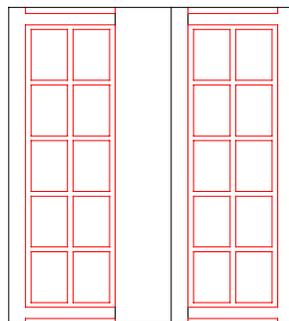
Indice di valutazione del potere fonoisolante di pareti doppie in elementi di laterizio forato



Pareti doppie in elementi di laterizio forato

Relazioni empiriche

	(8 + 8)	(8 + 12)	(12 + 12)
Con intercapedine vuota	$R_w = 20 \lg (m') + 2$	$R_w = 20 \lg (m')$	Pochi dati
Con materiale fonoassorbente	$R_w = 20 \lg (m') + 5$	$R_w = 20 \lg (m') + 3$	Pochi dati
Con materiale fonoassorbente e banda resiliente sotto	$R_w = 20 \lg (m') + 8$	$R_w = 20 \lg (m') + 6$	Pochi dati



La valutazione semplificata delle trasmissioni laterali

Metodo B linee guida a trasmissione laterale equivalente
(per strutture omogenee, massicce e giuntate rigidamente tra loro)

Indice di valutazione del potere fonoisolante apparente tra ambienti interni

(valutazione semplificata)

$$R'_w = R_w - K'$$

R_w = potere fonoisolante della partizione (parete o solaio, dedotto da misure di laboratorio o da stima teorica (dB));

(il metodo ipotizza che il potere fonoisolante della parete massiccia segua la legge della massa data da:

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

K' = contributo globale (peggiorativo) dovuto alla trasmissione sonora laterale (dB)

Calcolo semplificato della trasmissione sonora laterale (K') (solo in assenza di strati di rivestimento di pareti o solai omogenei)

		Massa sup. media strutture laterali (kg/m ²)								
		100	150	200	250	300	350	400	450	500
Massa sup. partiz. kg/m ²	100	2.5	1.5	1.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
	150	4.0	2.5	1.5	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5
	200	5.0	3.5	2.5	2.0	1.5	1.0	1.0	0.5	0.5
	250	6.0	4.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	1.0	1.0
	300	7.0	5.0	4.0	3.0	2.5	2.0	1.5	1.5	1.0
	350	7.5	6.0	4.5	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.5
	400	8.0	6.5	5.0	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	2.0
	450	8.5	7.0	5.5	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0
	500	9.0	7.5	6.0	5.0	4.5	3.5	3.0	3.0	2.5

GIUNTI RIGIDI A CROCE

Masse superficiali nel rapporto 1:2,3

S. Secchi – La previsione della protezione acustica degli edifici con metodi semplificati

Calcolo semplificato della trasmissione sonora laterale (K') *(solo in assenza di strati di rivestimento di pareti o solai omogenei)*

		Massa sup. media strutture laterali (kg/m ²)								
		100	150	200	250	300	350	400	450	500
Massa sup. partiz. kg/m ²	100	2.5	1.5	1.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
	150	4.0	2.5	1.5	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5
	200	5.0	3.5	2.5	2.0	1.5	1.0	1.0	0.5	0.5
	250	6.0	4.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	1.0	1.0
	300	7.0	5.0	4.0	3.0	2.5	2.0	1.5	1.5	1.0
	350	7.5	6.0	4.5	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.5
	400	8.0	6.5	5.0	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	2.0
	450	8.5	7.0	5.5	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0
	500	9.0	7.5	6.0	5.0	4.5	3.5	3.0	3.0	2.5

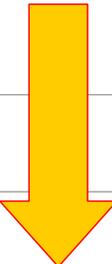
GIUNTI RIGIDI A CROCE

Masse superficiali nel rapporto 1:2,3

S. Secchi – La previsione della protezione acustica degli edifici con metodi semplificati

Calcolo semplificato della trasmissione sonora laterale (K')

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

		Massa sup. media strutture laterali (kg/m ²)								
		100	150	200	250	300	350	400	450	500
Massa sup. partiz. kg/m ²	100	2.5	1.5	1.0	0.5		0.0	0.0	0.0	0.0
	150	4.0	2.5	1.5	1.0		0.5	0.5	0.5	0.5
	200	5.0	3.5	2.5	2.0		1.0	1.0	0.5	0.5
	250					2.0	1.5	1.0	1.0	1.0
	300	7.0	5.0	4.0	3.0	2.5	2.0	1.5	1.5	1.0
	350	7.5	6.0	4.5	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.5
	400	8.0	6.5	5.0	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	2.0
	450	8.5	7.0	5.5	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0
	500	9.0	7.5	6.0	5.0	4.5	3.5	3.0	3.0	2.5

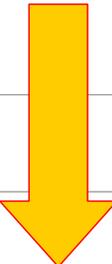
GIUNTI RIGIDI A CROCE

Masse superficiali nel rapporto 1:2,3

S. Secchi – La previsione della protezione acustica degli edifici con metodi semplificati

Calcolo semplificato della trasmissione sonora laterale (K')

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

		Massa sup. media strutture laterali (kg/m ²)								
		100	150	200	250	300	350	400	450	500
Massa sup. partiz. kg/m ²	100	2.5	1.5	1.0	0.5		0.0	0.0	0.0	0.0
	150	4.0	2.5	1.5	1.0		0.5	0.5	0.5	0.5
	200	5.0	3.5	2.5	2.0		1.0	1.0	0.5	0.5
	250					2,0	1.5	1.0	1.0	1.0
	300	7.0	5.0	4.0	3.0	2.5	2.0	1.5	1.5	1.0
	350	7.5	6.0	4.5	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.5
	400	8.0	6.5	5.0	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	2.0
	450	8.5	7.0	5.5	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0
	500	9.0	7.5	6.0	5.0	4.5	3.5	3.0	3.0	2.5

GIUNTI RIGIDI A CROCE

Masse superficiali nel rapporto 1:2,3

S. Secchi – La previsione della protezione acustica degli edifici con metodi semplificati

Calcolo semplificato della trasmissione sonora laterale (K')

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

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

GIUNTI RIGIDI A T

Masse superficiali nel rapporto 1:2,3

S. Secchi – La previsione della protezione acustica degli edifici con metodi semplificati

La previsione delle prestazioni acustiche del serramento

(metodo EN 14351-1 – annex B)

Il metodo di applica a finestre aventi $R_w < 39 \text{ dB}$ o $(R_w + C_{tr}) < 35 \text{ dB}$. Diversamente la prestazione deve essere determinata mediante prove di laboratorio.

Il metodo è applicabile al caso di finestre singole fisse o apribili (incernierate in alto, in basso, lateralmente, o scorrevoli).

Non è applicabile al caso di porte finestre con griglie ventilanti, né al caso di vetrate contenenti **Esafluoruro di Zolfo** (SF_6).

Le guarnizioni impiegate sono del tipo lisce, flessibili, durature e semplici da sostituire.

Almeno una guarnizione deve essere continua.

La **classe di tenuta all'aria** deve essere **almeno la 3**, per finestre **incernierate**, ed **almeno la 2**, per finestre **scorrevoli** (EN 12207).

La prestazione acustica del serramento

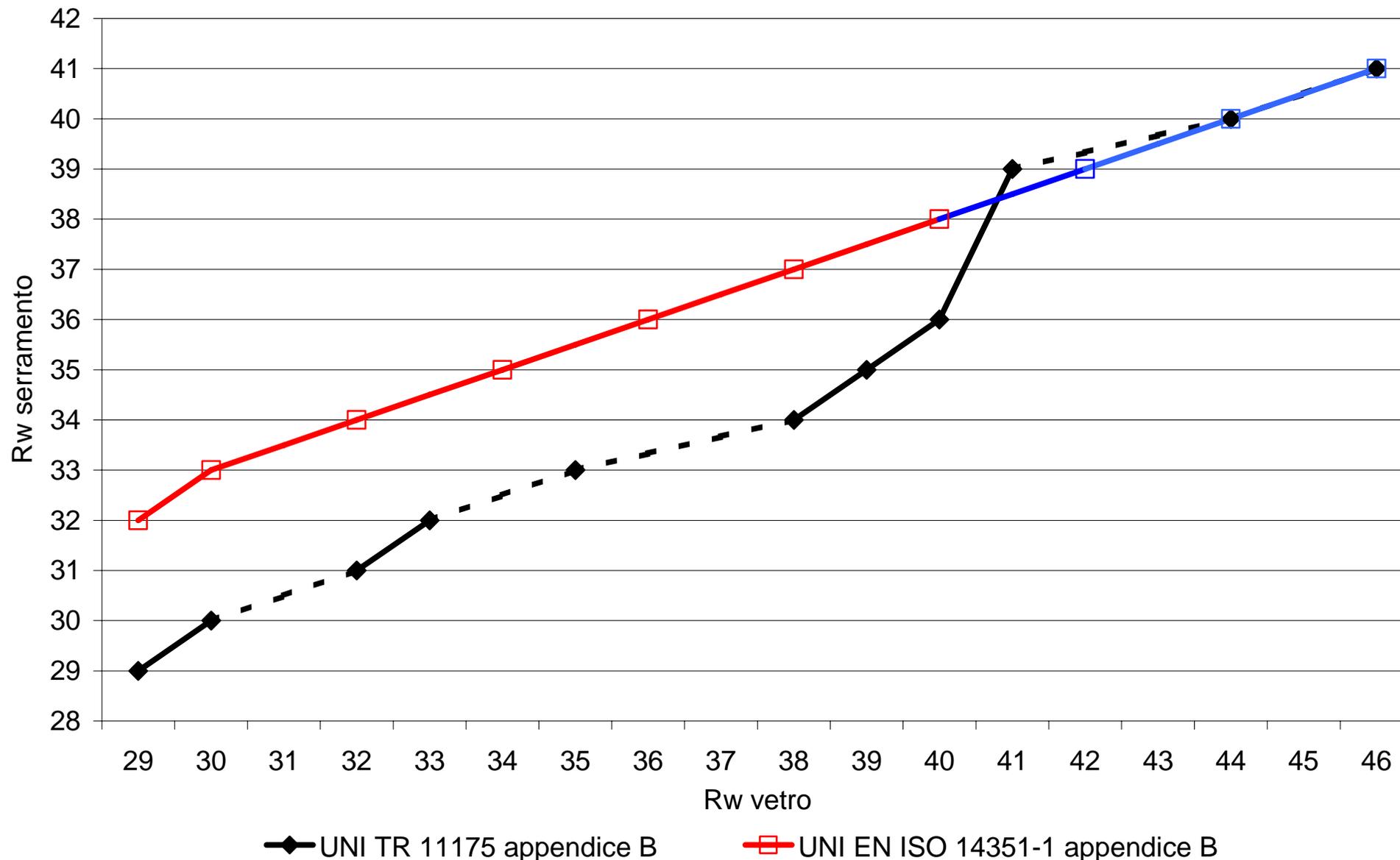
(metodo Pr EN 14351-1 – annex B)

Relazione tra R_w del vetro e R_w del serramento

R_w vetro [dB]	Finestre a singola anta ^a		Finestre a singola anta scorrevoli ^b	
	R_w finestra [dB]	N° guarnizioni richieste ^c	R_w finestra [dB]	N° guarnizioni richieste ^c
27	30	1	25	1
28	31	1	26	1
29	32	1	27	1
30	33	1	28	1
32	34	1	29	1
34	35	1	29	1
36	36	2	30	1
38	37	2	-	-
40	38	2	-	-
42	39 ^{d, e, f}	2	-	-
44	40 ^{d, e, f}	2	-	-
46	41 ^{d, e, f}	2	-	-

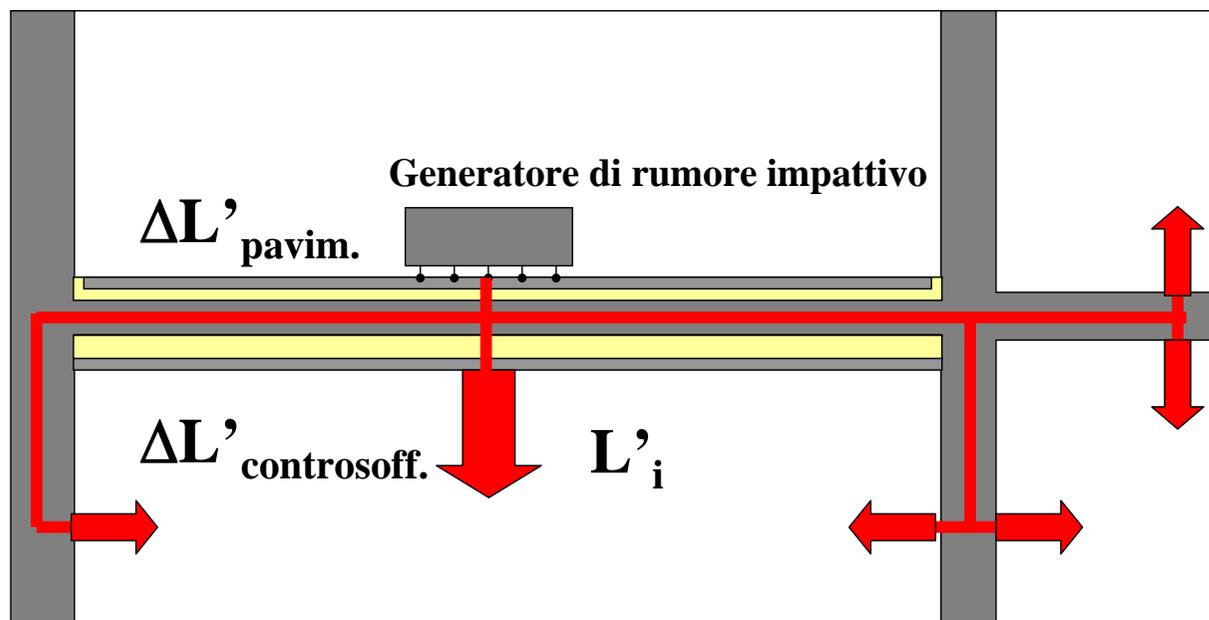
^a Finestre a singola anta fisse o apribili con classe 3 di permeabilità all'aria; ^b Finestre a singola anta scorrevoli con classe 2 di permeabilità all'aria; ^c Solo finestre apribili; ^d Assenza di distanziatori ad unire le lastre del vetro camera; ^e Finestre ad anta singola incernierate lateralmente o ad anta ribalta. Spessore minimo del telaio: se in legno: 65 mm, densità del legno $\geq 450 \text{ kg/m}^3$; se in legno e metallo: 75 mm, densità del legno $\geq 450 \text{ kg/m}^3$; se in metallo: 50 mm, con dimensione minima delle camere d'aria del telaio: 50 mm; se in PVC: 60 mm, con pareti del profilo di classe A secondo EN 12608; ^f Per $R_{w \text{ serramento}} \geq 39 \text{ dB}$ la classe di tenuta all'aria deve essere pari a 4.

Relazione tra R_w del vetro e R_w del serramento secondo i metodi delle norme UNI TR 11175 e UNI EN ISO 14351-1



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)

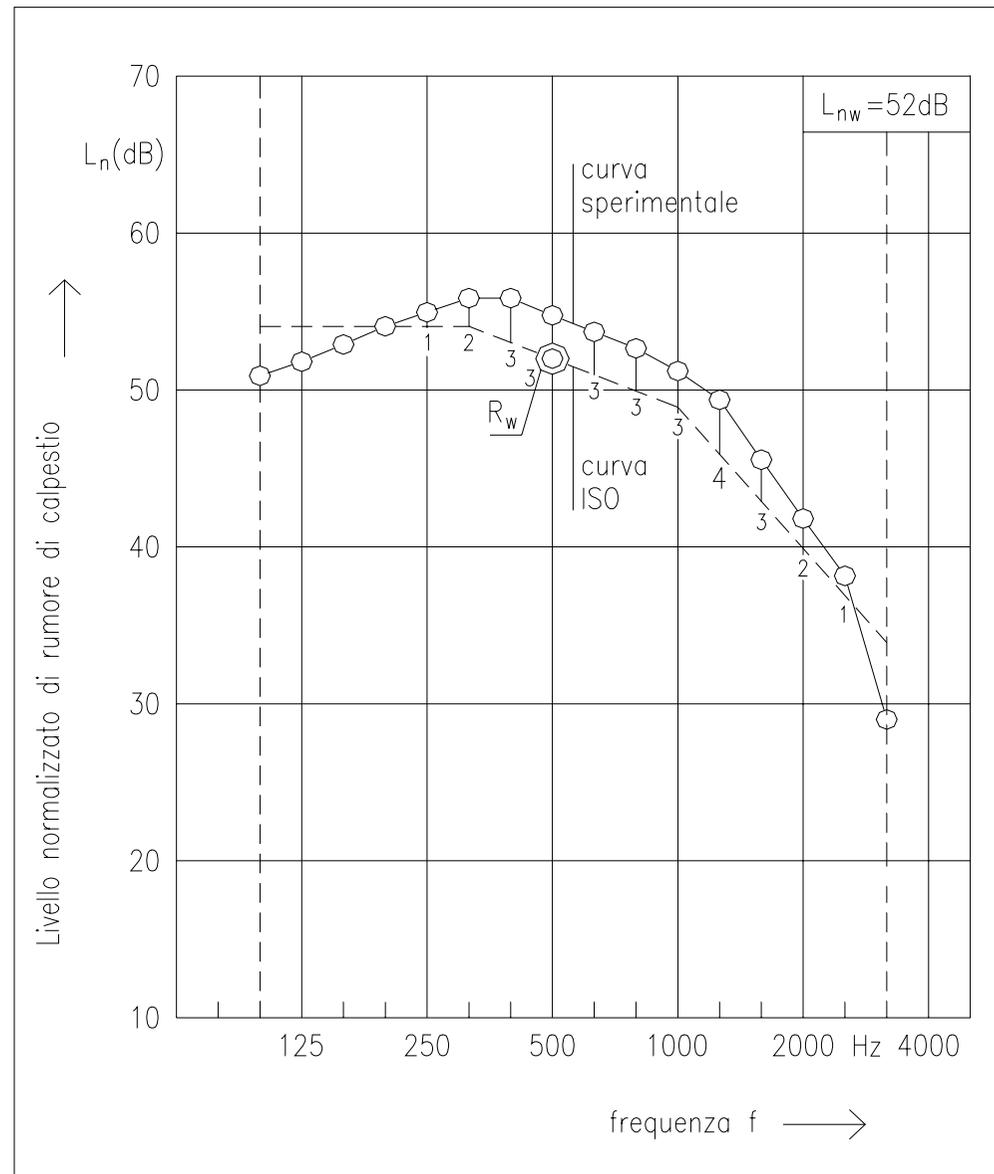
A = Assorbimento equivalente nell'ambiente disturbato (m^2)

A_0 = Assorbimento equivalente di riferimento (= 10 m^2)

Livello di rumore da calpestio

A differenza che per l'isolamento acustico ai rumori aerei, dove si valuta una differenza tra due livelli sonori (ambienti sorgente e ricevente), in cui vengono eliminate le specifiche caratteristiche della sorgente sonora, nel **livello di rumore da calpestio** il livello misurato è funzione **oltre che delle caratteristiche del solaio anche di quelle del generatore di rumore.** Pertanto la stima puramente teorica in frequenza del livello di rumore da calpestio può essere molto complessa e poco affidabile

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



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 (kg/m^2)

Esempio:

Per solaio avente $m' = 300 \text{ kg}/\text{m}^2$

$$L_{n,w} = 77 \text{ dB}$$

Per solai omogenei in cemento armato monolitico (non prevista dalle linee guida UNI):

$$L_{nw} = 53 - 30 \lg(s) \quad (\text{dB})$$

s = spessore del solaio nudo (m)

Esempio:

Per solaio avente $s = 0,20 \text{ m}$

$$L_{n,w} = 74 \text{ dB}$$

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

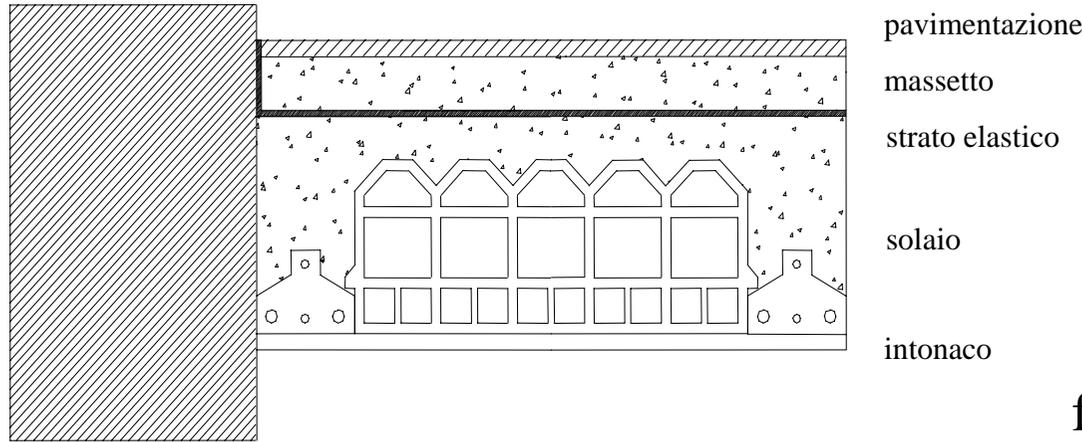
$$L'_{n,w} = L_{n,w} - \Delta L_w + K \text{ (dB)}$$

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

ΔL_w = Riduzione del livello per presenza di **pavimenti galleggianti** (dB)

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

Calcolo della riduzione di livello di rumore da calpestio



pavimentazione

massetto

strato elastico

solaio

intonaco

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

f = frequenza di analisi (Hz)

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

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

s' = rigidità dinamica sup. dello strato elastico del pavimento galleggiante (MN/m³)

m' = massa superficiale del massetto del solaio (sopra lo strato elastico) (kg/m²)

Nel caso di più strati di materiale elastico sovrapposti:

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

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)

Calcolo semplificato della trasmissione laterale

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

		Massa superficiale media delle strutture laterali(kg/m ²)								
		100	150	200	250	300	350	400	450	500
massa superficiale del solaio (kg/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 trasmissione laterale

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

		Massa superficiale media delle strutture laterali(kg/m ²)								
		100	150	200	250	300	350	400	450	500
massa superficiale del solaio (kg/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
	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 trasmissione laterale

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

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

Calcolo semplificato della trasmissione laterale

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

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

Grazie per l'attenzione