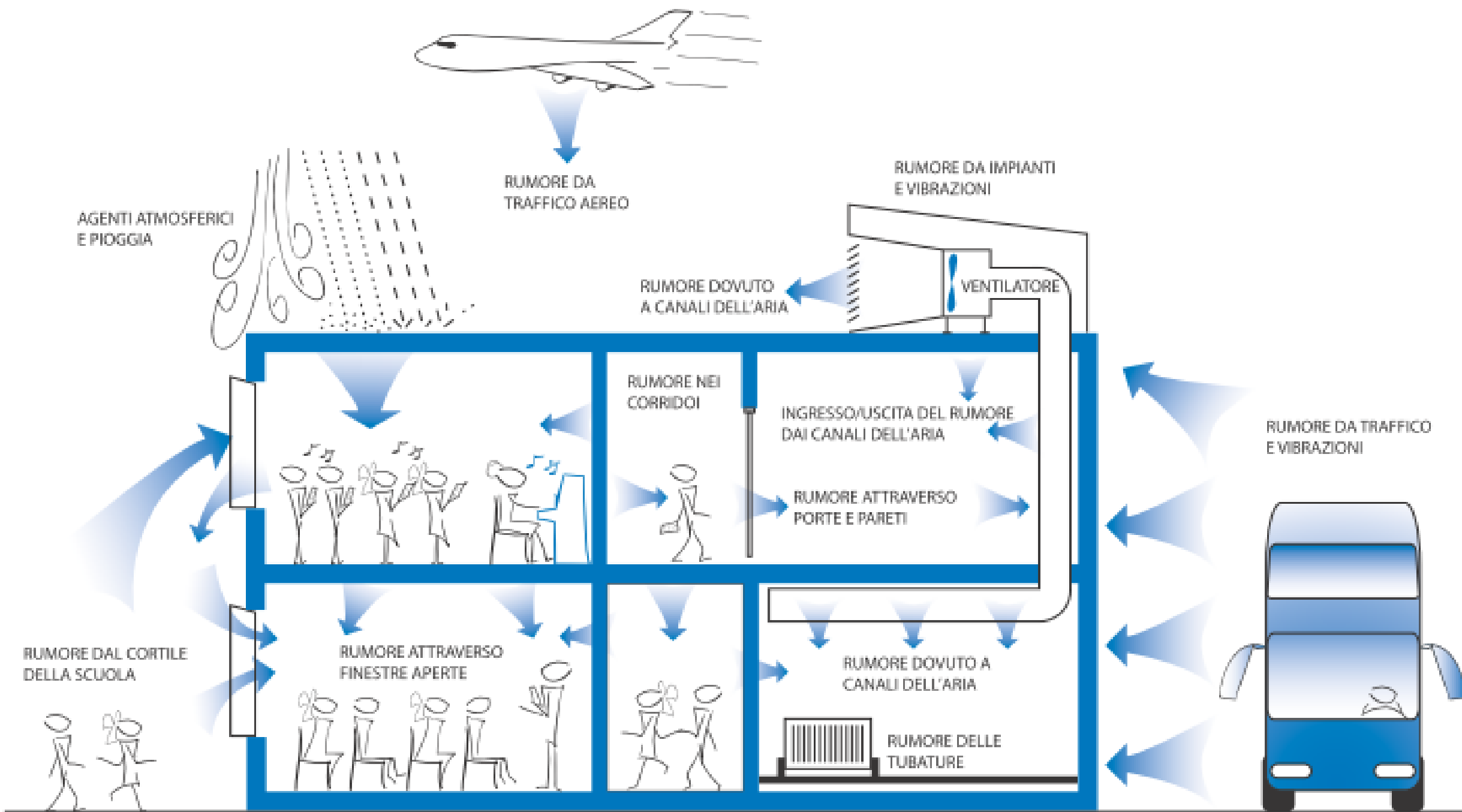


Acustica nelle scuole



Problemi di rumore nelle scuole:

- **Condizionamento dell'apprendimento nei bambini normoudenti**
(Oltre al rumore proveniente dall'esterno, All'interno delle aule scolastiche di scuola primaria la principale fonte di rumore risulta essere quello generato dagli scolari stessi mentre svolgono la normale attività didattica)
- **Lo sforzo vocale come malattia professionale**

Problemi di rumore nelle scuole

Rumore in aula scuola primaria:

□ 56 dB(A) se stanno svolgendo un'attività didattica silenziosa

□ 77 dB(A) se svolgono attività di gruppo.

Il livello medio del rumore di fondo per l'attività didattica più frequente, che prevede i bambini seduti al proprio banco con qualche interazione fra loro, è pari a 65 dB(A)

Problemi di rumore nelle scuole

SFORZO VOCALE INSEGNANTE

- La norma ISO 9921 [20] definisce lo sforzo vocale come il livello equivalente continuo di pressione sonora ponderata A misurato ad un metro di distanza di fronte alla bocca del parlatore, $L_{S,A,1\text{ m}}$, e individua 5 gradi di sforzo vocale da “rilassato” a “molto forte”, come riportato in tabella 1.1.

Problemi di rumore nelle scuole

SFORZO VOCALE INSEGNANTE

Tabella 1.1 – Gradi di sforzo vocale secondo la norma ISO 9921.

Sforzo vocale	$L_{S,A,1\text{ m}}$ (dB)
Molto forte	78
Forte	72
Elevato	66
Normale	60
Rilassato	54

Problemi di rumore nelle scuole

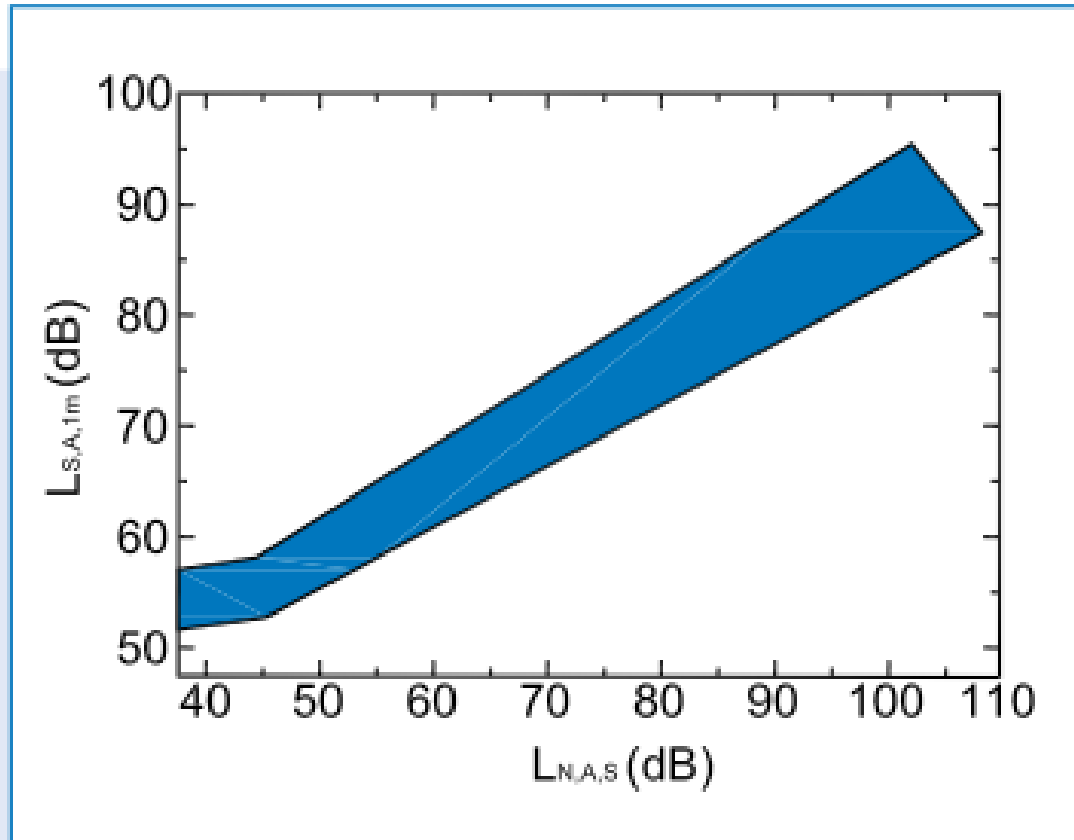


Figura 1.2 – Rappresentazione dell'effetto "Lombard", come relazione tra lo sforzo vocale, $L_{S,A,1m}$, e il livello di rumore di fondo nella posizione del parlatore, $L_{N,A,S}$.

Requisiti acustici - Premessa

- **La chiarezza** della percezione sonora è strettamente legata alla **durata della “coda sonora” in ambiente**, valutata convenzionalmente con la misura del tempo di riverberazione.
- Nel caso di ascolto della parola, il contributo della riverberazione sonora deve essere tale per cui si instauri una situazione favorevole di compromesso, secondo cui essa possa concorrere al rinforzo del suono diretto, senza che una durata troppo lunga della coda sonora mascheri i segnali che si succedono nel tempo.

Requisiti acustici - Premessa

- I **rumori** provenienti **dall'ambiente esterno** e i rumori **generati all'interno di un ambiente** ne determinano il **rumore residuo**.
- I rumori possono mascherare i suoni prodotti da un parlatore e possono disturbare l'ascolto determinando una sensazione uditiva sgradevole e fastidiosa, e quindi uno stato generale di insoddisfazione relativo alle condizioni acustiche.

Requisiti acustici - Premessa

- **eccessiva riverberazione** + **l'elevata rumorosità di fondo** = riducono l'intelligibilità della parola

l'intelligibilità della parola → percentuale di parole o frasi correttamente comprese da un ascoltatore rispetto alla totalità delle parole o frasi pronunciate da un parlatore.

Requisiti acustici - Premessa

l'intelligibilità della parola dipende:

- ❑ fenomeni ambientali citati,
- ❑ caratteristiche di emissione della voce umana,
- ❑ in particolare dall'intensità di emissione, variabile con lo sforzo vocale del parlatore.

I metodi di valutazione soggettivi si basano sulla realizzazione di **test d'intelligibilità** tra parlatori e gruppi di ascoltatori usando frasi o parole in rima, mentre per la valutazione oggettiva si determinano degli indici di intelligibilità ottenuti dalla misura o dal calcolo di parametri connessi alla riverberazione e alla rumorosità di fondo.

Requisiti acustici - Premessa

In un'aula scolastica **è necessario garantire valori elevati di intelligibilità, prossimi al 100%.**

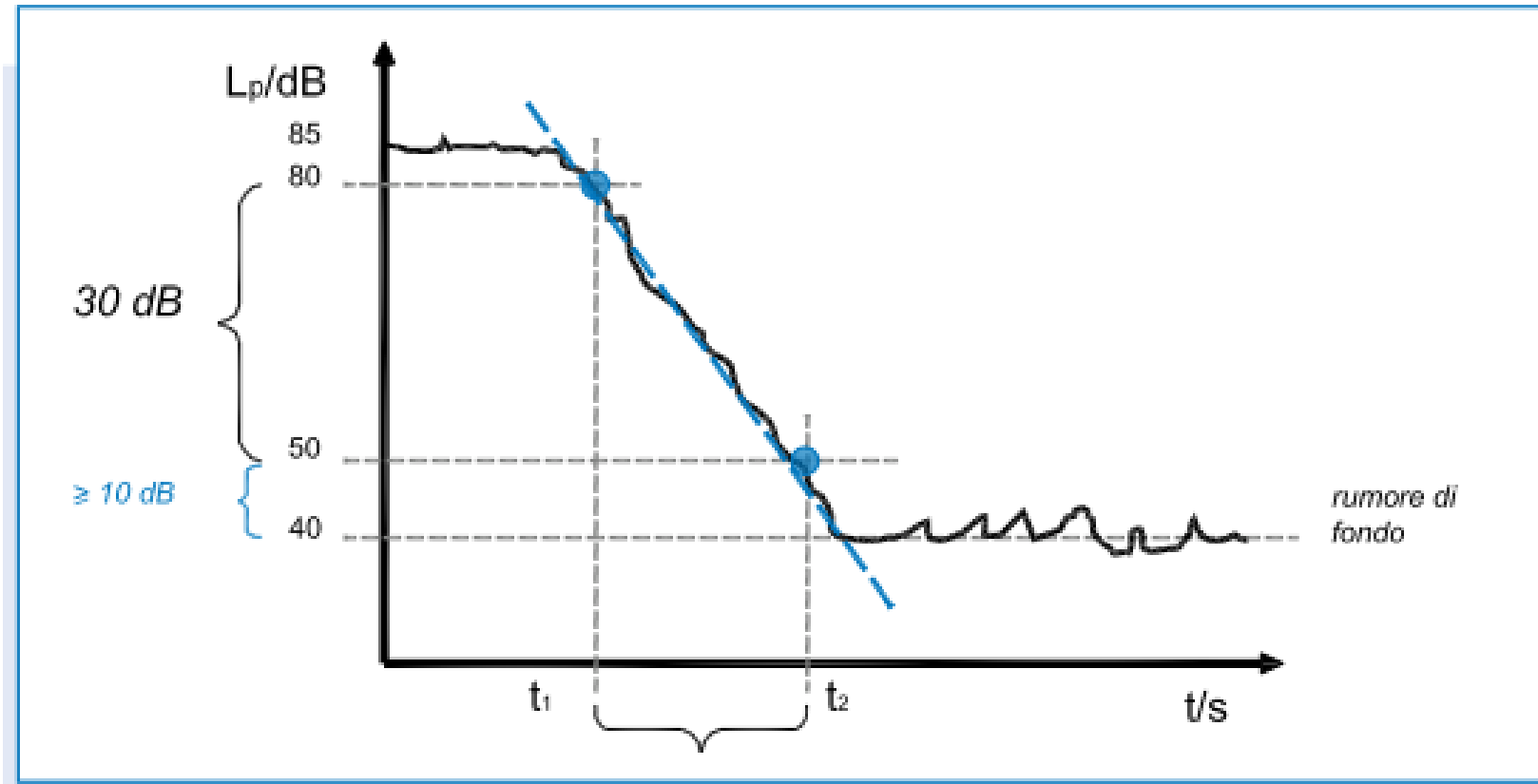
A tal fine è necessario **prevedere strategie** ed interventi di controllo del rumore e della riverberazione fin dalla progettazione preliminare, quali ad esempio:

- ☐ **localizzare la scuola** in una zona acusticamente protetta, lontano da grandi infrastrutture stradali, ferroviarie e aeroportuali, da attività industriali e del terziario particolarmente rumorose;
- ☐ prevedere un adeguato **isolamento acustico** degli ambienti acusticamente sensibili;
- ☐ **ridurre la rumorosità degli impianti;**
- ☐ prevedere l'applicazione di **pannellature fonoassorbenti** per la correzione acustica dell'ambiente interno.

Requisiti acustici – Tempo di riverbero

Il **tempo di riverbero secondo Sabine** (detto anche **T60** o semplicemente RT) è il tempo in cui prima del transitorio di estinzione la densità di energia sonora diminuisce di 60 dB rispetto al massimo valore raggiunto. Questo parametro consente di valutare in quanto tempo un suono si estingue in un ambiente chiuso.

Requisiti acustici – Tempo di riverbero



Determinazione del tempo di riverberazione dalla curva di decadimento. In questo caso l'intervallo considerato al di sotto del livello iniziale è $-5 \div -35$ dB. L'intervallo temporale ($t_2 - t_1$) è moltiplicato per 2 per riportarlo ad un decadimento di 60 dB, secondo la definizione del tempo di riverberazione.

Requisiti acustici – Tempo di riverbero

- Wallace C. Sabine determinò la legge che lega il tempo di riverberazione alle caratteristiche dell'ambiente, quali il volume e l'area di assorbimento acustico equivalente

$$T = 0,16 \frac{V}{A_{\text{Tot}}} \quad \text{s,}$$

dove:

V = volume dell'ambiente espresso in metri cubi;

A_{Tot} = area di assorbimento acustico equivalente, espressa in metri quadrati.

Requisiti acustici – Tempo di riverbero

- i valori ottimali dei tempi di riverberazione (DM 13/09/1977), che devono essere determinati in funzione del volume dell'ambiente, riferiti alle bande di ottava 125 – 250 – 500 – 1000 – 2000 – 4000 Hz, secondo la seguente formula:

$$T_{\text{ott}} = K (-0,2145 + 0,45 \log V) \text{ s,}$$

- dove V è il volume dell'aula in metri cubi e K dipende dalla frequenza e vale alle diverse bande di ottava:

125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
1,7	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0

Requisiti acustici – Il livello del rumore di fondo

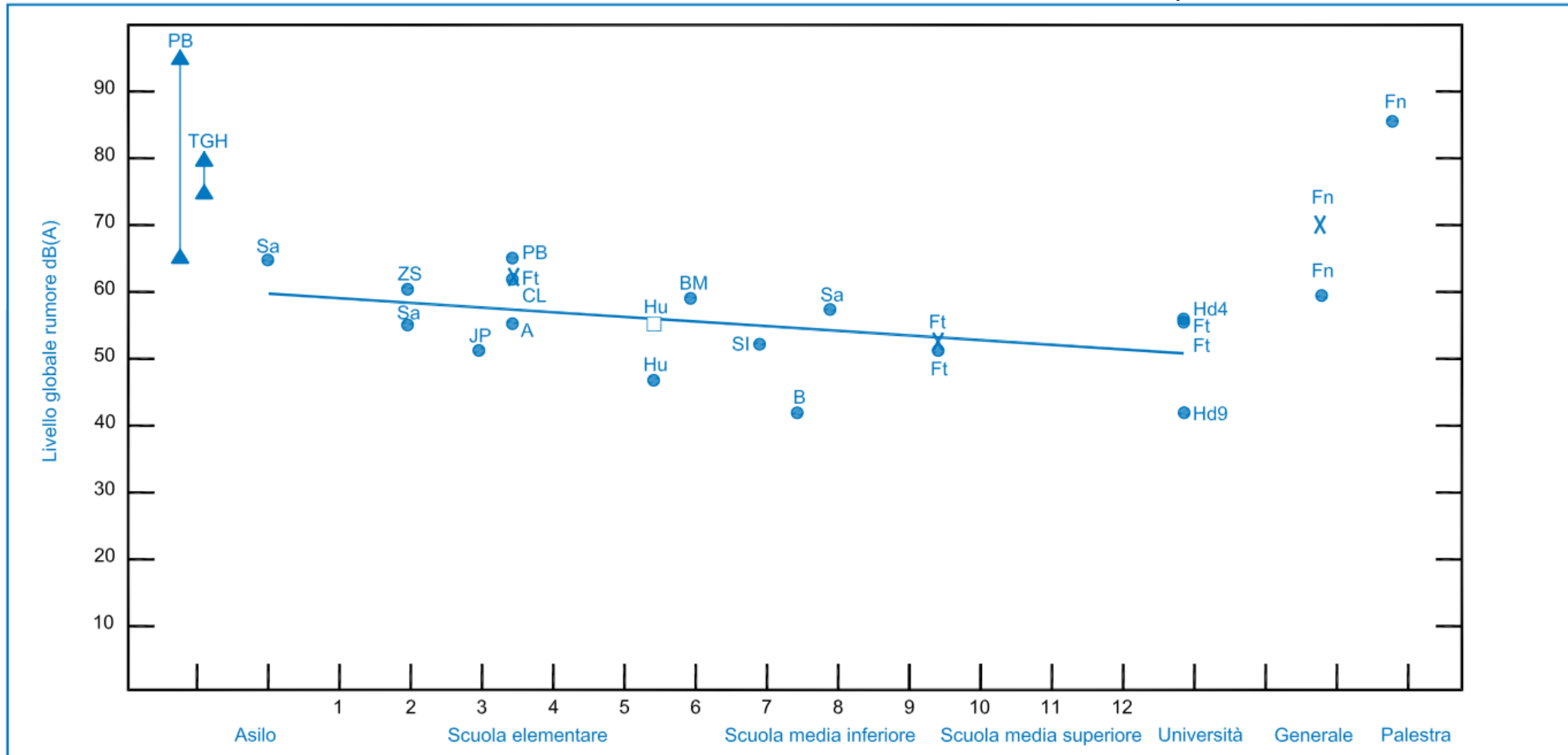
Fonti di rumore:

- ❑ rumore da traffico veicolare, (D.P.R. n. 142 del 2004 fasce di pertinenza)
- ❑ Rumore da traffico ferroviario e aeroportuale (D.P.R. n. 459 del 1998 . Fasce di pertinenza)

un livello limite di immissione nel periodo diurno in prossimità di scuole, pari a **50 dB(A)**. Qualora questi livelli di immissione non fossero rispettati, è comunque stabilito un valore limite relativo al livello sonoro all'interno degli ambienti, pari a **45 dB(A)** L Aeq,diurno , misurato al centro della **stanza ad aula vuota e finestre chiuse**.

Requisiti acustici – Il livello del rumore di fondo

Livelli di rumore di fondo misurati in aule scolastiche occupate



Requisiti acustici – Il livello del rumore di fondo

Tabella 2.1 – Valori limite dei livelli di pressione all'interno di aule scolastiche non occupate.

Tipologia di rumore	L_{Aeq} dB(A)	L_{Amax} dB(A)	Riferimento
Rumore da traffico veicolare	45	-	D.P.R. n. 142, 30/3/2004
Rumore da traffico ferroviario	45	-	D.P.R. n. 459, 18/11/98
Rumore degli impianti	25 (funzionamento continuo)	35 (funzionamento discontinuo)	DPCM 05/12/1997

Requisiti acustici – Requisiti acustici passivi

- Tabella 1 - norma UNI 11367 - Valori di Classe

	Prestazione di base	Prestazione superiore
Descrittore dell'isolamento acustico normalizzato di facciata, $D_{2m,nT,w}$ [dB]	38	43
Descrittore del potere fonoisolante apparente di partizioni fra ambienti di differenti unità immobiliari, R'_w [dB]	50	56
Descrittore del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato fra ambienti di differenti unità immobiliari, L'_{nw} [dB]	63	53
Livello sonoro corretto immesso da impianti a funzionamento continuo, L_{ic} in ambienti diversi da quelli di installazione [dB(A)]	32	28
Livello sonoro massimo corretto immesso da impianti a funzionamento discontinuo, L_{id} in ambienti diversi da quelli di installazione [dB(A)]	39	34
Descrittore dell'isolamento acustico normalizzato di partizioni fra ambienti sovrapposti della stessa unità immobiliare, $D_{nT,w}$ [dB]	50	55
Descrittore dell'isolamento acustico normalizzato di partizioni i fra ambienti adiacenti della stessa unità immobiliare, $D_{nT,w}$ [dB]	45	50
Descrittore del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato fra ambienti sovrapposti della stessa unità immobiliare, L'_{nw} [dB]	63	53

Requisiti acustici – Requisiti acustici passivi

Livello prestazionale	Descrittore dell'isolamento acustico normalizzato rispetto ad ambienti di uso comune o collettivo collegati mediante accessi o aperture ad ambienti abitativi $D_{nT,w}$ (dB)	
	Ospedali e scuole	Altre destinazioni d'uso
Prestazione ottima	≥ 34	≥ 40
Prestazione buona	≥ 30	≥ 36
Prestazione di base	≥ 27	≥ 32
Prestazione modesta	≥ 23	≥ 28

Requisiti acustici – Requisiti acustici passivi

TIPOLOGIA DI EDIFICIO O DESTINAZIONE D'USO DELL'AMBIENTE	TEMPO DI RIVERBERAZIONE T [s]	CHIAREZZA C ₅₀ [dB]	INDICE DI TRASMISSIBILITÀ DEL PARLATO STI [%]
AULE SCOLASTICHE	≤0,7	≥0	≥0,6
OSPEDALI	≤0,7	-	-
CASE DI CURA	≤0,7	-	-
AMBIENTI ESPOSITIVI	≤0,7	≥0	≥0,6
SALE DA CONFERENZA	≤0,7	≥0	≥0,6
MENSE	≤0,7	≥0	≥0,6
AMBIENTI ADIBITI AL PARLATO IN GENERE	≤0,7	≥0	≥0,6
Riferimento normativo	UNI 11532:2014	UNI 11367:2010 Appendice C Prospetto C.1	

Tabella 3. Requisiti acustici minimi di comfort acustico per gli ambienti dedicati al parlato.

Requisiti acustici – INDICI di INTELLEGGIBILITA'

La **valutazione della qualità acustica delle aule scolastiche** è principalmente basata sulla verifica delle prestazioni dell'ambiente **in termini di intelligibilità del parlato**.

intelligibilità del parlato = **percentuale di parole o frasi correttamente comprese da un ascoltatore** rispetto alla **totalità delle frasi pronunciate da un parlatore**.

Requisiti acustici – INDICI di INTELLEGGIBILITA'

La valutazione della qualità della comunicazione verbale include l'intelligibilità del parlato, per la quale la norma definisce diversi metodi oggettivi di previsione,

- ❑ SIL (Speech Interference Level)
- ❑ STI (Speech Transmission Index).

Requisiti acustici – INDICI di INTELLEGGIBILITA'

- Di più generale applicazione, **lo STI** (Speech Transmission Index), quantifica l'effetto combinato **dell'interferenza del rumore di fondo e della riverberazione sulla riduzione di intelligibilità del parlato** con e senza sistemi di amplificazione sonora.
- Si ottiene secondo una procedura con la quale si determina la riduzione dell'indice di modulazione di un segnale di test, che riflette le caratteristiche del parlato continuo, dalla sua emissione alla sua ricezione.
- L'indice STI, variabile fra 0 e 1, è stato correlato a scale soggettive di intelligibilità.

Requisiti acustici – INDICI di INTELLEGGIBILITA'

Valutazione di intelligibilità	STI (-)
Eccellente	$> 0,75$
Buono	da 0,60 a 0,75
Discreto	da 0,45 a 0,60
Scadente	da 0,30 a 0,45
Pessimo	$< 0,30$

Requisiti acustici – INDICI di INTELLEGGIBILITA'

- Gli intervalli di accettabilità indicati in tabella **sono stati determinati per le persone adulte**.
- Per i bambini, soprattutto dei primi anni di scuola elementare, sono invece pochi gli studi finalizzati a valutare le correlazioni fra intelligibilità e indici oggettivi, molti dei quali realizzati in laboratorio, in condizioni di ascolto monoaurale.
- Tra le indagini realizzate in campo, con somministrazioni di test di intelligibilità e misure acustiche nelle aule scolastiche, si possono citare gli studi effettuati da Houtgast nel 1981 [33], con bambini da 8 a 15 anni, da Bradley nel 1986 [34], con bambini di 12-13 anni, da Bradley e Sato nel 2008 [35], con bambini da 6 a 11 anni, e da Astolfi e Bottalico nel 2008, con bambini dai 7 ai 10 anni [36].

Requisiti acustici – INDICI di INTELLEGGIBILITA'

- In particolare in questi casi dovrebbe essere previsto un incremento del rapporto segnale-rumore di almeno 4 dB, corrispondente ad un **incremento di 0,13 per quanto riguarda l'indice STI** e di 4 dB per il SIL.

LA LEGISLAZIONE ITALIANA

- **DM 11 ottobre 2017** aggiorna il DM 24 dicembre 2015 e il DM 11 gennaio 2017 dedicato ai “Criteri ambientali minimi per l’affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici.”
- DPCM 5/12/1997
- D.M. del 18/12/1975 e il D.M. del 13/09/1977 (tempi di riverbero)

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

- ❑ Il contesto ambientale: il controllo del rumore all'esterno
 - ❑ Rumore delle infrastrutture stradali, ferroviarie e aeroportuali
 - ❑ Strategie per la riduzione del rumore all'esterno dell'edificio
- ❑ L'ambiente interno: la dislocazione degli spazi per il controllo del rumore
- ❑ L'isolamento dell'edificio scolastico dal rumore esterno ed interno 6666
 - ❑ L'isolamento acustico di facciata
 - ❑ L'isolamento acustico delle partizioni interne
 - ❑ rumore da calpestio
 - ❑ ponti acustici
- ❑ Il controllo del rumore degli impianti

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

❑ **Il contesto ambientale: il controllo del rumore all'esterno**

La valutazione preventiva del **clima acustico** può avere influenza sull'orientamento, la forma e la distribuzione volumetrica dell'edificio.

L'interposizione di fabbricati meno sensibili al rumore (quali magazzini o uffici) a schermatura di edifici per la didattica, acusticamente più sensibili, è una delle possibili strategie per il controllo del rumore .

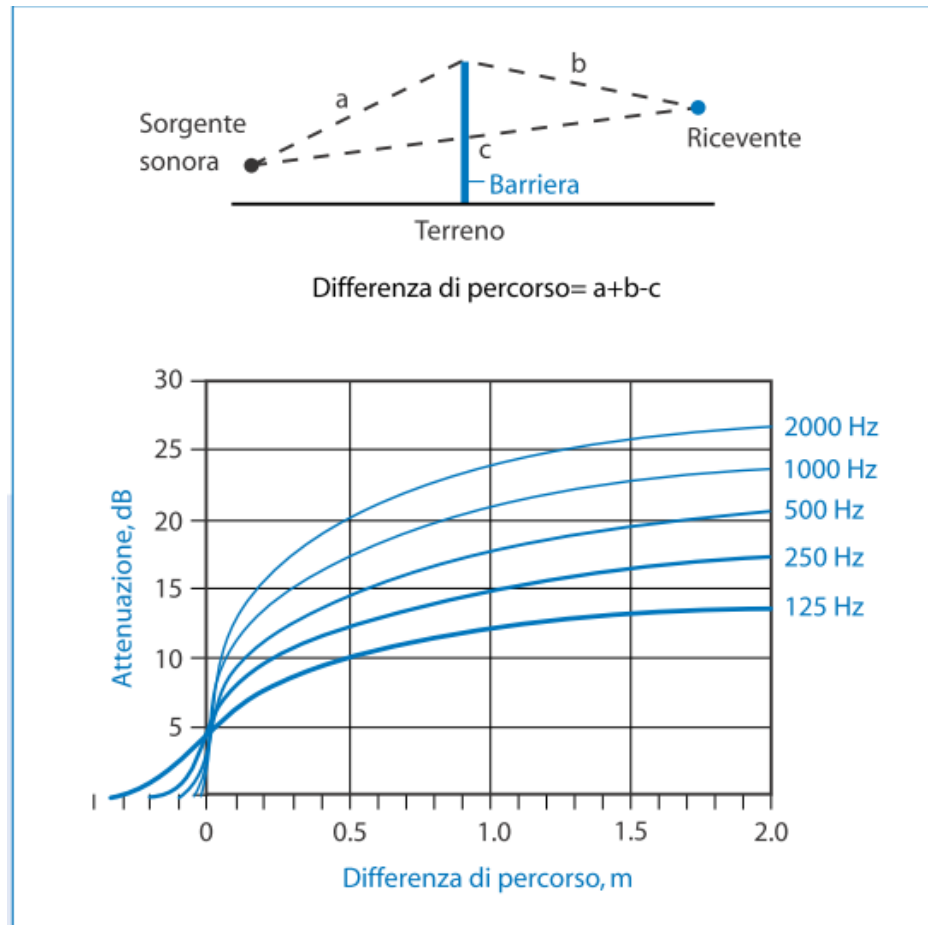
SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

□ Il contesto ambientale: il controllo del rumore all'esterno

La collocazione dell'edificio sensibile il **più lontano possibile dalla sorgente di rumore** rappresenta un ulteriore accorgimento. Per sorgenti **puntiformi** o considerabili come tali è possibile assumere, **in prima approssimazione**, una riduzione di livello di pressione sonora di 6 dB per ogni raddoppio della distanza dalla sorgente, mentre per **sorgenti lineari**, come le strade, la riduzione è pari a 3 dB

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

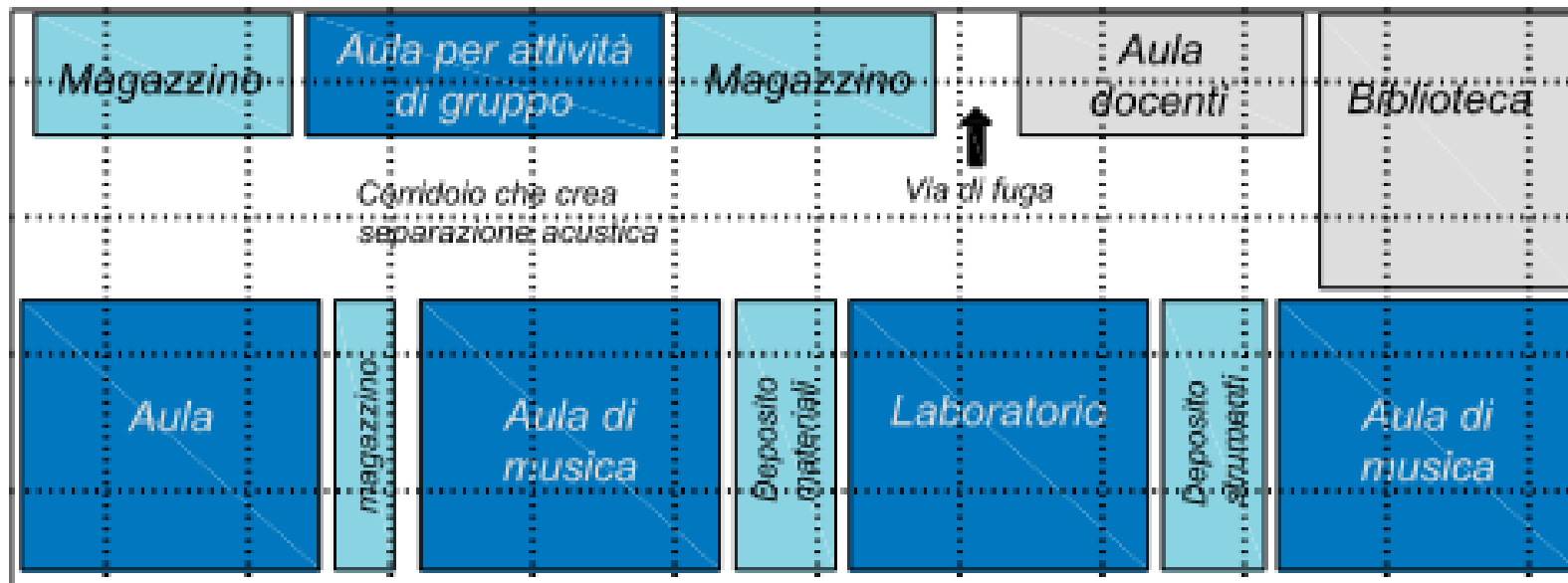
□ Il contesto ambientale: il controllo del rumore all'esterno



SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

□ L'ambiente interno: la dislocazione degli spazi per il controllo del rumore

Un'attenta dislocazione degli spazi interni può concorrere, quindi, a garantire il controllo del rumore interno.



SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

❑ **L'ambiente interno: la dislocazione degli spazi per il controllo del rumore**

Anche il posizionamento delle porte può avere influenza sulla trasmissione del rumore tra aule adiacenti o contrapposte su un corridoio; è opportuno evitare:

- posizionare le **porte** di accesso **troppo vicine**
- per ambienti contrapposti evitare di posizionare le **porte una di fronte all'altra**

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

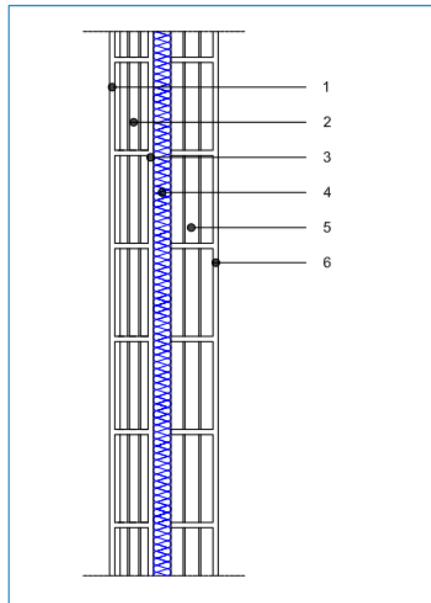
❑ **L'isolamento dell'edificio scolastico dal rumore esterno ed interno: L'isolamento acustico di facciata**

L'isolamento acustico delle partizioni (sia verticali che orizzontali) dipende sia dalla massa dei materiali utilizzati, che dalla **presenza di materiale fibroso in intercapedine**. Quest'ultimo, generalmente usato come isolante termico, determina inoltre un assorbimento acustico. I muri ad elevato spessore costituiti da mattoni, blocchi di calcestruzzo o argilla espansa, a singolo o doppio strato, garantiscono, se abbinati a strati di isolante o fibroso, il soddisfacimento dei requisiti termici e acustici.

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

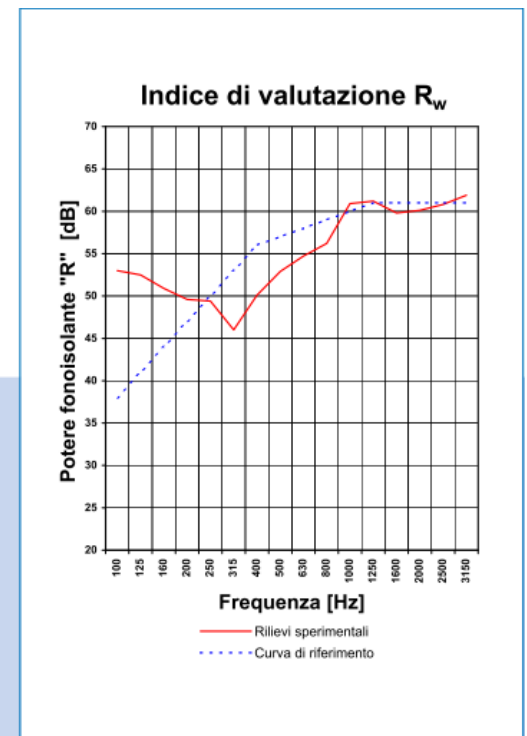
□ L'isolamento dell'edificio scolastico dal rumore esterno ed interno: L'isolamento acustico di facciata

DOPPIA PARETE COSTITUITA DA:



1. Intonaco sp. 15 mm
2. Tramezze in laterizio alveolato sp. 80 mm
3. Intonaco sp. 15 mm
4. Pannello Rockwool 225 sp. 50 mm – 70 kg/m³
5. Tramezze in laterizio alveolato sp. 120 mm
6. Intonaco sp. 15 mm

Indice di valutazione:	$R_w = 57$ dB
Termini correttivi:	$C = -1$ dB $C_{tr} = -3$ dB
Massa dell'elemento in laterizio:	8,2 kg (sp. 8 cm); 11,6 kg (sp. 12 cm)
Spessore totale della parete:	circa 290 mm



SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

□ L'isolamento dell'edificio scolastico dal rumore esterno ed interno: L'isolamento acustico di facciata

Il tetto di un edificio costituisce a tutti gli effetti una facciata esterna le cui prestazioni, in termini di isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverberazione, sono analoghe a quelle previste per la facciata verticale.

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

Tabella 4.5 – Valori dell'indice di valutazione del potere fonoisolante di alcune tipologie comuni di tetto, da misure in laboratorio secondo la norma UNI EN ISO 140-3 [15].

Descrizione del tetto	Indice di valutazione del potere fonoisolante, R_w (dB)
Tetto realizzato mediante travi in legno spessore 12x8 cm distanziate con passo 58 cm e doppio assito di copertura incrociato in abete, sp. 20 e 25 mm.	29
Tetto realizzato mediante travi in legno spessore 12x8 cm distanziate con passo 29 cm e tavelle in laterizio spessore 30 mm, strato di gesso rivestito all'intradosso, spessore 5 mm.	32
Tetto a falde realizzato con tegole appoggiate su strato impermeabile, pannello in lana minerale spessore 100 mm su soffitto in cartongesso [8].	43
Tetto realizzato con travi in legno 12x8 cm distanziate con passo pari a 60 cm, assito in legno spessore 23 mm, telo traspirante, pannello in lana di roccia a doppia densità spessore 60 mm, pannello in lana di roccia a doppia densità spessore 80 mm, interposto tra travetti di spessoramento in legno 8x10 cm, tessuto traspirante, ventilazione, pannello OSB spessore 1,5 cm, guaina bituminosa ardesiata, coppi.	50
Tetto in calcestruzzo, sp. 100 mm, massa per unità di superficie 230 kg/m ² [8].	52

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

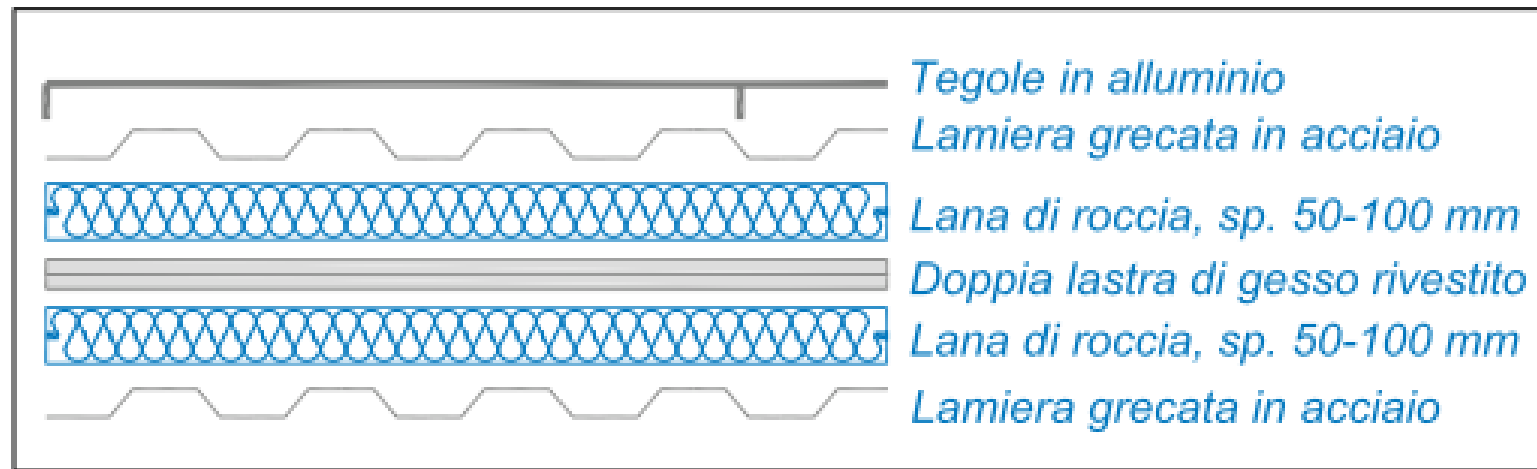


Figura 4.12 – Stratigrafia di un tetto in profilati metallici con interposta lana di roccia (tratto da [3]).

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

Classe di prestazione R_w (dB)	Stratigrafia vetro	Spessore vetro (mm)	R_w (C; Ctr)* (dB)	Fonte	Classe di prestazione R_w (dB)	Stratigrafia vetro	Spessore vetro (mm)	R_w (C; Ctr)* (dB)	Fonte
7-38	6/6-16/5+5	22-32	37 (-1; -5)	UNI EN 12758	42-46	6+4,4-9-5+3,1	29	42 (-1; -5)*	UNI/TR 11175
	6/15-16/4	25-26	37 (-1; -4)*	UNI/TR 11175		4+4/12/4/12/4+4 (PVB 0,76 mm)	47,5	43	Banca dati INRIM
	8/15-16/4	27-28	38 (-2; -5)*	UNI/TR 11175		4+4,2a-12-12 (con foglio plastico con prestazioni acustiche)	33	43 (-1; -5)*	UNI/TR 11175
	10-09-12	21	38	Banca dati INRIM		4+4,2a-20-12 (con foglio plastico con prestazioni acustiche)	41	44 (-1; -4)*	UNI/TR 11175
	10/12/4+4 (PVB 0,76 mm)	31	38	Banca dati INRIM		6+4,2a-20-4+4,2a (con foglio plastico con prestazioni acustiche)	40	47 (-1; -7)*	UNI/TR 11175
9-41	4+8 (PVB 2 mm)	14	38,6	Banca dati INRIM		6+6,1a-20 SF ₆ -4+4,1a (con gas esafloruro inserito e con foglio plastico con prestazioni acustiche)	41	49 (-2; -7)*	UNI/TR 11175
	10/20/4	34	39 (-2; -5)*	UNI/TR 11175		6+6,2a-20 SF ₆ -4+4,2a (con gas esafloruro inserito e con due fogli plastici con prestazioni acustiche)	40	51 (-5; -10)*	UNI/TR 11175
	8/12/6+6	32	39,1	Banca dati INRIM					
	10+6 (PVB 2 mm)	18	39,6	Banca dati INRIM					
	5+4/25/4 (PVB 1,52 mm)	40	40,5	Banca dati INRIM					
	5+3/15/3+5 (PVB 0,76 mm)	32,5	40,7	Banca dati INRIM					
	10/12/4+4 (PVB 1,3 mm)	31,3	40,7	Banca dati INRIM					
	6+4,4-6-3+3,1	24	40 (-1; -5)*	UNI/TR 11175					
	5+3/12/3+5+4 (PVB 0,76 mm)	34,5	41,3	Banca dati INRIM					
	3+3+3/12/6	28	41,4 (-2; -5)	Banca dati INRIM					
	5+5/15/10 (PVB 0,76 mm)	36	41,4	Banca dati INRIM					

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

Si deve tener conto dei seguenti aspetti:

- ☐ la presenza di una finestra porta ad una riduzione di **-2 dB**;
- ☐ la presenza di una porta di **-5 dB**;
- ☐ la presenza di un serramento di superficie superiore a 3 m² porta ad una riduzione di **-2 dB**;
- ☐ se la dimensione del telaio è meno del 30% della superficie totale del serramento la riduzione è di altri **-2 dB** per serramenti con R_w compreso fra 38 e 40 dB;
- ☐ la presenza di un doppio telaio mobile e senza montante centrale porta ad una riduzione di 1 dB per serramenti con R_w pari a 41 dB e di 2 dB per serramenti con R_w compreso fra 42 e 45 dB;
- ☐ la presenza di serramenti a nastro porta ad una riduzione di 1 dB per serramenti con R_w pari a 40 dB e di 2 dB per serramenti con R_w fra 41 e 45 dB;
- ☐ la presenza di telaio non in vista porta ad un incremento di 1 dB per serramenti con R_w di 44 e 45 dB.

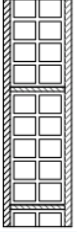
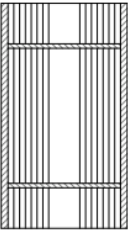
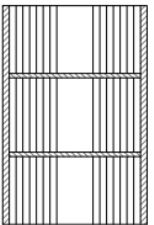
SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

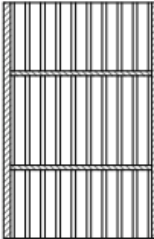
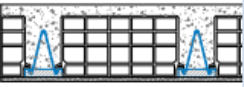
Tra gli elementi sensibili di un serramento vetrato, dopo il vetro e il telaio, si considerano le **prese d'aria e i cassonetti**.

Le prese d'aria saranno trattate nel seguito, mentre per i cassonetti, anche se non largamente utilizzati nelle aule scolastiche, non sono disponibili dati di laboratorio per poter determinare una classificazione in base alla prestazione acustica. La loro presenza, però, se non ottimizzata dal punto di vista del fonoisolamento, **può portare a riduzioni fino a 5 dB del l'isolamento acustico della partizione**. Inoltre questi elementi sono per lo più certificati insieme al serramento vetrato e ciò rende indisponibile il dato di isolamento acustico normalizzato rispetto all'assorbimento acustico dell'elemento, $D_{n,e,w}$, utilizzabile in fase di progetto.

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

□ L'isolamento dell'edificio scolastico dal rumore esterno ed interno: L'isolamento acustico delle partizioni interne

Schema di montaggio	Composizione parete	Spessore totale m	Massa superficiale kg/m ²	R _w (C, C _{tr}) dB
Pareti semplici				
	- Intonaco di calce idraulica con rasatura in scagliola sp. 15 mm su entrambi i lati; - Muratura in mattoni forati: sp. 12 cm.	0,150	150	42
	- Intonaco di malta idraulica tradizionale sp. 15 mm su entrambi i lati; - blocchi ad "H" alleggeriti dimensioni 25x30x19 cm, percentuale di foratura 43,7%	0,280	277	52 (-1;-3)
	- Intonaco di malta idraulica tradizionale sp. 15 mm su entrambi i lati; - blocchi ad "H" alleggeriti dimensioni 30x25x17 cm, percentuale di foratura 44,6%	0,330	335	56 (0;-3)

Schema di montaggio	Composizione parete	Spessore totale m	Massa superficiale kg/m ²	R _w (C, C _{tr}) dB
Pareti semplici				
	- Intonaco di malta idraulica tradizionale sp. 15 mm su entrambi i lati; - blocchi alleggeriti in muratura dimensioni 30x25x19 cm, percentuale di foratura 43,7%	0,330	330	53 (-2;-4)
	Solaio con travetti a traliccio (interasse = 50 cm) e pignatte tipo A da 20 cm con 4 cm di soletta in calcestruzzo e 15 mm di intonaco all'intradosso	0,255	340	50 (-1;-3)

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

□ L'isolamento dell'edificio scolastico dal rumore esterno ed interno: L'isolamento acustico delle partizioni interne

Schema di montaggio	Composizione parete	Spessore totale m	Massa superficiale kg/m ²	R _w (C, C _{tr}) dB
Pareti leggere				
	- Rivestimento in doppio strato in lastre di gesso rivestito, sp. 12,5 mm; - Pannelli in lana di roccia "ROCKWOOL ACOUSTIC 225", sp 60 mm;	0,125	44	55 (-2;-7)
	- Rivestimento in doppio strato in lastre di gesso rivestito, sp. 12,5 mm; - Pannelli in lana di roccia "ROCKWOOL 211", sp 40 mm;	0,200	45	61 (-3;-7)
	- Pannellatura di tamponamento in lastre di gessofibra, sp. 12,5 mm; - Pannelli in lana di roccia "ROCKWOOL 211", sp 40 mm; - Pannelli in lana di roccia "ROCKWOOL 226", sp. 60 mm; - Doppia lastra di gessofibra, sp. 10 mm	0,175	57	65 (-5;-13)

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

- ❑ **L'isolamento dell'edificio scolastico dal rumore esterno ed interno:
L'isolamento acustico delle partizioni interne**

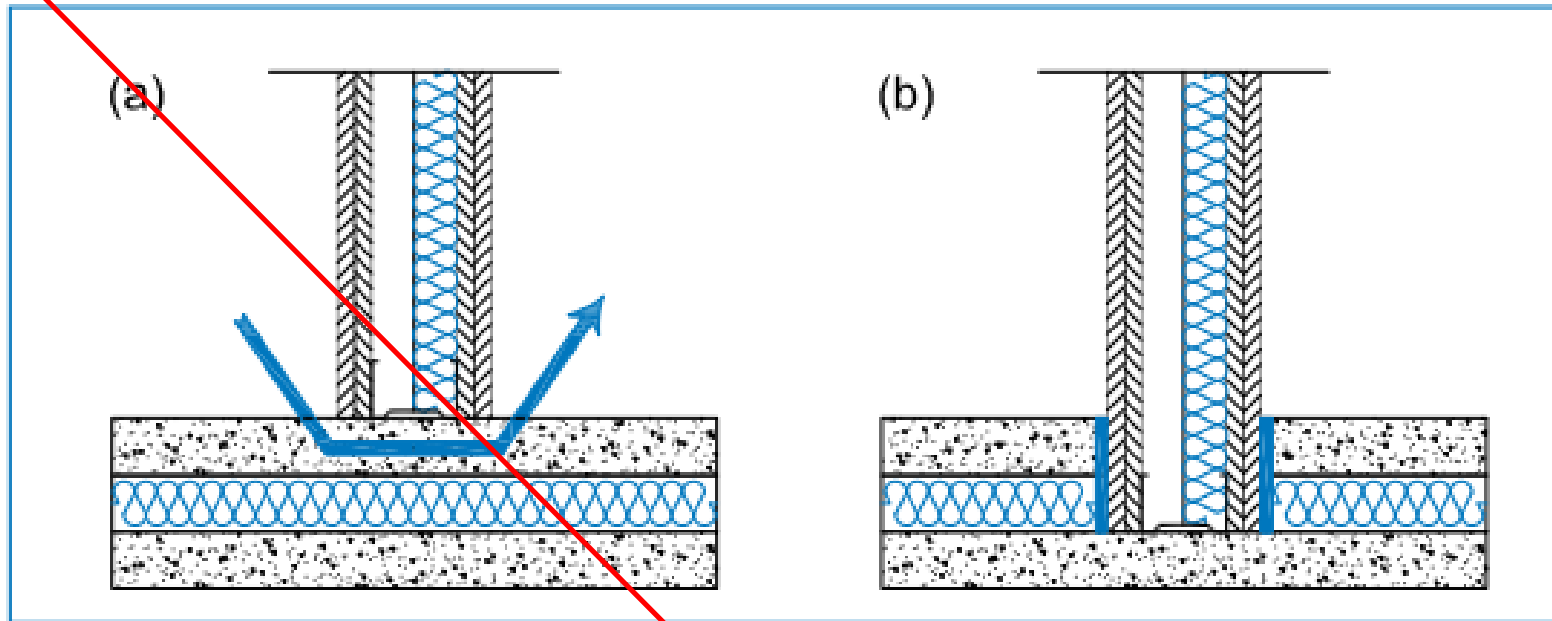
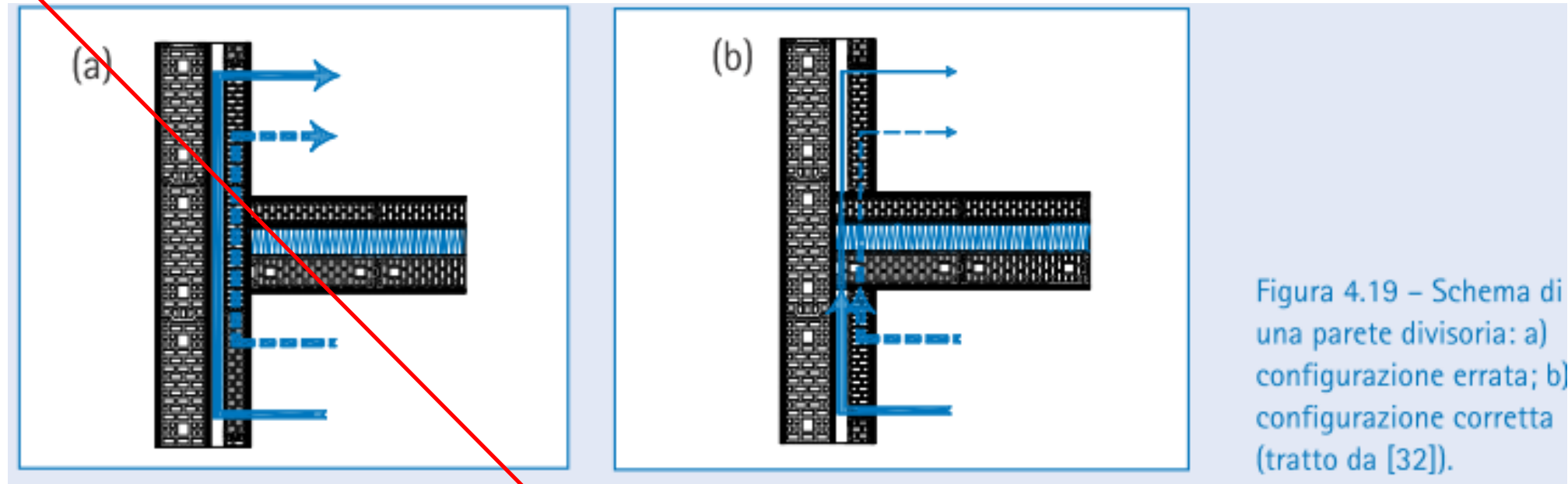


Figura 4.18 – Schema di posa di una parete leggera su solaio: a) soluzione non corretta; b) soluzione raccomandata (tratto da [3]).

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

- ❑ **L'isolamento dell'edificio scolastico dal rumore esterno ed interno:
L'isolamento acustico delle partizioni interne**



SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

❑ L'isolamento dell'edificio scolastico dal rumore esterno ed interno: Le porte

Il potere fonoisolante delle porte è determinato dalla combinazione delle prestazioni acustiche del telaio e del pannello sandwich che costituisce la porta. **Oltre alla stratigrafia** del pannello, le prestazioni acustiche della porta **dipendono fortemente dalla qualità della guarnizione lungo il perimetro**. Occorre poi ricordare che piccoli dettagli quali le soglie, la presenza di buchi passanti per la serratura o di parti vetrate possono comprometterne le qualità fonoisolanti.

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

□ **L'isolamento dell'edificio scolastico dal rumore esterno ed interno: Le porte**

Le porte esterne rappresentano, insieme al serramento vetrato, gli **elementi deboli di facciata**. Porte a più strati costituiti da lamiera d'acciaio e pannelli di legno, dotate di guarnizioni ermetiche e perfetto accoppiamento tra porta e telaio, possono raggiungere un potere fonoisolante R_w di 40 dB.

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

□ L'isolamento dell'edificio scolastico dal rumore esterno ed interno: Le porte

Porte interne o esterne in legno, con spessori variabili da 44 mm a 54 mm, e massa per unità di superficie da 27 kg/m² a 29 kg/m², sigillate sul perimetro, possono garantire un potere fonoisolante R_w variabile tra 30 e 35 dB.

Nella scelta di porte più pesanti, caratterizzate da maggiore massa, occorre valutare l'incidenza dell'aumento di peso sul telaio e sui cardini, considerando l'utilizzo della porta da parte dei bambini.

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

❑ L'isolamento dell'edificio scolastico dal rumore esterno ed interno: Le porte

Soluzioni più performanti, da utilizzarsi nei casi di ambienti particolarmente sensibili o rumorosi, come le aule di musica, prevedono l'installazione di porte doppie separate da un'intercapedine resa fonoassorbente mediante installazione di pannelli porosi/fibrosi (figura 4.22). **Porte doppie forniscono in genere prestazioni di fonoisolamento comprese tra i 45 dB e i 60 dB.**

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

- ❑ **L'isolamento dell'edificio scolastico dal rumore esterno ed interno:
L'isolamento acustico dal rumore da calpestio**

L'attenuazione del rumore di calpestio si può conseguire **realizzando un pavimento galleggiante (inserendo una guaina resiliente)** o rivestendo il solaio con un pavimento resiliente.

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

□ L'isolamento dell'edificio scolastico dal rumore esterno ed interno: L'isolamento acustico dal rumore da calpestio

Le prestazioni dei sottofondi elastici dei pavimenti galleggianti e dei pavimenti resilienti sono espresse in termini di indice di attenuazione del livello di pressione sonora di calpestio, ΔL_w , grandezza misurata in laboratorio con procedure normalizzate secondo la Norma UNI EN ISO 140-8 .

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

**□ L'isolamento dell'edificio scolastico dal rumore esterno ed interno:
L'isolamento acustico dal rumore da calpestio**

ΔL_w è ricavabile:

- massa per unità di superficie del sistema massetto galleggiante più pavimento (kg/m²)
- dalla rigidità dinamica per unità di superficie dello strato resiliente, misurata in Meganewton per metro cubo.

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

❑ L'isolamento dell'edificio scolastico dal rumore esterno ed interno: L'isolamento acustico dal rumore da calpestio

Per i solai che comunemente vengono utilizzati in Italia, come quelli in laterocemento con massetto di supporto i valori di rigidità del materiale smorzante sono compresi all'incirca tra i **10 e 60 MN/m³**

❑ Mat. Resliente rigidità dinamica > **60 MN/m³** massetti molto pesanti;

❑ Mat. Resliente rigidità dinamica < **10 MN/m³** massetti armati o fibro rinforzati poiché avremo a che fare con un materiale molto soffice

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

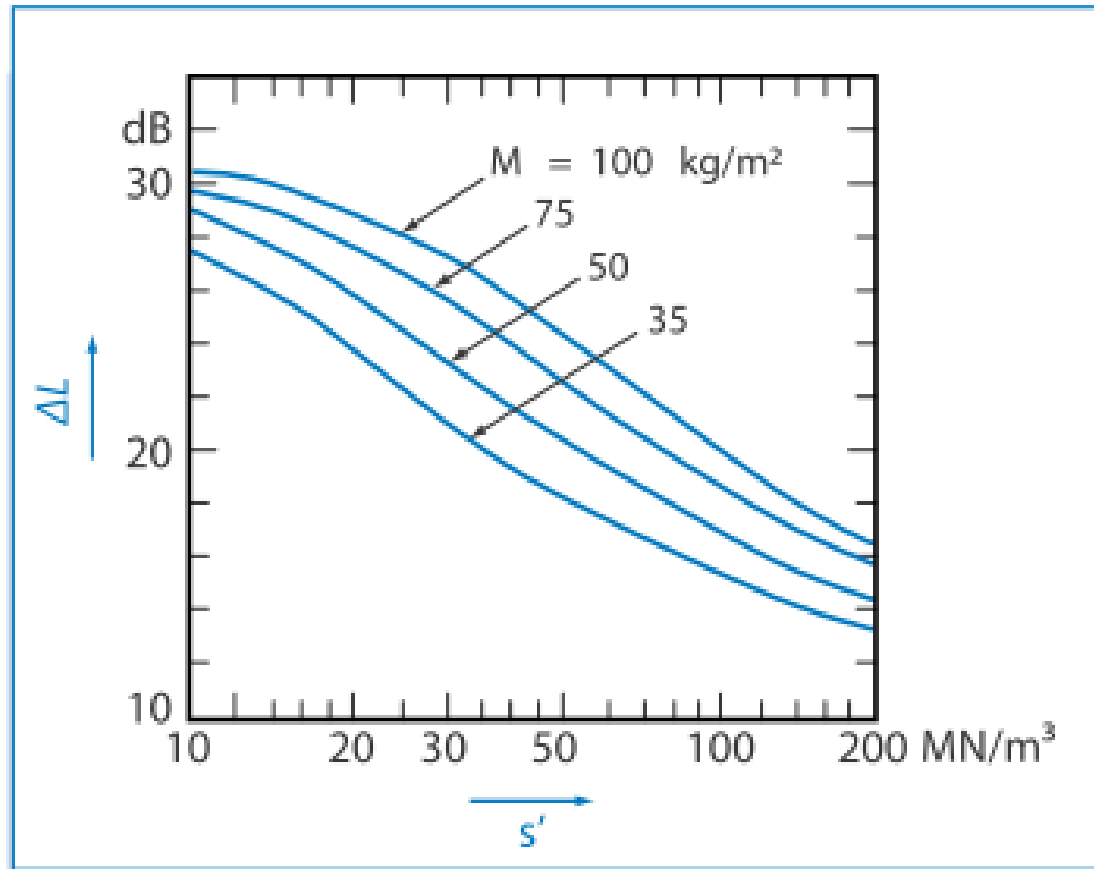


Figura 4.23 - ΔL ottenuta con pavimenti galleggianti di diversa massa per unità di superficie M , in funzione della rigidità dinamica della strato resiliente (tratto da [36]).

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

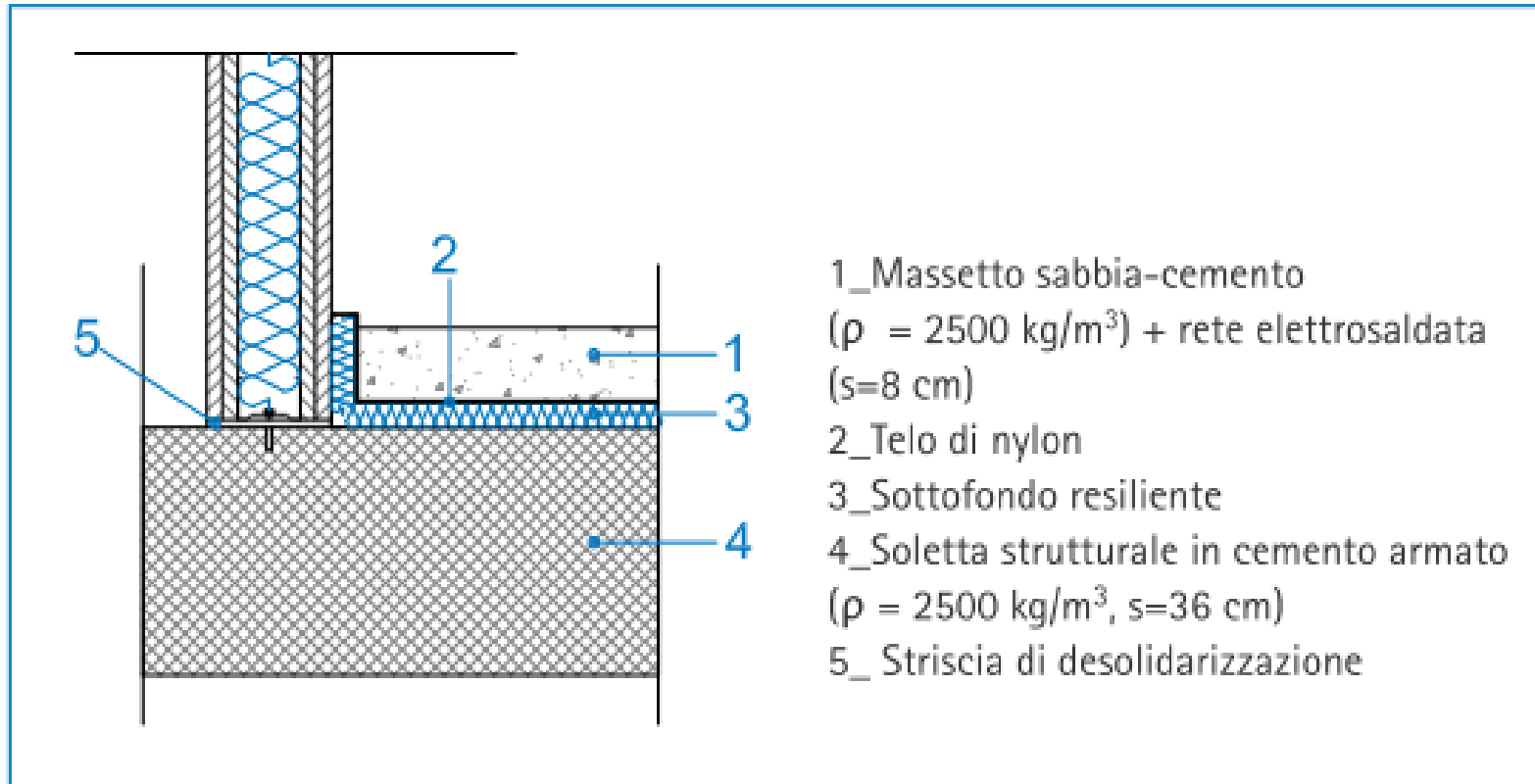


Figura 4.25 - esempio di realizzazione di pavimento galleggiante su soletta in cemento armato con parete verticale leggera.

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

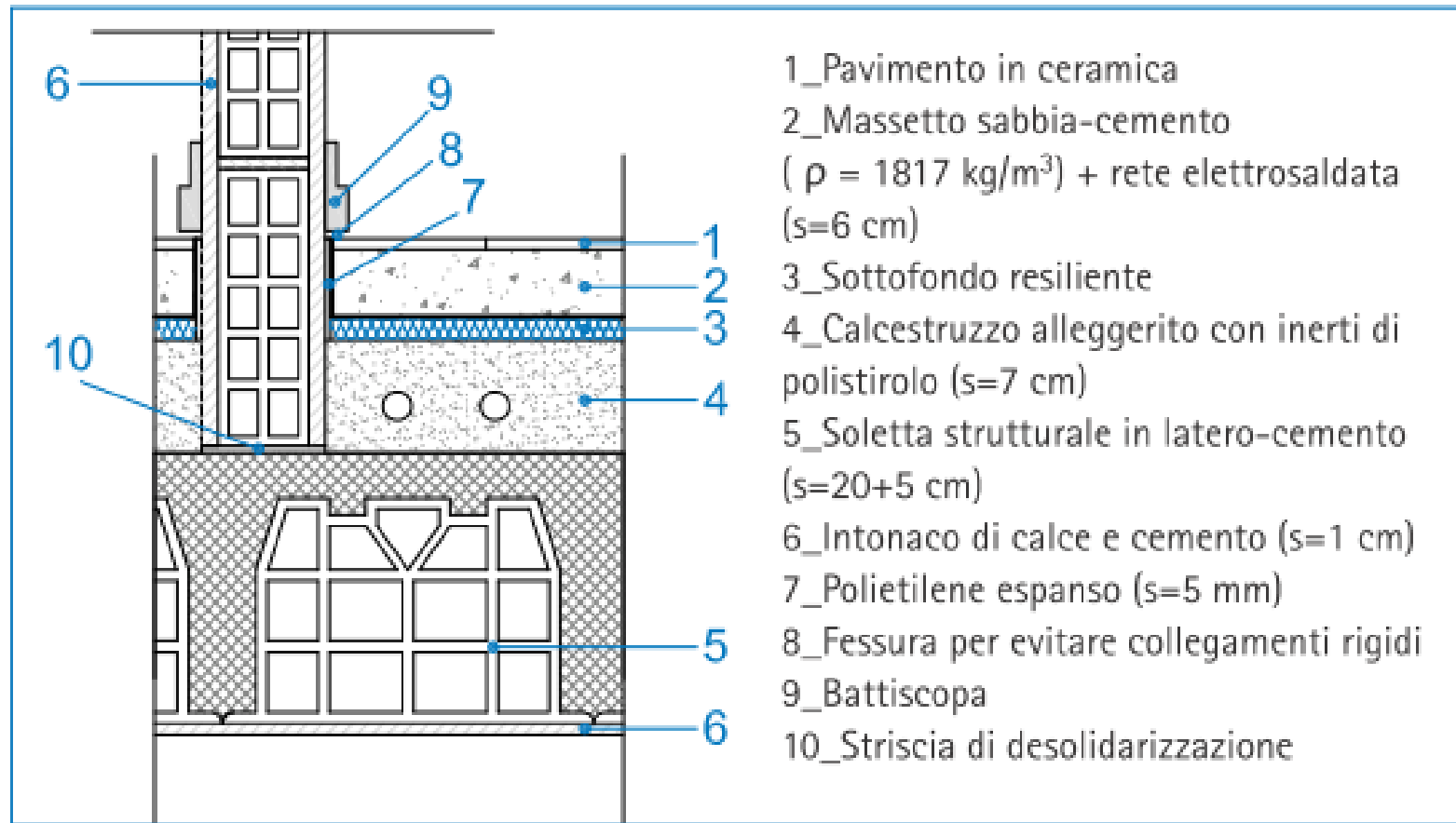


Figura 4.26 - esempio di realizzazione di pavimento galleggiante su soletta in laterocemento con parete verticale in muratura.

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

**□ L'isolamento dell'edificio scolastico dal rumore esterno ed interno:
L'isolamento acustico dal rumore da calpestio**

In generale:

- **materiali a celle chiuse mostrano valori di rigidità apparente circa uguale a quella effettiva;**
- **materiali a celle aperte mostrano valori molto diversi.**

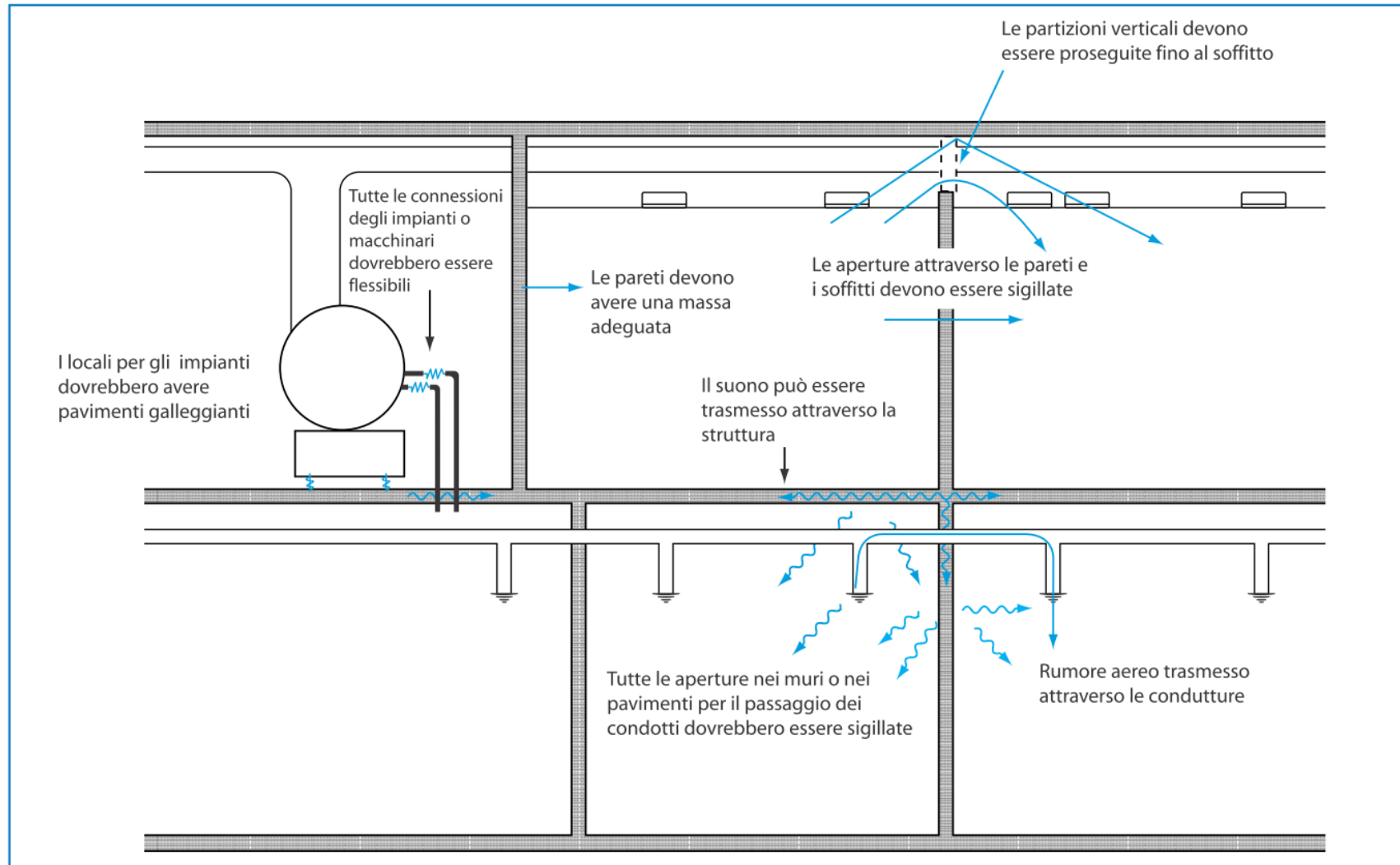
SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

☐ L'isolamento dell'edificio scolastico dal rumore esterno ed interno: PONTI ACUSTICI

Al fine di ottenere un adeguato isolamento acustico di un edificio **è importante correggere i ponti acustici** causati da elementi deboli o da errori di progettazione. In particolare è necessario ricordare alcune regole di base per ottimizzare gli interventi di isolamento acustico:

- ☐ porte e serramenti, bocchette di aerazione, ecc. ridurranno le prestazioni delle partizioni su cui sono installate;
- ☐ i **rumori da impatto si propagheranno** con minima attenuazione **attraverso elementi rigidi**;
- ☐ le partizioni fra ambienti sensibili dovrebbero continuare oltre il controsoffitto fino al solaio strutturale al fine di prevenire il passaggio del rumore attraverso lo spazio sovrastante la partizione;
- ☐ le aperture nei muri dovute al passaggio di impianti elettrici o di altro genere dovrebbero essere ben sigillate e opportunamente sfalsate
- ☐ canalizzazioni che passano attraverso ambienti sensibili al rumore dovrebbero essere accuratamente rivestite da strati fonoisolanti per evitare il cross-talk
- ☐ è necessario evitare collegamenti rigidi fra gli strati di una parete doppia

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE



SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

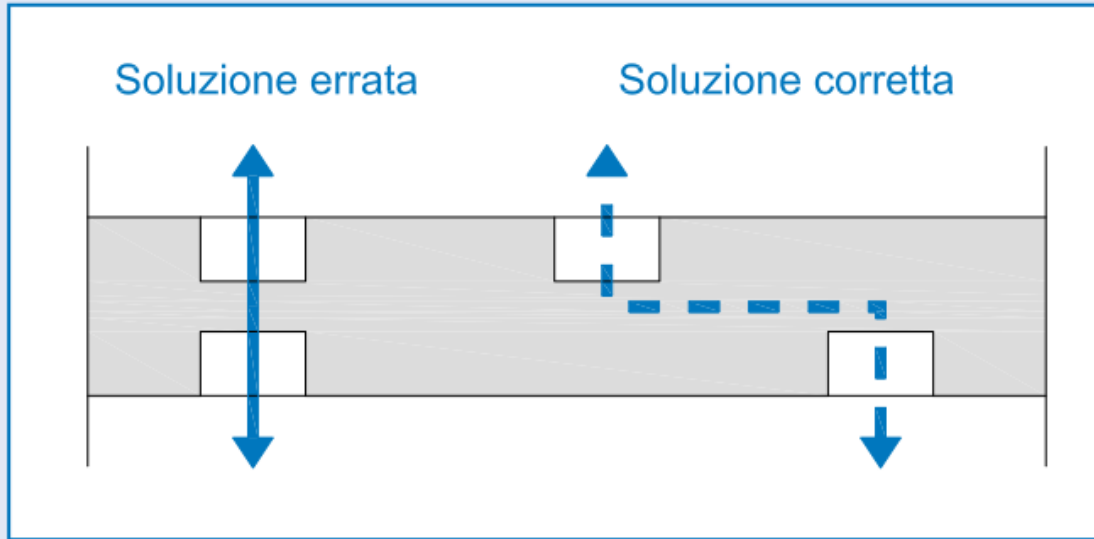


Figura 4.28 - Schema di collocazione di scatole da incasso per impianti elettrici [32].

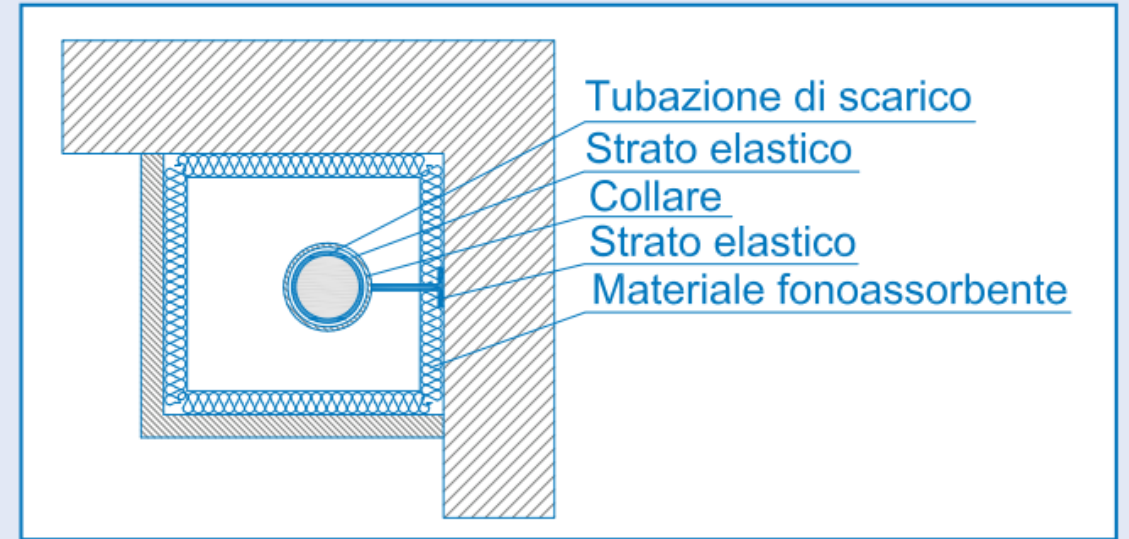


Figura 4.29 - Schema di realizzazione di un cavedio insonorizzato [32].

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

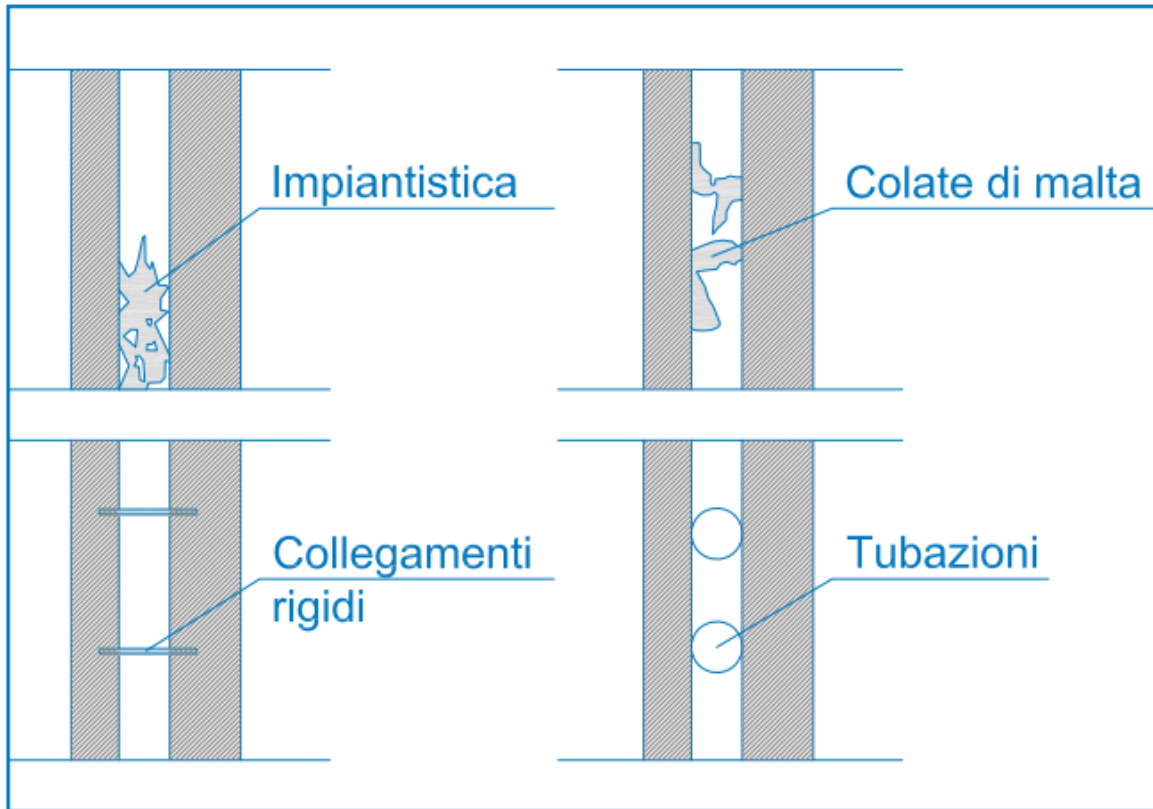


Figura 4.30 - Tipici errori costruttivi da evitare nella realizzazione di pareti divisorie multistrato [32].

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

❑ **L'isolamento dell'edificio scolastico dal rumore esterno ed interno: Il controllo del rumore degli impianti**

Impianti di climatizzazione

Sorgenti di rumore:

- **ventilatori** per la movimentazione dell'aria
- i **tratti** rettilinei dei condotti, le curve, le diramazioni, le strozzature, le serrande, ecc.
- i **terminali**, cioè le bocchette e i diffusori,

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

per ridurre il livello di rumore generato dai ventilatori:

- ☐ limitare velocità di rotazione delle pale,
- ☐ grandi diametri delle pale
- ☐ posizionamento dei ventilatori lontano da irregolarità del condotto.

Per le sorgenti secondarie è opportuno:

- ☐ limitare la velocità dell'aria lungo il condotto,
- ☐ prevedere curve raccordate
- ☐ evitare strozzature troppo accentuate.

Inoltre se necessario:

prevedere dei silenziatori da applicare lungo i condotti, realizzati con materiale fonoassorbente, nella maggior parte dei casi installati a valle del ventilatore

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

L'attenuazione acustica per unità di lunghezza, maggiore soprattutto alle medie frequenze, è proporzionale al coefficiente di assorbimento acustico del rivestimento ed al rapporto P/S , dove P è il perimetro del rivestimento ed S è l'area della sezione libera del condotto.

Nel caso di condotti rettangolari, per ottenere la massima attenuazione si deve ricorrere ad un condotto la cui larghezza sia di molto inferiore all'altezza.

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

- Un'attenuazione, (modesta), è ottenibile tramite l'adozione di **bocchette acustiche**, che però sono di solito previste per ridurre la rumorosità verso l'esterno.
- **Rumore** derivante dalla **trasmissione laterale** attraverso i condotti →, si riduce **incrementando il potere fonoisolante del condotto stesso**, ad esempio applicando un rivestimento esterno e una fasciatura con massa per unità di superficie superiore a 10 kg/m^2 .
- Per **ridurre le trasmissioni per via solida** si devono adottare **supporti antivibranti**, connessioni elastiche e interposizione di materiali resilienti.

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

Possibilità che **condotti dell'aria creino ponti acustici** tra gli ambienti.

Soluzione: studiare percorso dei condotti in modo che essi non attraversino in serie gli ambienti, prolungando il percorso dei canali che entrano ed escono negli ambienti e creando punti di snodo in ambienti meno sensibili, ad esempio negli spazi di circolazione

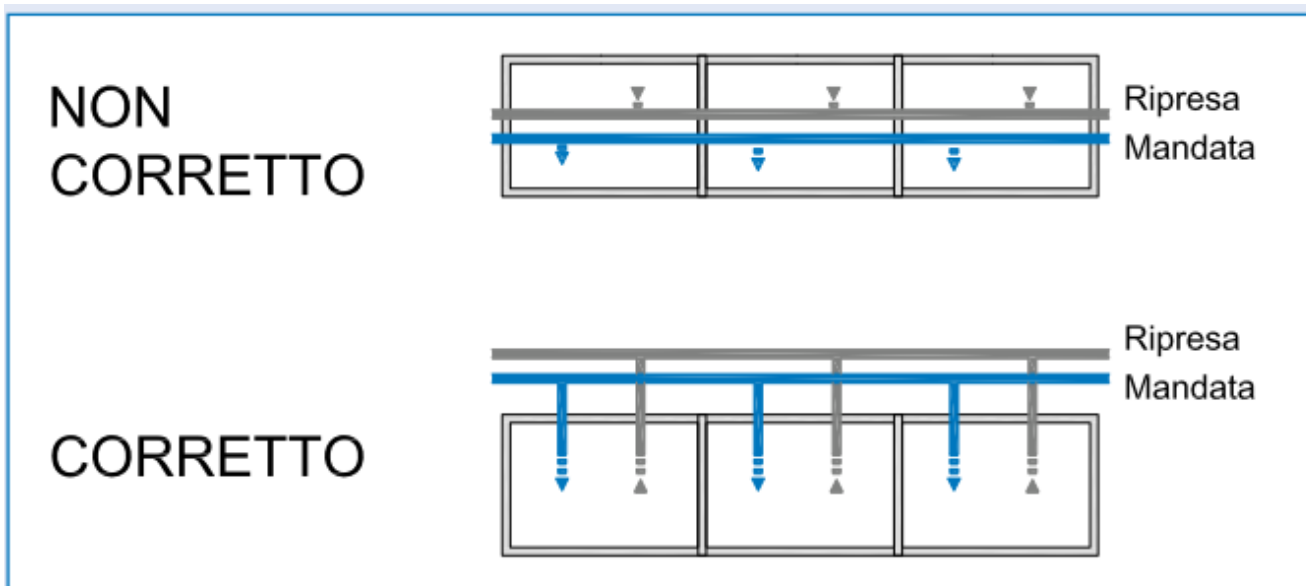


Figura 4.31 – Schemi di percorso di condotti di aerazione a confronto (tratto da [38]).

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

Ventilconvettori ➔ sorgente rumore è il ventilatore.

Soluzione:

- ridurre la velocità di rotazione della girante del ventilatore
- applicare dei silenziatori (anche se di modesta efficacia) sulle sezioni di aspirazione e mandata dell'aria,
- utilizzare supporti antivibranti per ridurre le trasmissioni per via solida.

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

DPCM 05/12/1997 [2] distingue:

- i servizi a funzionamento continuo, cioè quelli di climatizzazione,
- servizi a funzionamento discontinuo come gli ascensori, gli scarichi idraulici, i bagni, i servizi igienici e la rubinetteria.

funzionamento continuo → limite pari a $L_{Aeq} 25 \text{ dB(A)}$ di livello di
funzionamento discontinuo → limite pari a $t \text{ slow}$, $L_{ASmax} 35 \text{ dB(A)}$

Le misure di collaudo si effettuano secondo la norma UNI 16032 [39].

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

Considerazioni sul D.P.C.M 5/12/97:

“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”,

Tale considerazione esclude molte sorgenti che avrebbe senso valutare nel locale in cui sono poste, come i ventilconvettori, gli aerotermi, le bocchette, ecc...;

la rumorosità prodotta da tali sorgenti non è valutabile ai sensi del decreto in quanto da essi si origina rumore in ambiente.

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

Considerazioni sul D.P.C.M 5/12/97:

Ad esempio, se il rumore è dovuto ad un ventilatore che si propaga attraverso le canalizzazioni e al passaggio dell'aria attraverso una bocchetta, si dovrebbe considerare solo il rumore del ventilatore e non quello della bocchetta in ambiente.

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

centrale termica: Le principali sorgenti di rumore sono:

- ❑ il bruciatore,
- ❑ la caldaia e
- ❑ la canna fumaria.

Gli interventi: insonorizzazione bruciatore con applicazione di una “cuffia”.

Per le eventuali risonanze nelle canne fumarie di caldaie di grande taglia è consigliabile l’adozione di silenziatori.

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

gruppi frigoriferi - due tipologie:

- ☐raffreddati ad acqua, installati in locali chiusi, a cui sono spesso accoppiate torri di raffreddamento per la dissipazione del calore in atmosfera,
- ☐raffreddati ad aria, che si trovano spesso sulla copertura dell'edificio.

sorgente principale di rumore è il compressore, + ventilatore per i gruppi frigo raffreddati ad aria.

SOLUZIONE:

- ☐scegliere macchine silenziose,
- ☐adottare supporti antivibranti e
- ☐garantire un adeguato fonoisolamento, senza determinare elevate perdite di carico per i gruppi raffreddati ad aria.

Per le torri di raffreddamento la sorgente di rumore principale è il ventilatore e valgono gli accorgimenti dei gruppi frigo raffreddati ad aria.

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

RUMORE derivante da griglie all'esterno dell'edificio per la ripresa e l'espulsione dell'aria o di sorgenti sonore che emettono nell'ambiente esterno è necessario prevedere una valutazione del livello di pressione sonora di

☐ emissione

☐ immissione

☐ NO CRITERIO DIFFERENZIALE

ai sensi del DPCM 14/11/97 e riferimento a PCCA Comunale

limite di emissione → singole sorgenti sonore fisse di progetto, rilevato in corrispondenza degli spazi utilizzati da persone e comunità (in prossimità della sorgente sonora stessa),

limite di immissione → rumore immesso nell'ambiente esterno dall'insieme di tutte le sorgenti, misurato in prossimità dei ricettori.

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

Il rumore che si origina dalla rete idraulica, che consiste nel sistema di tubazioni che porta l'acqua calda e/o refrigerata ai terminali d'impianto, nella quale sono compresi anche i radiatori e i pannelli radianti, è quasi sempre generato da pompe che inducono la circolazione forzata. Il disturbo acustico aereo è quasi sempre limitato, mentre **per limitare quello strutturale è opportuno adottare connettori flessibili e supporti antivibranti**. Per le tubazioni, che possono considerarsi sorgenti secondarie, occorre **ridurre la velocità dell'acqua, adottare supporti elastici e rivestimenti resilienti**. Il corretto dimensionamento delle valvole ridurrà rumori di cavitazione, vibrazioni e fischi.

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

Impianti idrosanitari possono costituire sorgenti di rumore rilevanti.

Il rumore emesso dalle tubazioni è prodotto:

- vibrazioni trasmesse direttamente alle pareti,
- turbolenze del fluido che in esse scorre.

SOLUZIONE:

adottate tutte le cautele suggerite dalla regola dell'arte con riferimento al **dimensionamento e posa delle tubazioni** di adduzione dell'acqua calda e fredda, della rete di scarico, dei miscelatori, ecc., **al fine di limitare** la generazione di rumore da parte di fenomeni di turbolenza nelle curve, di **cavitazione nelle sezioni ristrette**, di **colpo d'ariete nei transitori**, e la **propagazione per via solida** attraverso le strutture .

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

Ascensori

Tipologia : idraulici (meno rumorosi) e a fune (più rumorosi) ,
ascensori provvisti di locale macchine si può ipotizzare un livello di
pressione sonora dell'organo dell'ordine di 70 dB(A) a 1 metro, in
campo libero.

All'interno del locale macchine sono quindi attesi livelli di rumore
mediamente più elevati, ma prevedendo la realizzazione di pareti
spesse in laterizio e l'uso di porte ad elevato isolamento acustico si
ritiene che tale impianto potrebbe non essere critico.

SOLUZIONI DI PROGETTO CONTROLLO RUMORE

Ascensori

Al fine di evitare la generazione di fenomeni vibroacustici si devono prevedere basamenti inerziali e idonei supporti antivibranti. Per gli ascensori privi di locale macchina sono sufficienti argani più piccoli e compatti che però possono dare origine a livelli di rumore piuttosto elevati. In tali tipi di ascensori potrebbe essere particolarmente critico il problema della **trasmissione delle vibrazioni alle strutture**. A questo proposito sarà quindi importante prevedere elementi resilienti in corrispondenza del fissaggio delle vie di corsa.

Infine dovrà essere prestata attenzione anche ai dispositivi di apertura e di chiusura delle porte al piano.

LE SOLUZIONI DI PROGETTO PER LA CORREZIONE ACUSTICA DELLE AULE SCOLASTICHE

- La correzione acustica si effettua **a partire dal calcolo del tempo di riverberazione**, parametro correlato alla chiarezza della percezione della parola in un ambiente chiuso.
- A tal fine sono descritti i **materiali fonoassorbenti** e sono forniti i **coefficienti di assorbimento acustico** di alcuni rivestimenti utilizzabili negli ambienti scolastici, **insieme alle indicazioni sulla loro corretta collocazione finalizzata alla buona ricezione del parlato in tutto l'ambiente e alla eliminazione dei difetti acustici**.

LE SOLUZIONI DI PROGETTO PER LA CORREZIONE ACUSTICA DELLE AULE SCOLASTICHE

Ogni materiale o elemento fonoassorbente è **caratterizzato** da un determinato coefficiente di assorbimento α , pari al rapporto tra:

□ energia sonora assorbita

□ incidente.

$\alpha = 0$, energia viene riflessa,

$\alpha = 1$, energia viene assorbita

Esso dipende della frequenza e dell'angolo di incidenza dell'onda sonora.

LE SOLUZIONI DI PROGETTO PER LA CORREZIONE ACUSTICA DELLE AULE SCOLASTICHE

- Il coefficiente di assorbimento per **incidenza normale** **si misura in laboratorio** con il metodo delle onde stazionarie in tubo, mentre il coefficiente di assorbimento per **incidenza casuale**, più vicino alle condizioni di utilizzo, **si misura in camera riverberante** con campioni di grandi dimensioni, in accordo con la norma UNI EN ISO 354 [1].
- In questo caso valori superiori a 1 indicano la presenza di un campo sonoro non perfettamente diffuso.

LE SOLUZIONI DI PROGETTO PER LA CORREZIONE ACUSTICA DELLE AULE SCOLASTICHE

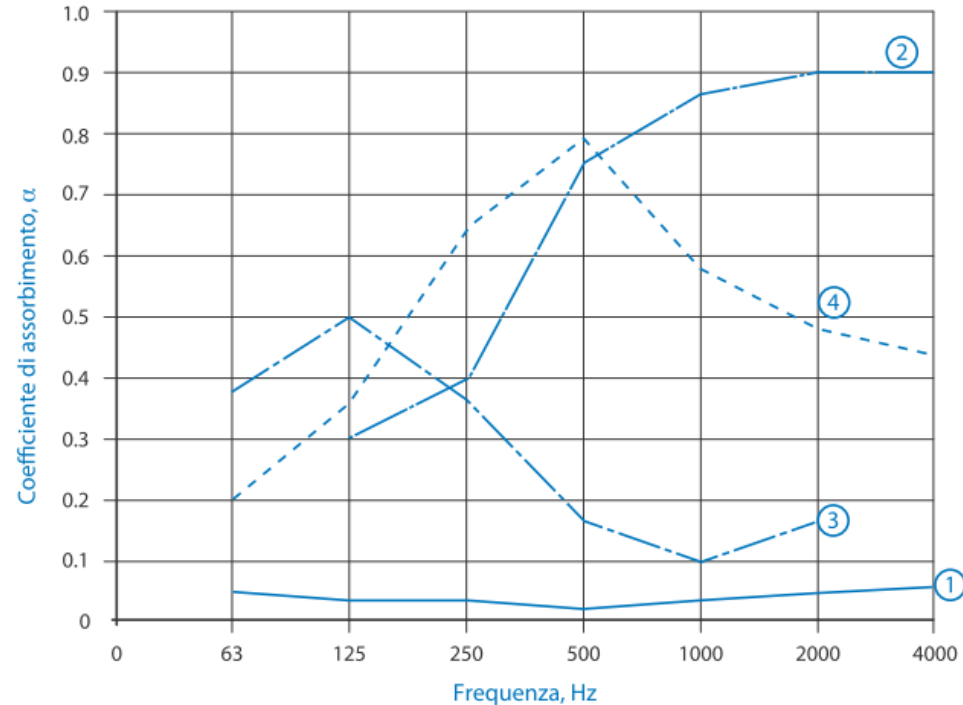
- Il principio fisico che regola l'**assorbimento** sonoro è la **conversione di parte dell'energia incidente in calore**.
- Tale conversione avviene con modalità diverse a seconda del materiale e, in relazione alla modalità, risulta maggiormente efficace in diversi intervalli di frequenze.

LE SOLUZIONI DI PROGETTO PER LA CORREZIONE ACUSTICA DELLE AULE SCOLASTICHE

Le categorie di materiali fonoassorbenti sono le seguenti:

- ❑ materiali fibrosi, a celle aperte;
- ❑ pannelli vibranti, che assorbono per risonanza di membrana;
- ❑ risuonatori acustici, che assorbono per risonanza di cavità.

LE SOLUZIONI DI PROGETTO PER LA CORREZIONE ACUSTICA DELLE AULE SCOLASTICHE



- ① Pannello di gesso rivestito su parete.
- ② Materiale poroso (50 mm fibra minerale, 50 kg/m³); l'assorbimento non viene significativamente diminuito se tale pannello è protetto da un pannello perforato con almeno il 30% di area aperta.
- ③ Pannello vibrante (pannello 9 mm di spessore, 50 mm di intercapedine contenente 25 mm di fibra minerale).
- ④ Pannelli forati / assorbimento per risonanza di cavità (14% di foratura, 25 mm di intercapedine contenente fibra minerale).

LE SOLUZIONI DI PROGETTO PER LA CORREZIONE ACUSTICA DELLE AULE SCOLASTICHE

□ materiali fibrosi, a celle aperte;

I **materiali fibrosi o porosi a celle aperte**, come la lana di roccia o le schiume di poliuretano espanso, **sono caratterizzati da fibre di dimensioni inferiori a 1 mm, interconnesse tra loro.**

L'**assorbimento**, a seguito dell'incidenza di un'onda sonora, **avviene grazie al movimento delle molecole d'aria all'interno delle cavità** e alla successiva perdita di energia a causa **dell'attrito con le superfici** della cavità stessa.

LE SOLUZIONI DI PROGETTO PER LA CORREZIONE ACUSTICA DELLE AULE SCOLASTICHE

❑ materiali fibrosi, a celle aperte: d influisce sulle alte frequenze

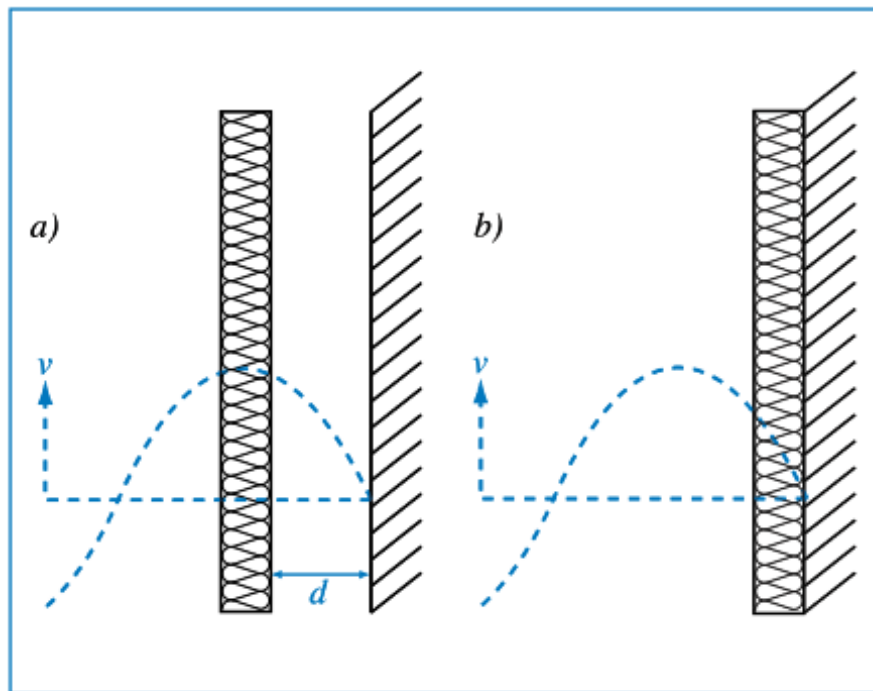


Figura 5.2 – Maggiore (a) o minore (b) efficienza nell'installazione di materiale fonoassorbente poroso su parete rigida [4].

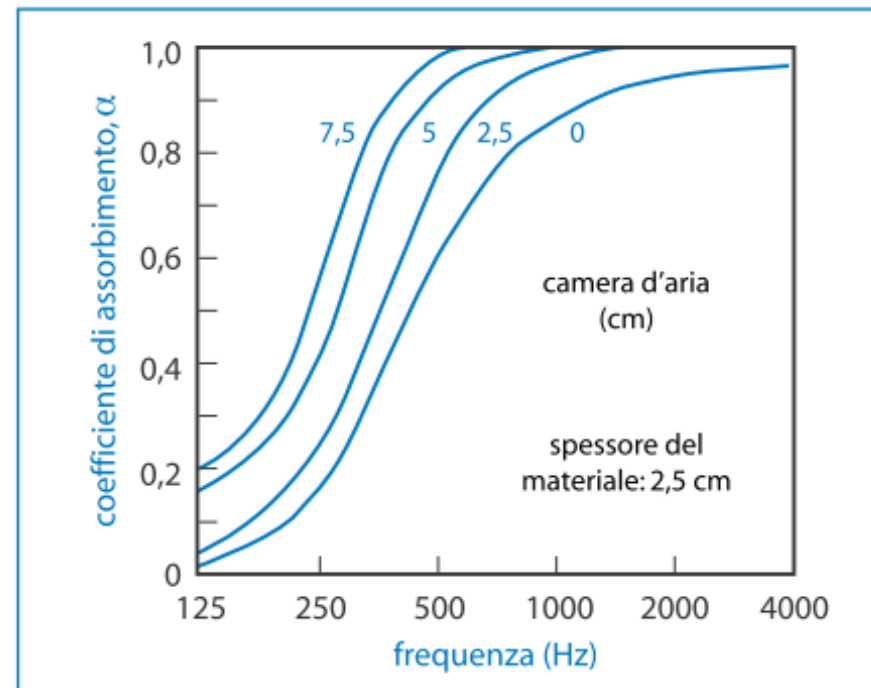


Figura 5.3 – Coefficiente di assorbimento di un pannello fonoassorbente fibroso dello spessore di 2,5 cm in funzione della frequenza e della distanza dalla parete [5].

LE SOLUZIONI DI PROGETTO PER LA CORREZIONE ACUSTICA DELLE AULE SCOLASTICHE

❑ **materiali fibrosi, a celle aperte:** S influente solo su basse frequenze

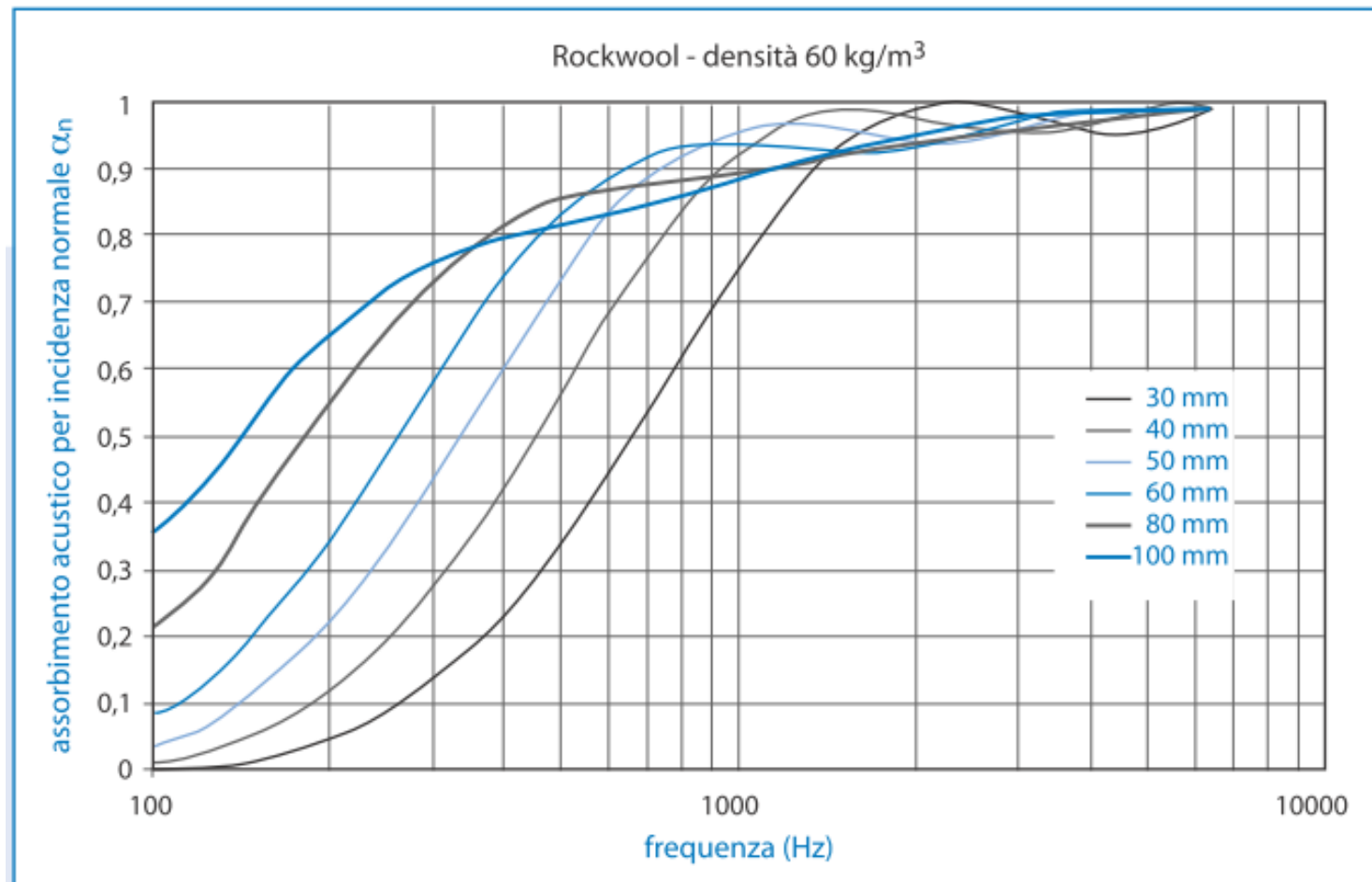


Figura 5.4 – Influenza dello spessore sull'assorbimento acustico di un pannello in lana di roccia con densità pari a 60 kg/m³ [6].

LE SOLUZIONI DI PROGETTO PER LA CORREZIONE ACUSTICA DELLE AULE SCOLASTICHE

□ **pannelli vibranti, che assorbono per risonanza di membrana;**

I pannelli vibranti sono costituiti da **pannelli sottili** posti **non troppo lontani da una parete rigida**.

Il comportamento del sistema **pannello-aria-parete** è **assimilabile** al moto di una **massa vibrante** (pannello), collegata con un **vincolo elastico** (aria contenuta nell'intercapedine) ad un **sostegno rigido** (parete).

La frequenza di risonanza di tale sistema a cui si ottiene il massimo assorbimento acustico si determina secondo la seguente relazione:

$$f_0 = \frac{60}{\sqrt{md}} \text{ Hz,}$$

dove m è la massa per unità di area del pannello, in chilogrammi al metro quadrato, e d la dimensione dell'intercapedine, in metri.

LE SOLUZIONI DI PROGETTO PER LA CORREZIONE ACUSTICA DELLE AULE SCOLASTICHE

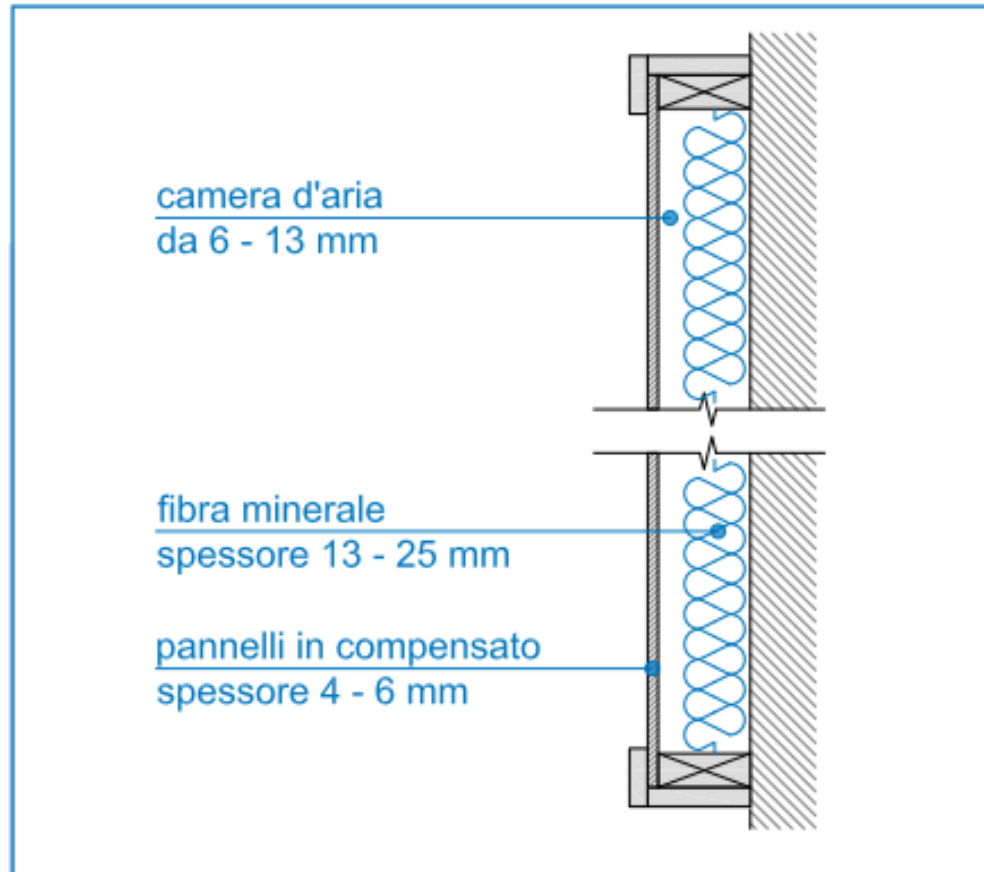


Figura 5.5 – Tipico pannello vibrante montato a parete [5].

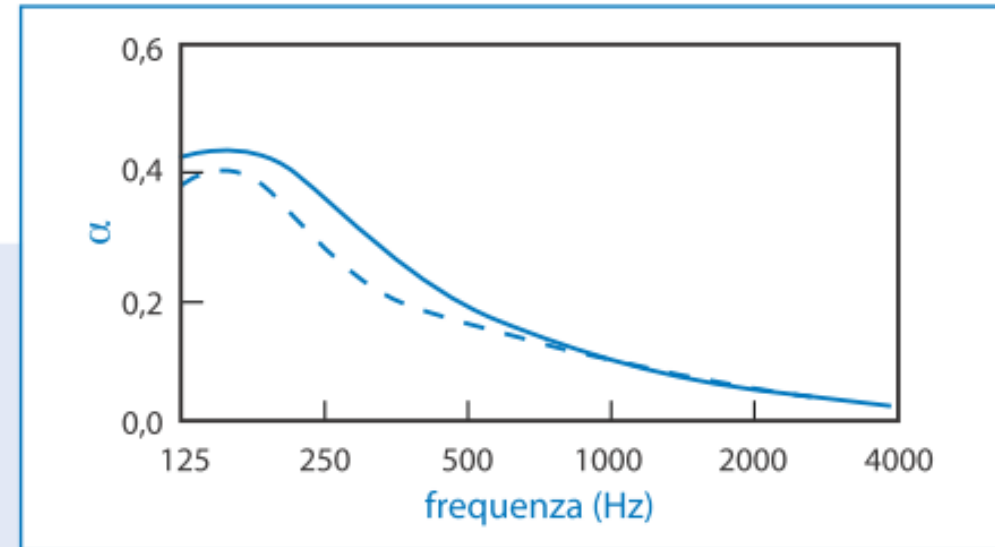


Figura 5.6 – Spettro di assorbimento di un pannello vibrante di legno compensato dello spessore di 4,8 mm installato a 51 mm di distanza dalla parete con e senza materiale fonoassorbente poroso nell'intercapedine. La linea continua si riferisce al pannello con il materiale fibroso nell'intercapedine, quella tratteggiata, senza il materiale fibroso nell'intercapedine [4].

LE SOLUZIONI DI PROGETTO PER LA CORREZIONE ACUSTICA DELLE AULE SCOLASTICHE

□ **risuonatori acustici, che assorbono per risonanza di cavità;**

I **risuonatori acustici di Helmholtz** sono formati da una **cavità** con **pareti rigide collegata** con l'esterno tramite un'**apertura** stretta, denominata "**collo**" del **risuonatore**.

L'aria contenuta nel collo può essere considerata come una **massa vibrante**, mentre **quella presente nella cavità costituisce l'elemento elastico**. Quando un'onda sonora incide sul collo l'aria all'interno dello stesso inizia a vibrare e quella nella cavità viene compressa periodicamente

LE SOLUZIONI DI PROGETTO PER LA CORREZIONE ACUSTICA DELLE AULE SCOLASTICHE

□ **risuonatori acustici, che assorbono per risonanza di cavità;**

Tale sistema ha una frequenza di risonanza determinabile con la relazione:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{V(l + 0.8 d)}} \quad \text{Hz,}$$

dove **c** è la **velocità del suono** nell'aria in metri al secondo, **S**, **l** e **d** sono rispettivamente **l'area in metri quadrati**, la **lunghezza** e il **diametro**, in metri, del collo del risuonatore, mentre **V** è il **volume della cavità**, in metri cubi.

LE SOLUZIONI DI PROGETTO PER LA CORREZIONE ACUSTICA DELLE AULE SCOLASTICHE

□ **risuonatori acustici, che assorbono per risonanza di cavità;**

L'assorbimento di un risuonatore è principalmente a bassa frequenza, nell'intervallo tra 50 e 400 Hz, e molto selettivo intorno alla frequenza di risonanza.

Con il materiale poroso nella cavità il valore del coefficiente di assorbimento decresce alla frequenza di risonanza, ma si allarga l'intervallo di frequenze interessate dall'assorbimento acustico.

LE SOLUZIONI DI PROGETTO PER LA CORREZIONE ACUSTICA DELLE AULE SCOLASTICHE

□ **risuonatori acustici, che assorbono per risonanza di cavità;**

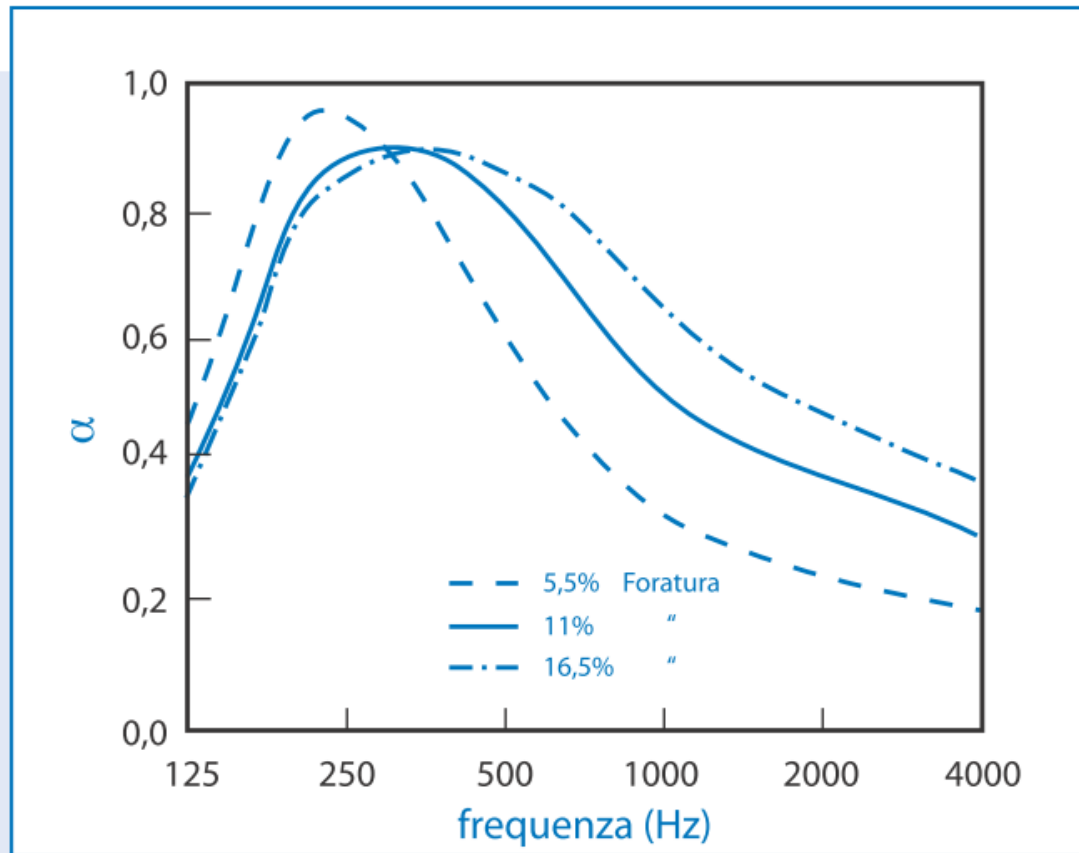


Figura 5.11 – Valori del coefficiente di assorbimento acustico di un pannello forato risonante di legno compensato dello spessore di 13 mm con fori del diametro di 4,8 mm e diverse percentuali di foratura, a 6 cm da una parete, con l'intercapedine riempita di materiale fonoassorbente poroso [4].

LE SOLUZIONI DI PROGETTO PER LA CORREZIONE ACUSTICA DELLE AULE SCOLASTICHE

□ Le aule per la didattica

La progettazione acustica di aule per la didattica è finalizzata alla comprensione ottimale del messaggio parlato.

L'eccesso di rumore e di riverberazione determinano il mascheramento del segnale emesso dal parlatore rendendolo meno intelligibile per l'ascoltatore.

In particolare, una lunga coda sonora causa il mascheramento tra le sillabe emesse in successione dal parlatore, degradando la qualità della comunicazione.

Un elevato tempo di riverberazione porta inoltre ad un incremento del rumore di fondo “riverberato”, che riduce ulteriormente l'intelligibilità.

LE SOLUZIONI DI PROGETTO PER LA CORREZIONE ACUSTICA DELLE AULE SCOLASTICHE

□ Le aule per la didattica

Un'ulteriore esigenza è rappresentata dalla **distribuzione uniforme dell'assorbimento all'interno dell'ambiente**; se questa condizione viene disattesa, possono determinarsi, particolarmente in grandi ambienti, **disuniformità acustiche**, mentre estese superfici riflettenti possono portare a **difetti acustici come l'eco, il flutter eco e le focalizzazioni sonore**.

LE SOLUZIONI DI PROGETTO PER LA CORREZIONE ACUSTICA DELLE AULE SCOLASTICHE

□ **Le aule per la didattica**

Il corretto posizionamento dei materiali fonoassorbenti nelle aule scolastiche deve inoltre considerare **il possibile danneggiamento dei rivestimenti da parte degli studenti**. A tal fine i materiali più delicati devono essere applicati ad altezze adeguate da terra.

LE SOLUZIONI DI PROGETTO PER LA CORREZIONE ACUSTICA DELLE AULE SCOLASTICHE

☐ **Le aule per la didattica**

Il **trattamento acustico** dovrebbe riguardare:

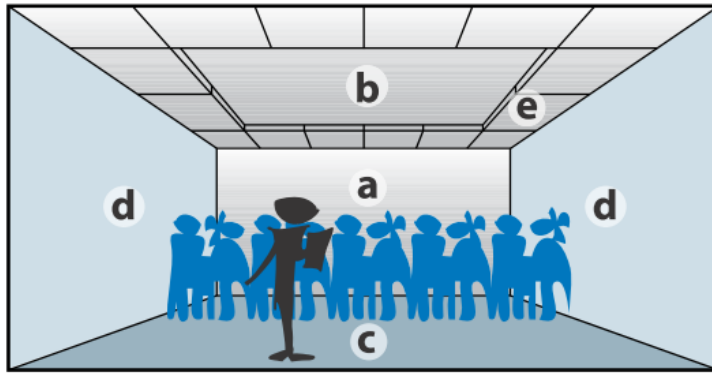
☐ la parete di fondo,

☐ il soffitto,

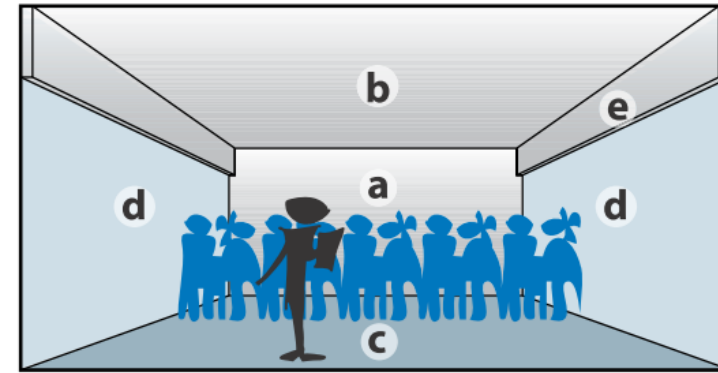
☐ eventualmente la parte alta delle superfici laterali.

Una parte di soffitto in **corrispondenza del parlatore dovrebbe essere lasciata riflettente** al fine di incrementarne il livello sonoro verso il fondo della stanza.

LE SOLUZIONI DI PROGETTO PER LA CORREZIONE ACUSTICA DELLE AULE SCOLASTICHE



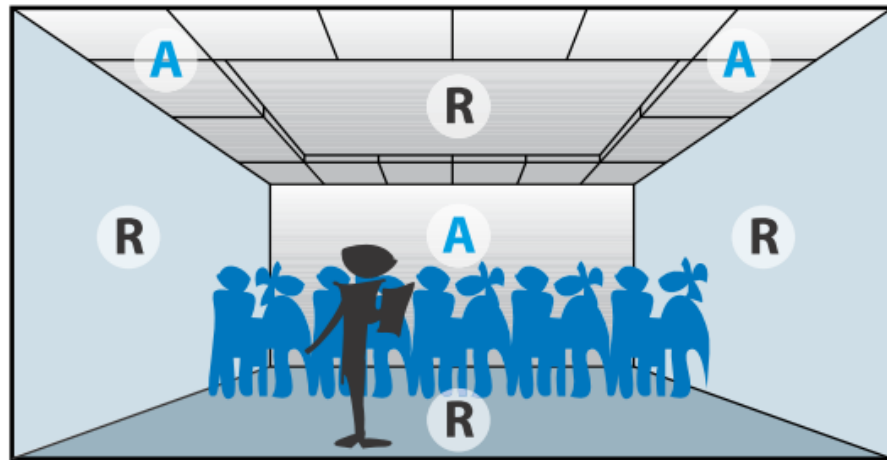
- Finiture superficiali delle aule:
- a. muro di fondo-fonoassorbente o fonodiffondente
 - b. soffitto-fonoriflettente (ad esempio pannello intonacato)
 - c. pavimento-fonoassorbente (ad esempio moquette)
 - d. muri-fonoriflettenti
 - e. soffitto-fonoassorbente.



- Finiture superficiali delle aule:
- a. muro di fondo-fonoassorbente o fonodiffondente
 - b. soffitto-fonoriflettente (ad esempio pannello intonacato)
 - c. pavimento-fonoassorbente (ad esempio moquette)
 - d. muri-fonoriflettenti
 - e. parte alta dei muri-fonoassorbente o fonodiffondente.

Figura 5.13 – Esempificazione di possibili distribuzioni di materiali fonoassorbenti e fonoriflettenti in ambienti per l'ascolto della parola [11].

LE SOLUZIONI DI PROGETTO PER LA CORREZIONE ACUSTICA DELLE AULE SCOLASTICHE



A = assorbente;
R = riflettente.

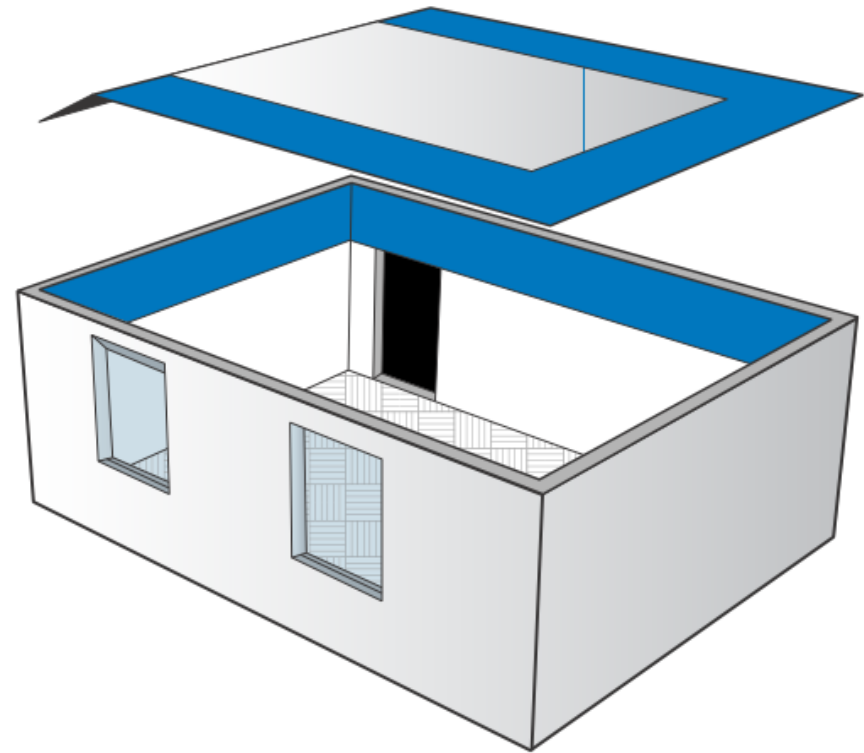
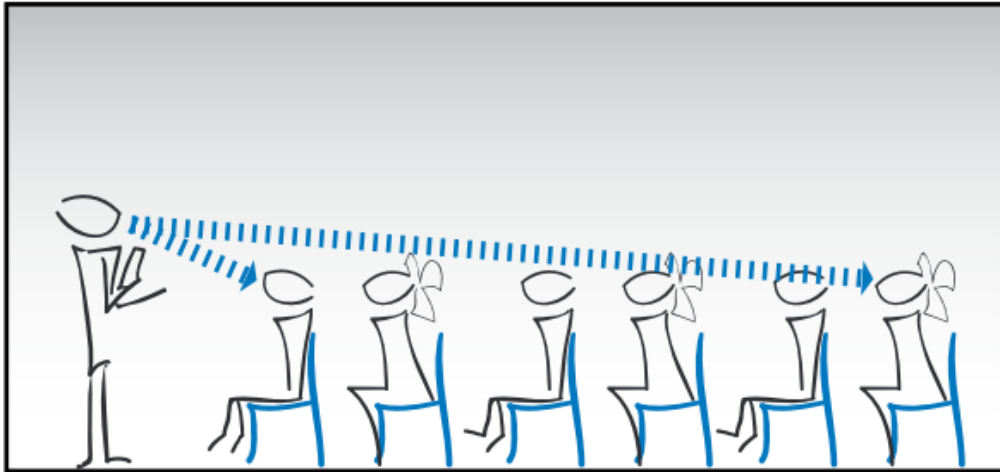
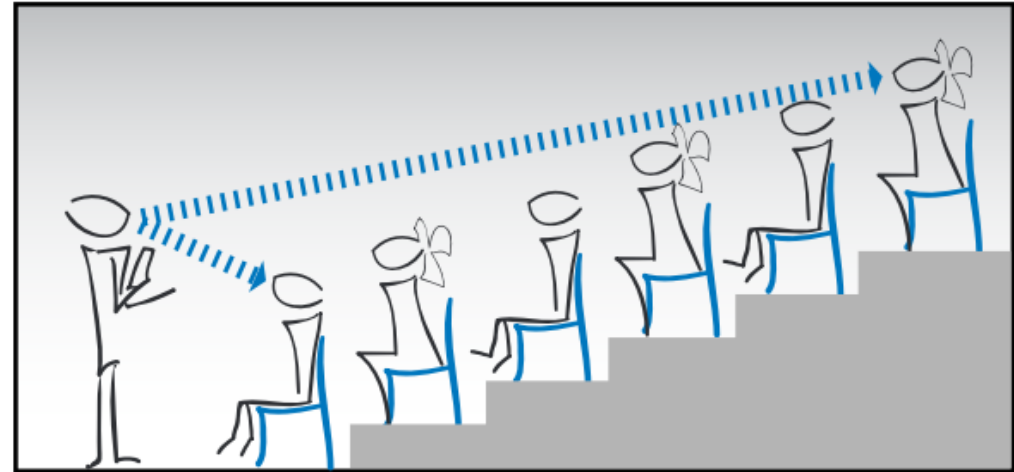


Figura 5.14 - Esempi di collocazione di materiale fonoassorbente e fonoriflettente in un'aula scolastica di scuola primaria o secondaria [11].

LE SOLUZIONI DI PROGETTO PER LA CORREZIONE ACUSTICA DELLE AULE SCOLASTICHE

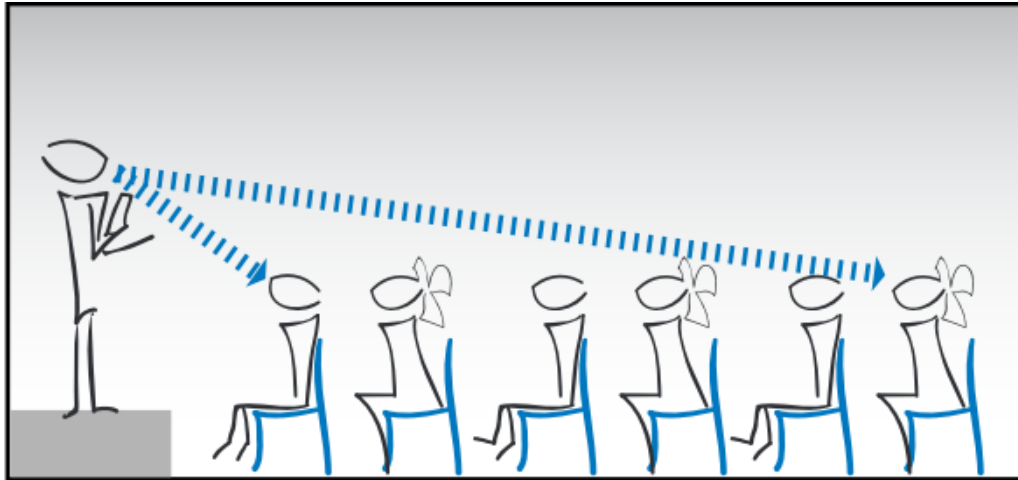


Un'adeguata intensità è essenziale, il suono diretto deve avere una traiettoria sgombra e senza ostacoli.

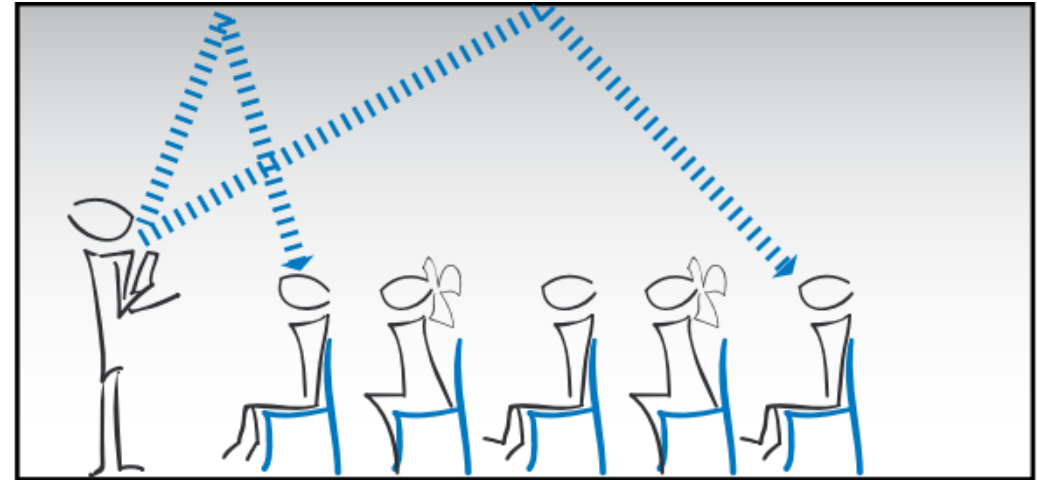


L'intensità del suono diretto verso il fondo della sala è incrementata grazie alle sedute inclinate.

LE SOLUZIONI DI PROGETTO PER LA CORREZIONE ACUSTICA DELLE AULE SCOLASTICHE

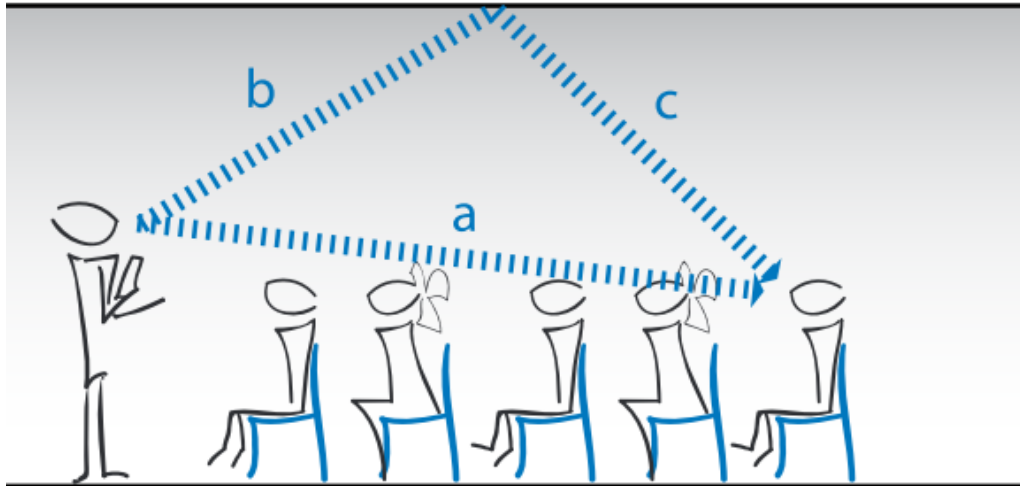


L'intensità del suono diretto può essere aumentata ponendo il parlatore su una piattaforma.

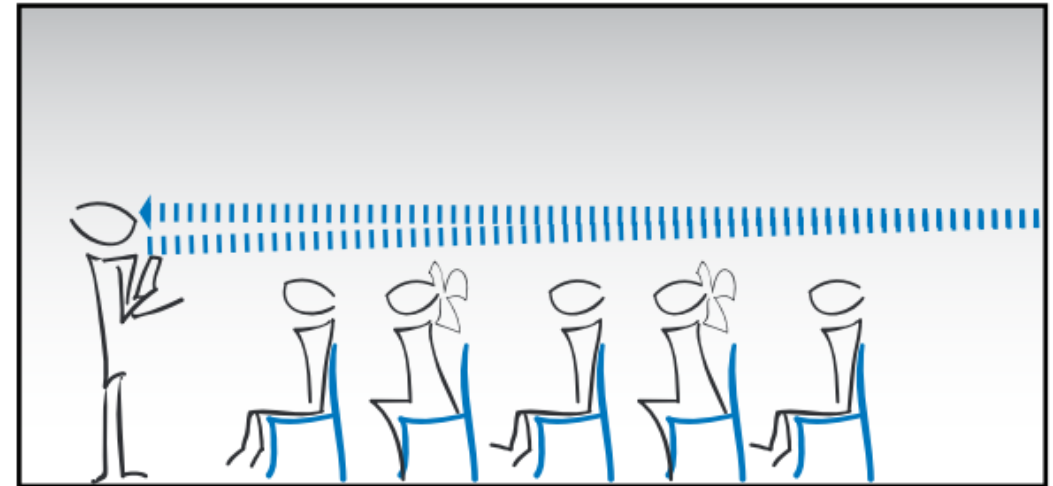


Il suono riflesso contribuisce a quello diretto se il tempo tra i due è minore di 50 millisecondi.

LE SOLUZIONI DI PROGETTO PER LA CORREZIONE ACUSTICA DELLE AULE SCOLASTICHE



Per utilizzare le riflessioni sonore, il percorso addizionale del suono riflesso deve essere minore di 17 metri: $b+c-a < 17 \text{ m}$



Il muro di fondo può causare eco disturbanti per il parlatore se è a più di 8,5 m.
Il muro di fondo dovrebbe essere trattato con materiale assorbente o diffondente.