

QUADERNO TECNICO PER IL PROFESSIONISTA
**ISOLAMENTO ACUSTICO
DEGLI EDIFICI**

Febbraio 2018

BigMat
HOME OF BUILDERS



www.bigmat.it

SOMMARIO

1. TEORIA E NORMATIVA

LEGGE 447/1995 - "LEGGE QUADRO SULL'INQUINAMENTO ACUSTICO"	2
· Il Tecnico Competente in Acustica	5
DPCM 5/12/1997 - DETERMINAZIONE DEI REQUISITI ACUSTICI PASSIVI DEGLI EDIFICI	6
· Descrittori dei requisiti acustici.....	6
NORMA UNI 11367 - CLASSIFICAZIONE ACUSTICA DELLE UNITÀ IMMOBILIARI	9
· Descrittori dei requisiti acustici secondo la UNI 11367	10
· Come determinare le classi acustiche	14
· Come interpretare le classi acustiche	16
ACUSTICA E RISTRUTTURAZIONE	18
· Legislazione regionale	20
LEGISLAZIONE INTERNAZIONALE	21

2. CALCOLI PREVISIONALI E MISURE IN OPERA

SUONO E GRANDEZZE CARATTERISTICHE	22
· Frequenza	23
· Velocità di propagazione	24
· Lunghezza d'onda	24
· Pressione acustica	25
· Analisi in frequenza	26
PROPAGAZIONE DEL SUONO NEGLI EDIFICI	26
DESCRITTORI DEI REQUISITI ACUSTICI	27
· Potere fonoisolante apparente	27
· Rumori da calpestio	28
· Isolamento acustico di facciata	31
· Cenni sul rumore degli impianti	32
INDICI DI VALUTAZIONE	33
· Coefficienti di adattamento spettrale	33
FONOISOLAMENTO E FONOASSORBIMENTO	34
· Tempo di riverbero (T)	35

3. SOLUZIONI TECNOLOGICHE

ISOLAMENTO AI RUMORI AEREI	36
· Scelte progettuali	36
· Cura dei dettagli in opera	38
· Ponti acustici	40
MATERIALI ISOLANTI NELLE INTERCAPEDINI	41
ISOLAMENTO DI FACCIATA	43
· Serramenti	43
· Piccoli elementi (cassonetti e bocchette di aerazione)	45
CORREZIONE ACUSTICA	46
· Posizionamento dei materiali per la correzione acustica	49
ISOLAMENTO AL CALPESTIO	51
· Scelte progettuali	51
· Massetto galleggiante	52
· Massetto monostrato	55
· Massetto radiante	55
· Massetto a secco	56
· Materiale resiliente sottopavimento	57
· Pavimento resiliente	57
· Isolamento acustico del vano scala	58
CARATTERISTICHE DEI MATERIALI RESILIENTI	59
· Rigidità dinamica reale e apparente	59
· Comportamento a compressione	59
RUMORI DA IMPIANTI	60
· Scarichi dei WC	60
· Isolamento dalle vibrazioni	61

BIBLIOGRAFIA

1.

TEORIA E NORMATIVA

La protezione acustica degli edifici è un argomento trattato fin dagli anni '50 in varie disposizioni legislative nazionali, regionali e raccomandazioni. Tuttavia le conoscenze maturate nei decenni non si sono mai tradotte in valide pratiche realizzative e l'isolamento acustico è sempre rimasto ai margini del processo costruttivo edilizio.

Questo primo capitolo del quaderno tecnico analizza la normativa in vigore. Dopo una introduzione alla Legge quadro sull'acustica n. 447 del 1995 viene descritta nel dettaglio la legislazione del settore focalizzando l'attenzione sui requisiti acustici passivi degli edifici e la norma UNI 11367 per la classificazione acustica delle unità immobiliari. La parte finale è dedicata alle prescrizioni in vigore negli stati europei.

LEGGE 447/1995 - "LEGGE QUADRO SULL'INQUINAMENTO ACUSTICO"

Analizzando il percorso normativo sull'acustica, già nella **Circolare del Ministero dei lavori pubblici n. 1769 del 30 aprile 1966** "Criteri di valutazione e collaudo dei requisiti acustici nelle costruzioni edilizie" si leggeva che il comportamento acustico di un immobile era un problema da risolvere in sede di progetto, ricorrendo a una oculata scelta di materiali di comprovate proprietà acustiche (derivanti da prove di laboratorio) e curandone la messa in opera. Erano riportati anche i requisiti acustici di capitolato, o di accertabilità in opera, per le costruzioni di edilizia sovvenzionata.

Nel 1995 un sostanziale impulso viene dato dalla Legge quadro sull'inquinamento acustico da cui scaturisce il DPCM 5/12/1997.

La Legge quadro 447/1995, recentemente modificata e aggiornata con il D.Lgs 42/2017, è il documento di riferimento nel panorama legislativo nazionale sul tema del rumore e sancisce i principi fondamentali in materia di tutela dell'ambiente esterno e dell'ambiente abitativo dall'inquinamento acustico. Non indica dei valori da rispettare, ma contiene alcune importanti definizioni e stabilisce "chi deve fare cosa". In particolare tra le "Competenze dello Stato" viene evidenziato l'obbligo di pubblicare i decreti contenenti i requisiti acustici delle sorgenti sonore e i requisiti acustici passivi degli edifici e dei suoi componenti. Inoltre, compito dello Stato è quello di emanare il decreto contenente i criteri per la progettazione, l'esecuzione e la ristrutturazione delle costruzioni edilizie, delle infrastrutture e dei trasporti ai fini della tutela dall'inquinamento acustico (art. 3 comma f). Purtroppo, questo decreto non è stato ancora emanato.



DEFINIZIONI RIPORTATE NELLA LEGGE 447/1995

- **Inquinamento acustico:** si intende "l'introduzione di rumore nell'ambiente abitativo e nell'ambiente esterno tale da provocare fastidio o disturbo al riposo ed alle attività umane, pericolo per la salute umana, deterioramento degli ecosistemi dei beni materiali, dei monumenti, dell'ambiente abitativo o dell'ambiente esterno o tale da interferire con le legittime fruizioni degli ambienti stessi".
- **Ambiente abitativo:** si intende "ogni ambiente interno ad un edificio destinato alla permanenza di persone o di comunità ed utilizzato per le diverse attività umane, fatta eccezione per gli ambienti destinati ad attività produttive (...)".

I Comuni, invece, sono chiamati a effettuare la zonizzazione acustica, art. 6, ovvero a suddividere il proprio territorio in classi acustiche omogenee (dalla I° alla VI°, vedi Tabella 1) sulla base delle preesistenti condizioni d'uso ma anche delle previsioni e delle precise scelte urbanistiche definite dalle Amministrazioni comunali. La zonizzazione fornisce il quadro di riferimento per valutare i livelli di

rumore presenti o previsti nel territorio comunale (vedi Figura 1) e, quindi, la base per programmare interventi e misure di controllo o riduzione dell'inquinamento acustico. L'obiettivo della zonizzazione è quello di prevenire il deterioramento di aree non inquinate e di risanare quelle caratterizzate da livelli di rumorosità ambientali superiori ai valori limite.

Tabella 1 - Classi acustiche e limiti sonori in dB

Classi di destinazione d'uso del territorio	EMISSIONE		IMMISSIONE	
	Diurno (06.00-22.00)	Notturno (22.00-06.00)	Diurno (06.00-22.00)	Notturno (22.00-06.00)
I - aree particolarmente protette	45	35	50	40
II - aree prevalentemente residenziali	50	40	55	45
III - aree di tipo misto	55	45	60	50
IV - aree di intensa attività umana	60	50	65	55
V - aree prevalentemente industriali	65	55	70	60
VI - aree esclusivamente industriali	65	65	70	70



Figura 1 - Zonizzazione acustica [immagine tratta da arpae.it].

Purtroppo, i Comuni in Italia che, fino ad oggi, hanno adottato un così importante strumento sono ancora pochi. Le cause sono molteplici, ma principalmente dettate dall'errata convinzione che l'approvazione della zonizzazione acustica imponga oneri aggiuntivi alle attività produttive e anche alla stessa Amministrazione, la quale è chiamata, in molti casi, ad avviare degli adeguati piani di contenimento del rumore.

Oltre alla zonizzazione acustica, la Legge 447/95 all'arti. 8 obbliga i Comuni a richiedere le seguenti analisi effettuate da un Tecnico Competente in

Acustica ambientale (TCA):

- **valutazioni di impatto acustico** nel caso si debbano realizzare opere potenzialmente rumorose al fine di prevedere quanto rumore verrà generato dalla nuova opera e se potrà disturbare eventuali utenze vicine (recettori sensibili);
- **verifiche di clima acustico** con lo scopo di determinare la rumorosità presente in un'area prima di realizzare un edificio per valutare se l'area è compatibile con la costruzione e prevedere eventuali opere di mitigazione dei rumori.



QUANDO EFFETTUARE VALUTAZIONI DI IMPATTO ACUSTICO E CLIMA ACUSTICO

IMPATTO ACUSTICO

Devono essere sottoposti a **valutazione di impatto acustico** gli interventi riguardanti la realizzazione, la modifica o il potenziamento di:

- aeroporti, aviosuperfici, eliporti;
- strade (dal tipo A (autostrade) al tipo F (strade locali), secondo la classificazione del D.Lgs 30/4/1992, n. 285);
- discoteche;
- circoli privati e pubblici esercizi ove sono installati macchinari o impianti rumorosi;
- impianti sportivi e ricreativi;
- ferrovie e altri sistemi di trasporto collettivo su rotaia.

CLIMA ACUSTICO

La valutazione previsionale di clima acustico viene realizzata attraverso una serie di misure fonometriche per "fotografare" la situazione del livello sonoro esistente in una specifica area e contiene una relazione con l'indicazione delle misure necessarie a contenere il livello di rumore entro i limiti di legge se dallo studio di impatto si prevede che il rumore generato dall'attività andrà oltre.

Questo studio viene richiesto dai comuni per il rilascio della concessione edilizia nelle aree interessate dalla realizzazione di:

- scuole e asili nido;
- ospedali;
- case di cura e di riposo;
- parchi pubblici urbani ed extraurbani;
- nuovi insediamenti residenziali prossimi alle opere che richiedono valutazione di impatto acustico.

I limiti da rispettare sono definiti nei piani di classificazione acustica dei singoli comuni e variano in base alla zona in cui verrà realizzato l'intervento.



Misura fonometrica attività industriale

IL TECNICO COMPETENTE IN ACUSTICA

Il Tecnico Competente in Acustica (TCA), definito nella Legge 447/1995, è la figura professionale iscritta nell'elenco nazionale dei tecnici competenti in acustica, idonea a "effettuare le misurazioni, verificare l'ottemperanza ai valori definiti dalle vigenti norme, redigere i piani di risanamento acustico e svolgere le relative attività di controllo". Si tratta quindi del professionista "abilitato" ad esempio alla realizzazione delle valutazioni di clima e impatto acustico e all'esecuzione delle misurazioni fonometriche per la verifica dei limiti stabiliti dai decreti attuativi della Legge quadro.

Il D.Lgs 42/2017, entrato in vigore il 19 aprile 2017, ha introdotto importanti novità che riguardano i

TCA, quali:

- l'istituzione di un unico elenco nazionale dei tecnici competenti presso il Ministero dell'Ambiente, che andrà progressivamente a sostituire gli attuali elenchi regionali;
- l'introduzione dell'obbligo della formazione continuativa per i TCA;
- la possibilità di diventare TCA dopo aver superato con profitto l'esame finale di un corso di formazione della durata di almeno 180 ore, senza dover affiancare per 2 o 4 anni un professionista già abilitato;
- **l'obbligo di aggiornamento professionale del TCA di 30 ore ogni tre anni.**



REQUISITI PROFESSIONALI DEL TECNICO COMPETENTE IN ACUSTICA

Secondo il D.Lgs 42/2017 possono presentare domanda, alla propria regione o provincia autonoma, per iscriversi nell'elenco nazionale dei TCA, coloro che sono in possesso di una laurea o laurea magistrale a indirizzo tecnico o scientifico e di almeno uno dei seguenti requisiti:

- avere superato con profitto l'esame finale di un **master universitario** con un modulo di almeno 12 crediti in tema di acustica, di cui almeno 3 di laboratori di acustica, nelle tematiche oggetto della Legge 447/1995;
- avere superato con profitto l'esame finale di un **corso in acustica** per tecnici competenti svolto secondo lo schema di corso indicato nel D.Lgs 42;
- avere ottenuto almeno **12 crediti universitari** in materie di acustica, di cui almeno 3 di laboratori di acustica, rilasciati per esami relativi a insegnamenti il cui programma riprenda i contenuti dello schema di corso indicato nel D.Lgs 42;
- aver conseguito il titolo di **dottore di ricerca**, con una tesi di dottorato in acustica ambientale;
- aver svolto attività professionale in materia di acustica applicata **per almeno quattro anni**, decorrenti dalla data di comunicazione dell'avvio alla regione di residenza, in modo non occasionale, in collaborazione con un tecnico competente o alle dipendenze di strutture pubbliche, attestata da idonea documentazione;
- chi invece è già stato riconosciuto Tecnico Competente in Acustica negli anni precedenti l'entrata in vigore del D.Lgs 42/2017, può presentare, entro il 19 aprile 2018, alla propria regione una "istanza di inserimento" nell'elenco nazionale.

DPCM 5/12/1997 DETERMINAZIONE DEI REQUISITI ACUSTICI PASSIVI DEGLI EDIFICI

Il DPCM 5/12/1997 “Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici”, è il Decreto emanato dallo Stato in attuazione della Legge quadro n. 447. Con l’obiettivo di contenere l’inquinamento da rumore all’interno degli ambienti abitativi, tale Decreto indica i requisiti che gli edifici devono rispettare in merito a:

- isolamento dai rumori aerei tra differenti unità immobiliari;
- isolamento dai rumori provenienti dall’esterno (isolamento di facciata);

- isolamento dai rumori da calpestio;
- isolamento dai rumori degli impianti a funzionamento continuo e discontinuo;
- tempo di riverberazione di aule scolastiche e palestre.

Le prescrizioni del DPCM 5/12/1997 riguardano le prestazioni in opera, ovvero a edificio ultimato, di pareti e solai e delle sorgenti sonore interne agli edifici.

DESCRITTORI DEI REQUISITI ACUSTICI

Per caratterizzare il comportamento acustico di un elemento edilizio il DPCM 5/12/1997 definisce, come di seguito elencati e rappresentati in figura 2, alcuni indici o parametri, detti anche “descrittori”, e ne stabilisce i relativi limiti (vedi Tabella 2).

Potere fonoisolante apparente (R'_w)	Definisce la capacità di una partizione, realizzata in opera, di limitare il passaggio di rumori aerei (voci, TV, radio, ecc.). Il parametro indica “quanti dB è in grado di eliminare la partizione”. Più il valore di R'_w è alto, migliore è la prestazione di isolamento.
Isolamento acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$)	Caratterizza la capacità di partizione di abbattere i rumori aerei provenienti dall'esterno. Anche in questo caso il parametro indica “quanti dB” è in grado di eliminare la facciata. Alti valori di $D_{2m,nT,w}$ indicano migliori prestazioni di isolamento.
Livello di rumore di calpestio normalizzato (L'_{nw})	Evidenzia il livello di rumore percepito in un ambiente abitativo dopo aver attivato, in un altro ambiente, una “sorgente normalizzata di rumore da impatto”. Di conseguenza più basso è il livello di rumore misurato migliori saranno le prestazioni del sistema costruttivo.
Livello di rumore degli impianti a funzionamento discontinuo (L_{ASmax})	È caratterizzato dal descrittore livello massimo di pressione sonora ponderata A misurata con costante di tempo slow (L_{ASmax}). Si valuta misurando il “picco massimo” di rumore emesso da un impianto. Il DPCM considera impianti a funzionamento discontinuo: ascensori, scarichi idraulici, bagni, servizi igienici e rubinetteria.
Livello di rumore degli impianti a funzionamento continuo (L_{Aeq})	È definito dal descrittore livello equivalente di pressione sonora ponderata A (L_{Aeq}). Si valuta misurando il “livello costante” di rumore emesso dall'impianto. Il DPCM considera impianti a funzionamento continuo gli impianti di riscaldamento, aerazione e condizionamento.
Tempo di riverberazione (T)	È il tempo necessario perché un suono decada di 60 dB all'interno di un locale. Il parametro varia con la frequenza considerata.

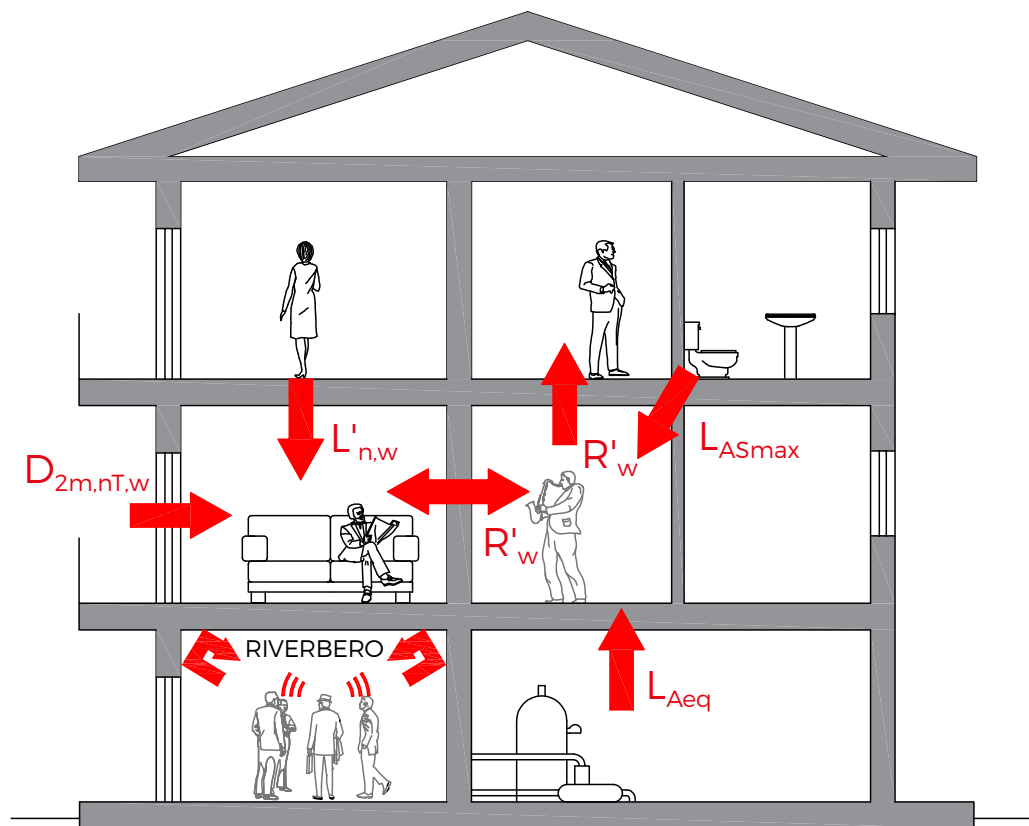


Figura 2 - Indici descrittivi dell'isolamento acustico (il tempo di riverbero (T) non è richiesto per gli edifici residenziali ma solo per scuole e palestre ed è stato rappresentato nell'immagine con soli scopi illustrativi).

Tabella 2 - Requisiti acustici passivi degli edifici, dei loro componenti e degli impianti tecnologici. Valori limite da rispettare in opera [art. 3 DPCM 5/12/1997 - Allegato A, tabella B]

Categorie di ambienti abitativi	Parametri [dB]				
	R'_w	$D_{2m,nT,w}$	L'_{nw}	L_{ASmax}	L_{Aeq}
Edifici adibiti a ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili	≥ 55	≥ 45	≤ 58	≤ 35	≤ 25
Edifici adibiti a residenze, alberghi, pensioni e attività assimilabili	≥ 50	≥ 40	≤ 63	≤ 35	≤ 35 (*) ≤ 25 (Consigliato)
Edifici adibiti a attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili	≥ 50	≥ 48	≤ 58	≤ 35	≤ 25
Edifici adibiti ad uffici, attività ricreative o di culto, attività commerciali o assimilabili	≥ 50	≥ 42	≤ 55	≤ 35	≤ 35 (*)

(*) I limiti di rumore degli impianti a funzionamento continuo non sono chiari. Mentre nella tabella il Decreto indica valori differenziati in base alla destinazione d'uso dell'edificio, in un articolo del documento è riportato che il livello di tali impianti non deve mai superare 25 dB(A). Sul tema sono stati espressi pareri discordanti in alcune circolari ministeriali. Si consiglia, a favore di sicurezza, di considerare il limite di 25 dB(A).

Nota

Tempo di riverberazione (T): Il DPCM 5/12/1997 richiama quanto riportato nella Circ. Min. LL. PP. n. 3150 del 22/05/1967 "Criteri di valutazione e collaudo dei requisiti acustici negli edifici scolastici": "La media dei tempi di riverberazione **misurati** alle frequenze 250 - 500 - 1000 - 2000 Hz, non deve superare 1,2 sec. ad aula arredata, con la presenza di due persone al massimo. Nelle palestre la media dei tempi di riverberazione (qualora non debbano essere utilizzate come auditorio) non deve superare 2,2 sec."

Considerazioni sul DPCM 5/12/1997

Il Decreto è entrato in vigore il giorno 20 febbraio 1998, dopo 60 giorni dalla pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale (22 dicembre 1997). Rientrano nell'applicazione del Decreto tutti gli edifici per i quali sia stata rilasciata concessione edilizia (o altra autorizzazione prevista) dopo il 20 febbraio 1998. È opportuno evidenziare che regioni e comuni possono imporre nei propri regolamenti prescrizioni più restrittive rispetto al DPCM. Ad esempio nel caso di Comuni in prossimità di aeroporti potrebbero essere richieste prescrizioni di isolamento di facciata più elevate rispetto al Decreto. Per gli edifici realizzati precedentemente vanno applicate eventuali prescrizioni riportate all'interno di normative locali (Regolamenti edilizi, ecc.).

Di seguito si riportano alcune considerazioni in merito ai **valori limite** da rispettare.

- I limiti di R'_w sono valori **minimi** consentiti e riguardano solo **“elementi di separazione tra due distinte unità immobiliari”**. Pertanto non vi sono specifiche prescrizioni per le pareti tra aule scolastiche, camere d'albergo, camere d'ospedale, uffici o per le pareti

tra appartamento e vano scala comune.

- I limiti $D_{2m,nt,w}$ sono valori **minimi** consentiti, riguardano i singoli **ambienti abitativi** (non l'intera facciata della U.I.) e anche le falde dei tetti dei **sottotetti abitabili** devono rispettare i limiti del DPCM 5/12/1997. I valori limite non dipendono dal rumore esterno all'edificio ma, nel caso l'immobile venga edificato in prossimità di opere rumorose, si ricorda che la Legge 447/1995 richiede di realizzare anche una valutazione di “clima acustico” dell'area. Tale valutazione potrà imporre prescrizioni più restrittive nel caso l'ambiente esterno presenti una rumorosità particolarmente elevata.
- I limiti di L'_{nw} sono valori **massimi** consentiti. Il DPCM non chiarisce se la prescrizione è riferita ai solai “a soffitto” o ai solai “a pavimento” degli ambienti abitativi esaminati. Pertanto in caso di edifici a destinazione d'uso mista (ad esempio uffici a piano terra e residenze a piano primo) non è chiaro quali limiti si debbano applicare. Si suggerisce di adottare sempre i valori più restrittivi. Inoltre il Decreto non specifica che la macchina da calpestio debba essere posizionata in una unità immobiliare differente rispetto a quella dell'ambiente disturbato.



ACUSTICA E NORMALE TOLLERABILITÀ (ART. 844 C.C.)

L'art. 844 del Codice Civile recita che: “Il proprietario di un fondo non può impedire le immissioni di fumo o di calore, le esalazioni, **i rumori**, gli scuotimenti e simili propagazioni derivanti dal fondo del vicino, se non superano **la normale tollerabilità**, avuto anche riguardo alla condizione dei luoghi [...]”.

Tale articolo viene generalmente richiamato nelle cause in tribunale inerenti il disturbo da rumore tra vicini di casa e, la giurisprudenza, ha indicato che si supera la normale tollerabilità se l'evento disturbante eccede di 3 dB il rumore di fondo della zona, inteso come livello di rumorosità dell'ambiente privo dell'evento in esame.

A volte la normale tollerabilità viene richiamata anche nelle cause inerenti i requisiti acustici passivi degli edifici. Occorre però specificare che tale parametro può essere preso in considerazione se la vertenza riguarda i rumori generati dal vicino di casa. Se invece la causa è riferita ai requisiti acustici dell'immobile, le prescrizioni da rispettare sono quelle indicate nel DPCM 5/12/1997.

Pertanto è possibile eseguire rilevazioni di calpestio anche all'interno della medesima unità immobiliare. La prescrizione è più che ragionevole se si considerano scuole, ospedali, alberghi o uffici. D'altro canto si segnala che realizzare misure di livello di calpestio tra due stanze di una unità immobiliare residenziale può risultare, in alcuni casi, particolarmente complicato. Gli ambienti infatti possono essere tra loro collegati da vani scale o altri "ponti acustici" che possono rendere inutilizzabile il risultato del rilievo. Infine si evidenzia che il Decreto non specifica che la sorgente di calpestio debba essere posizionata nell'ambiente soprastante all'ambiente di misura. È quindi possibile realizzare anche rilevazioni tra stanze adiacenti sullo stesso piano o ambienti sfalsati.

- I limiti di L_{ASmax} e L_{Aeq} sono valori **massimi** consentiti, il disturbo deve essere misurato **in ambienti diversi da quello in cui il rumore si origina** ed è possibile eseguire rilievi anche all'interno della medesima unità immobiliare. Anche in questo caso quest'ultima indicazione è più che ragionevole se si considerano scuole, ospedali, alberghi o uffici, ma più difficile da realizzare per due ambienti interni a una residenza. Si evidenzia che anche la misura su impianti a funzionamento continuo deve essere eseguita in ambienti diversi da quello in cui il rumore si origina. Pertanto, ad esempio, il rumore di un fancoil a servizio di una camera d'albergo deve essere misurato nella camera adiacente.

NORMA UNI 11367 - CLASSIFICAZIONE ACUSTICA DELLE UNITÀ IMMOBILIARI

La norma UNI 11367 indica come determinare la classe acustica di una unità immobiliare esistente sulla base dei risultati di misure fonometriche eseguite sull'edificio.

In analogia con la certificazione energetica anche la classificazione acustica si prefigge di evidenziare, mediante alcuni indicatori, le caratteristiche di isolamento dell'unità immobiliare esaminata. Vengono analizzate le prestazioni relative ai rumori provenienti dall'esterno, ai rumori aerei e da calpestio provenienti da altre unità immobiliari, ai rumori di impianti di pertinenza dell'intero edificio o di altre unità immobiliari.

Il documento, pubblicato a luglio 2010, è stato integrato nel 2012 dalla UNI 11444 per la classificazione di edifici con caratteristiche non seriali.

La norma inoltre vuole fornire alcune indicazioni in merito a quegli aspetti non chiaramente esplicitati nel DPCM 5/12/1997.

Ad esempio la UNI 11367 individua come considerare le prestazioni delle partizioni divisorie interne di alberghi e scuole e specifica come e dove eseguire misure su impianti ed elementi costruttivi.



PERCHÉ INTRODURRE LA CERTIFICAZIONE ACUSTICA DEGLI EDIFICI?

La classificazione acustica è un sistema di valutazione della qualità degli edifici diffuso già in altri paesi d'Europa. L'introduzione di un sistema di questo tipo potrebbe avere i seguenti effetti:

- fornire una chiave di lettura più semplice e immediata agli utenti finali (gli acquirenti) in merito alla qualità acustica degli edifici;
- incentivare il miglioramento continuo nella qualità costruttiva e realizzativa;
- aumenterebbe il valore dell'immobile e risulterebbe un importante parametro di vendita come nel caso della certificazione energetica.



DESCRITTORI DEI REQUISITI ACUSTICI SECONDO LA UNI 11367

Le tipologie di rumori considerate e i descrittori adottati nella norma UNI 11367, come successivamente descritti, sono fondamentalmente gli stessi del DPCM 5/12/1997, a eccezione di quelli relativi al rumore degli impianti che sono stati "corretti" per tener conto del tempo di riverbero e del rumore di fondo. È stato, inoltre, introdotto un nuovo parametro (il $D_{nT,w}$) per determinare l'isolamento ai rumori aerei delle partizioni, orizzontali e verticali, che separano ambienti della stessa unità immobiliare come ad esempio le camere d'albergo.

Livello di Rumore degli impianti: differenze tra i descrittori della UNI 11367 e del DPCM 5/12/1997

La UNI 11367 indica che il livello del rumore da impianti a funzionamento discontinuo e conti-

nuo devono essere determinati usando rispettivamente i descrittori L_{id} e L_{ic} . Questi parametri derivano dagli indici L_{ASmax} e L_{Aeq} corretti con fattori che considerano il tempo di riverbero e il livello di rumore dell'ambiente di misura.

Le correzioni sono state introdotte per colmare una lacuna del DPCM 5/12/1997. Infatti i valori di L_{ASmax} e L_{Aeq} dipendono fortemente dal riverbero (T) dell'ambiente ricevente, e quindi misure eseguite in ambiente arredato e in ambiente vuoto forniscono risultati differenti. I descrittori L_{ic} e L_{id} invece, "normalizzati" rispetto a un tempo di riverbero di riferimento ($T_0 = 0,5$ secondi per ambienti con volume inferiore a 100 mc), diventano indipendenti rispetto a questo parametro.

La correzione sul rumore residuo, applicata solo alle misure per gli impianti a funzionamento continuo, serve invece per adeguare il risultato del rilievo nel caso che il livello generato dall'impianto sia prossimo al rumore presente nella stanza.

Potere fonoisolante apparente (R'_w)	Come da DPCM 5/12/1997
Isolamento acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$)	Come da DPCM 5/12/1997
Livello di rumore di calpestio normalizzato ($L'_{n,w}$)	Come da DPCM 5/12/1997
Isolamento acustico normalizzato con il tempo di riverbero ($D_{nT,w}$)	Indice di isolamento acustico di partizioni verticali e orizzontali della stessa unità immobiliare normalizzato con il tempo di riverbero. Come R'_w anche questo parametro indica "quanti dB" è in grado di attenuare la partizione.
Livello di rumore degli impianti a funzionamento discontinuo (L_{id})	Livello sonoro corretto immesso da impianti a funzionamento discontinuo. Molto simile a L_{ASmax} del DPCM ma è normalizzato rispetto a un tempo di riverbero di riferimento T_0 pari a 0,5 secondi per ambienti con volume inferiore a 100 mc.
Livello di rumore degli impianti a funzionamento continuo (L_{ic})	Livello sonoro corretto immesso da impianti a funzionamento continuo. Molto simile a L_{Aeq} del DPCM ma il valore è normalizzato rispetto a un tempo di riverbero di riferimento T_0 pari a 0,5 secondi per ambienti con volume inferiore a 100 mc e normalizzato rispetto al livello di rumore dell'ambiente (per tener conto del rumore residuo).



LIVELLO DI RUMORE GENERATO DAGLI IMPIANTI

In particolare la UNI 11367 indica che:

$$L_{ic} = L_{Aeq} + A + B$$

$$L_{id} = L_{ASmax} + A$$

Dove:

- $A = (-10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right))$ è il fattore correttivo relativo al tempo di riverbero dell'ambiente ricevente
- $B = (-10 \log \left(1 - 10^{-\frac{(L_a - L_r)}{10}} \right))$ è il fattore correttivo sul livello di rumore residuo, a impianto spento, nella stanza
- L_a è il livello di pressione sonora ambientale, misurato con l'impianto in funzione [dB(A)]
- L_r è il livello di pressione sonora residuo, misurato con l'impianto spento [dB(A)]

Confronto tra gli indicatori R'_w e D_{nT}

La norma UNI EN ISO 16283-1 indica come misurare in opera la prestazione fonoisolante di una partizione. La misura consiste nell'attivare una sorgente di rumore in una delle due stanze e nel rilevare:

- il livello di pressione sonora (L_1) nell'ambiente emittente;
- il livello di rumore (L_2) dell'ambiente ricevente;
- il tempo di riverbero (T) dell'ambiente ricevente.

La UNI 16283 descrive inoltre come, attraverso questi dati, sia possibile ricavare differenti descrittori:

- potere fonoisolante apparente (R'):

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S \cdot T}{0,16 \cdot V}$$

- potere fonoisolante normalizzato (D_{nT}).

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{T}{T_0}$$

Dove:

S = superficie della partizione [mq];

V = volume dell'ambiente ricevente [mc];

T_0 = tempo di riverberazione di riferimento (per le abitazioni $T_0 = 0,5$ secondi).

Ciò significa che **la medesima partizione può essere caratterizzata da differenti descrittori ed evidenziare quindi "prestazioni" diverse.**

In particolare il D_{nT} consente di svincolare la misura dai fenomeni di riverbero dell'ambiente ricevente ad esempio causato dall'arredamento.



IL POTERE FONOSOLANTE IN ITALIA E NEL RESTO D'EUROPA

Mentre in Italia il DPCM 5/12/1997 ha specificato l'obbligo di utilizzare il parametro R'_w per individuare la prestazione fonoisolante delle strutture, altri paesi hanno scelto il descrittore D_{nTw} . Ciò comporta che i "limiti di legge", in vigore in Italia, non possono essere confrontati con le prestazioni richieste in altri stati europei.

La UNI 11367 ha indicato di utilizzare il parametro D_{nTw} per le partizioni divisorie interne alla medesima unità immobiliare (ad esempio alberghi) per iniziare a introdurre anche in Italia questo parametro.



Valori limite per le classi acustiche

La norma UNI 11367 propone quattro classi acustiche (I, II, III e IV) dove la classe I è la migliore, la IV la peggiore (vedi Tabella 3).

Nel caso vengano rilevate in opera prestazioni peggiori rispetto alla classe IV il requisito risulta non classificabile (NC). Nel caso invece un descrittore non sia significativo per l'unità immobiliare in esame, ad esempio una villetta monofamiliare per la quale non ha senso misurare il parametro R'_{w} , si adotta la sigla NP, "non pertinente".

I limiti sono validi per tutte le destinazioni d'uso ad eccezione di ospedali e scuole. Per queste tipologie di edifici la norma propone, nell'Appendice A, alcuni valori di riferimento, indicati

nella tabella 4 che segue, per definire costruzioni con prestazioni acustiche "di base" o "superiori".

Per le unità immobiliari (U.I.) con destinazione d'uso ricettiva (alberghi, pensioni e simili) la UNI 11367 richiede, ai fini della classificazione acustica, anche:

- la valutazione dell'isolamento ai rumori aerei normalizzato $D_{nT,w}$ e da calpestio normalizzato $L'_{n,w}$ tra ambienti della stessa U.I. (vedi Tabella 5);
- la valutazione del livello di rumore degli impianti, a funzionamento continuo o discontinuo, della stessa unità immobiliare ma a servizio di ambienti contigui (per esempio impianti sanitari installati in camere contigue).

Tabella 3 – UNI 11367 Classi acustiche per tutti gli edifici a eccezione di ospedali e scuole

Classe Acustica	Indici di valutazione				
	$D_{2m,nT,w}$ [dB]	R'_{w} [dB]	$L'_{n,w}$ [dB]	L_{ic} [dBA]	L_{id} [dBA]
I	≥ 43	≥ 56	≤ 53	≤ 25	≤ 30
II	≥ 40	≥ 53	≤ 58	≤ 28	≤ 33
III	≥ 37	≥ 50	≤ 63	≤ 32	≤ 37
IV	≥ 32	≥ 45	≤ 68	≤ 37	≤ 42
NC	< 32	< 45	> 68	> 37	> 42

Nota: dBA = livello di pressione pesato secondo la curva di ponderazione (A) vedi anche capitolo 2 pag. 26 (Analisi in frequenza).

Tabella 4 – Prestazioni di base e superiore in dB dei descrittori acustici per scuole e ospedali [norma Uni 11367, Appendice A]

Descrittore	Prestazione di base	Prestazione superiore
Isolamento di facciata ($D_{2m,nT,w}$)	≥ 38	≥ 43
Partizioni fra ambienti di differenti U.I. (R'_{w})	≥ 50	≥ 56
Calpestio fra ambienti di differenti U.I. ($L'_{n,w}$)	≤ 63	≤ 53
Livello impianti a funzionamento continuo, (L_{ic}), in ambienti diversi da quelli di installazione	≤ 32	≤ 28
Livello massimo impianti a funzionamento discontinuo, (L_{id}) in ambienti diversi da quelli di installazione	≤ 39	≤ 34
Isolamento acustico di partizioni fra ambienti sovrapposti della stessa U.I. ($D_{nT,w}$)	≥ 50	≥ 55
Isolamento acustico di partizioni fra ambienti adiacenti della stessa U.I. ($D_{nT,w}$)	≥ 45	≥ 50
Calpestio fra ambienti sovrapposti della stessa U.I. ($L'_{n,w}$)	≤ 63	≤ 53

Tabella 5 - Limiti per i descrittori $D_{nT,w}$ e L'_{nw} per unità immobiliari con destinazione d'uso recettiva (alberghi, scuole, pensioni, ospedali, ecc.)

Classe Acustica	Alberghi	
	$D_{nT,w}$ [dB]	L'_{nw} [dB]
I	≥ 56	≤ 53
II	≥ 53	≤ 58
III	≥ 50	≤ 63
IV	≥ 45	≤ 68



LOCALI VERIFICABILI ACUSTICAMENTE

La norma UNI 11367 specifica che le rilevazioni fonometriche possono essere realizzate solo nei locali "verificabili acusticamente", cioè di dimensioni sufficienti a consentire l'allestimento di misurazioni in conformità ai procedimenti di prova descritti nelle norme tecniche di riferimento. Inoltre vengono esclusi come "ambienti riceventi" i cosiddetti "ambienti accessori o di servizio" quali corridoi, scale interne, depositi e i servizi igienici.

Qui di seguito ulteriori considerazioni in merito ai locali nei quali eseguire le misure fonometriche:

Rumori aerei (R'_w)	Il parametro indice di potere fonoisolante apparente (R'_w) è riferito alle partizioni che separano unità immobiliari distinte, alle partizioni che separano ambienti abitativi di una unità immobiliare da ambienti destinati ad autorimessa e alle partizioni, non dotate di accessi o aperture, che separano ambienti abitativi di una unità immobiliare da parti comuni.
Facciata ($D_{2m,nT,w}$)	Il requisito di isolamento acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) è riferito alle facciate degli ambienti abitativi considerando eventuali sistemi oscuranti aperti e, in caso di presenza di aperture di ingresso aria, queste devono essere nella normale condizione di utilizzo. Inoltre il requisito si applica anche alle falde dei tetti nei sottotetti abitabili.
Calpestio (L'_{nw})	Il requisito di livello di rumore da impatto (L'_{nw}) riguarda il calpestio percepito all'interno degli ambienti abitativi e generato in unità immobiliari differenti.
Impianti a funzionamento discontinuo e continuo (L_{id}), (L_{ic})	La verifica del rumore degli impianti (L_{ic} , L_{id}) considera in sostanza la misura del disturbo generato dagli impianti più rumorosi esterni all'unità immobiliare in esame. Negli alberghi la verifica degli impianti considera i rumori generati in unità immobiliari differenti e gli impianti sanitari di camere contigue. Non sono considerati gli impianti a servizio della stessa camera.

COME DETERMINARE LE CLASSI ACUSTICHE

La classificazione acustica prevede di rilevare in opera le caratteristiche di tutte le partizioni e gli impianti significativi per l'unità immobiliare in esame. Le prestazioni delle singole partizioni misurate devono essere "peggiorate", per tenere in considerazione l'incertezza di misura, utilizzando i coefficienti riportati nella tabella 6, in modo da ottenere i "valori utili".

Tabella 6 - Fattore di correzione per l'incertezza di misura

$D_{2m,nT,w}$	R'_w	L'_{nw}	L_{ic}	L_{id}
-1	-1	+1	+1,1	+2,4

La classe acustica di uno specifico descrittore si ottiene mediando i valori utili pertinenti con le

relazioni matematiche di tipo logaritmico indicate nella tabella 7.

Dalle classi dei singoli descrittori si ricava la classe acustica globale dell'unità immobiliare associando a ogni descrittore un coefficiente riportato nella tabella 8 e calcolando la media aritmetica.

Nell'attestato di classificazione devono essere riportate, oltre alla classe acustica globale, anche le caratteristiche di tutti i descrittori, come indicato nella tabella 9.

Tabella 9 - Esempio di indicazione della classe acustica globale e dei singoli descrittori

Unità immobiliare U.I.					
Classe IV	$D_{2m,nT,w}$	R'_w	L'_{nw}	L_{ic}	L_{id}
	IV	III	II	IV	NC

Tabella 7 - Calcolo dei valori medi dei descrittori

Valori medi: $R'_w, D_{2m,nT,w}, D_{nT,w}$	Valori medi: L'_{nw}, L_{ic}, L_{id}
$X_r = -10 \log \frac{\sum_{i=1}^n 10^{\frac{-X_i}{10}}}{n}$	$Y_r = 10 \log \frac{\sum_{i=1}^n 10^{\frac{Y_i}{10}}}{n}$

Nota
I valori di R' di pareti e solai si mediano separatamente:

$$R'_{w(\text{pareti})} = -10 \log \frac{\sum_{i=1}^n 10^{-R'_{iw,p}/10}}{n} \quad R'_{w(\text{solai})} = -10 \log \frac{\sum_{i=1}^m 10^{-R'_{iw,s}/10}}{m} \quad R'_{wr} = -10 \log \frac{10^{-R'_{w(\text{pareti})}/10} + 10^{-R'_{w(\text{solai})}/10}}{2}$$

dove:

X_i, Y_i = valore utile di un determinato requisito di uno specifico elemento tecnico/impianto;
 n = il numero di elementi tecnici/impianti coinvolti.

Tabella 8 - Correlazione tra coefficiente Z e classe di prestazione acustica

Classe	I	II	III	IV	Prestazioni fino a 5 dB (o dBA) peggiori rispetto alla classe IV	Prestazioni per più di 5 dB (o dBA) peggiori rispetto alla classe IV
Coefficiente Z	1	2	3	4	5	10

Il valor medio Z_{UI} arrotondato all'intero più vicino determina la classe acustica globale.

$$Z_{UI} = \frac{\sum_{r=1}^P Z_r}{P}$$

Dove:

P = numero dei descrittori considerati;

Z_r = valore del coefficiente relativo all' r-esimo descrittore.



ESEMPIO DI CALCOLO DI CLASSE ACUSTICA GLOBALE

Per un appartamento sono state eseguite misure fonometriche degli elementi tecnici pertinenti e i risultati sono riepilogati come segue:

Isolamento tra distinte U.I. - R'_w					
Ambiente	Solaio	Val. misurato	Val. utile		
Soggiorno-cucina	Soffitto	54	53		
Soggiorno-cucina	Pavimento	55	54		
Camera	Soffitto	54	53		
Camera	Pavimento	54	53	Media log	53,2
Ambiente	Parete	Val. misurato	Val. utile		
Soggiorno-cucina	Verso altra U.I.	52	51		
Camera	Verso altra U.I.	51	50	Media log	50,5
				CLASSE	Z
				Media log	51,6
				III	3

Isolamento di facciata - $D_{2m,nT,w}$					
Ambiente	Facciata	Val. misurato	Val. utile		
Soggiorno-cucina	Sud	38	37		CLASSE Z
Camera	Sud	35	34	Media log	35,2
				IV	4

Rumori da calpestio tra distinte unità immobiliari - L'_{nw}					
Ambiente	Solaio	Val. misurato	Val. utile		
Soggiorno-cucina	Soffitto	56	57		CLASSE Z
Camera	Soffitto	55	56	Media log	56,5
				II	2

Impianti a funzionamento discontinuo - L_{id}					
Ambiente	Impianto	Val. misurato	Val. utile		
Camera	Scarico WC	35	37,4		CLASSE Z
Camera	Scarico doccia	32	34,4	Media log	36,2
				III	3

Impianti a funzionamento continuo - L_{ic}					
Ambiente	Impianto	Val. misurato	Val. utile		
		NP	NP		CLASSE Z
		NP	NP	Media log	NP
				NP	-

Dalle classi risulta:

- 1 descrittore con coefficiente 2
- 1 descrittore con coefficiente 4
- 2 descrittori con coefficiente 3

La classe globale dell'immobile è:

$$Z_{U1} = \frac{(1 \cdot 2) + (1 \cdot 4) + (2 \cdot 3)}{4} = 3 \blacktriangleright \text{classe globale III}$$

e l'attestato di classificazione è:

Unità immobiliare U.I. 01					
Classe III	$D_{2m,nT,w}$	R'_w	L'_{nw}	L_{ic}	L_{id}
	IV	III	II	NP	III

COME INTERPRETARE LE CLASSI ACUSTICHE

L'Appendice L della UNI 11367 spiega come interpretare i limiti delle classi. Ipotizzando una normale sensibilità al rumore dei soggetti interessati e livelli sonori disturbanti di media intensità, vengono definite due tabelle che indicano le prestazioni acustiche attese. La prima è valida per i rumori interni alle unità immobiliari (R'_{wr} , L'_{nrw} , L_{icr} , L_{id}), la seconda per l'isolamento acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$). Quest'ultima correla, seppur molto qualitativamente, l'efficacia dell'isolamento di facciata con il clima acustico esterno.

Classe acustica	Prestazioni acustiche attese (R'_{wr} , L'_{nrw} , L_{icr} , L_{id})
I	Molto buone
II	Buone
III	Di base
IV	Modeste

Classi acustiche e DPCM 5/12/1997

Da quanto esposto in questi paragrafi appare evidente che i valori delle classi acustiche non possono essere direttamente confrontati con le

prescrizioni del DPCM 5/12/1997. Infatti mentre i limiti del DPCM sono riferiti a singole partizioni e sono privi di "correzioni" per l'incertezza di misura, le classi della UNI 11367 sono invece dei "valori medi" sull'intera unità immobiliare e ogni rilevazione considera fattori peggiorativi. Quindi, ad esempio, il limite imposto dal decreto per il livello di calpestio nelle residenze non può essere direttamente paragonato al valore prescritto, per la classe III dalla UNI 11376, anche se i due parametri risultano formalmente identici ($L'_{nw} \leq 63$ dB).

Un altro aspetto da evidenziare è che la procedura di classificazione permette di indicare solo quanto l'unità immobiliare oggetto di prova è isolata rispetto ai rumori che provengono da altre unità e dall'esterno. Non vengono quindi presi in considerazione:

- i rumori generati (e percepiti) all'interno dell'unità immobiliare stessa (ad esempio disturbo da impianti tecnologici di pertinenza della U.I.);
- il disturbo che gli utilizzatori della U.I. esaminata possono arrecare ad altre unità limitrofe.

In sintesi quindi chi utilizza un appartamento caratterizzato da un'ottima classe acustica non è detto che non disturbi i suoi vicini di casa, ad esempio con rumori da calpestio, o che non senta il rumore degli impianti di pertinenza della sua abitazione.

Tipologia di area	Classe di isolamento acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$)			
	IV	III	II	I
Molto silenziosa	Di base	Buone	Molto buone	Molto buone
Abbastanza silenziosa	Modeste	Di base	Buone	Molto buone
Mediamente rumorosa	Modeste	Modeste	Di base	Buone
Molto rumorosa	Modeste	Modeste	Modeste	Di base

Appendici della norma UNI 11367

La norma comprende 10 appendici, normative e informative riportate nella tabella 10. Di particolare importanza sono la norma G e la norma H che analizzano il tema del campionamento. Nel caso infatti di un edificio in cui vi siano più elementi tecnici identici tra loro, la norma propone un metodo per limitare le misure ad alcuni elementi campione ed estendere i risultati, opportunamente corretti, agli altri elementi.

L'appendice B, vedi tabella 11, propone dei valori limite per le pareti, dotate di porte di ingresso, che separano l'ambiente abitativo da ambienti accessori di uso comune (ad esempio vani scala e corridoi). Tali partizioni infatti non sono comprese nella procedura di classificazione. Nella tabella 11 si osservano valori meno severi per ospedali e scuole rispetto ad altre destinazioni d'uso. Questo perché, ad esempio, le porte che separano le aule scolastiche dai cor-

ridoi comuni hanno generalmente prestazioni fonoisolanti inferiori rispetto alle porte blindate d'ingresso alle unità immobiliari residenziali. L'appendice C invece riprende il tema della correzione acustica interna agli ambienti proponendo valori limite che è opportuno rispettare per i parametri chiarezza (C_{50}), Speech Transmission Index (STI) e tempo di riverberazione (T). Per i primi due descrittori i limiti sono riportati nella tabella 12.

Per il tempo di riverberazione invece vengono proposte due relazioni matematiche, vedi, per ricavare il tempo di riverbero ottimale per ambienti adibiti al parlato e palestre in funzione del volume $V[\text{mc}]$ dell'ambiente (vedi Tabella 13). La norma "suggerisce" che i risultati delle misure in opera, eseguite in ambienti non occupati, sono da ritenersi adeguati se a i tempi di riverberazione rilevati nelle bande di ottava comprese tra 250 Hz e 4.000 Hz sono inferiori o uguali a 1,2 volte il tempo di riverberazione ottimale ($T \leq 1,2 T_{\text{ott}}$).

Tabella 10 - Elenco Appendici della norma UNI 11367

A	Valori per ospedali e scuole	F	Incertezza di misura
B	Isolamento tra U.I. e vani scala	G	Campionamento degli elementi tecnici
C	Valutazione del tempo di riverbero	H	Elaborazione dati campionamento
D	Valutazione rumore impianti	I	Esempi
E	Misura isolamento utilizzando D_{nt}	L	Classificazione e benessere acustico

Tabella 11 - Livello di prestazione del descrittore $D_{\text{nt,w}}$ per pareti dotate di aperture [UNI 11367, Appendice B]

Livello prestazionale	Isolamento acustico normalizzato tra ambienti di uso comune o collettivo collegati mediante accessi o aperture ad ambienti abitativi $D_{\text{nt,w}}$ [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

Tabella 12 - Limiti per i parametri Chiarezza e STI ai fini della valutazione della correzione acustica

	C_{50} [dB]	STI [dB]
Ambienti adibiti al parlato	≥ 0	$\geq 0,6$
Ambienti adibiti ad attività sportive	≥ -2	$\geq 0,5$

Tabella 13 - Valutazione del tempo di riverberazione ottimale per ambienti come palestre e auditorium

	T_{ott} [s]
Ambiente non occupato adibito al parlato	$T_{\text{ott}} = 0,32 \log(V) + 0,03$
Ambiente non occupato adibito ad attività sportive	$T_{\text{ott}} = 1,27 \log(V) - 2,49$

Considerazioni conclusive

L'applicazione delle classi acustiche è generalmente volontaria e il rispetto di una specifica prestazione può essere richiamato nelle condizioni contrattuali. Si evidenzia però che il DM dell'11 gennaio 2017 sui "Criteri Ambientali Minimi" ha imposto, per le gare di appalto degli edifici pubblici, il raggiungimento della Classe II e di altri parametri descritti nella UNI 11367 quali, ad esempio, il comfort in ospedali e scuole, la qualità acustica interna degli ambienti e l'isolamento delle stanze rispetto alle parti comuni.

ACUSTICA E RISTRUTTURAZIONE

Nel caso si intervenga su un edificio esistente quali sono le prescrizioni di isolamento acustico da rispettare?

Il DPCM 5/12/1997 non fornisce chiare indicazioni in merito e alcune circolari ministeriali, pubblicate negli anni successivi, hanno evidenziato pareri in alcuni casi anche discordanti tra loro.



DECRETO CRITERI AMBIENTALI MINIMI (CAM)

Il DM dell'11 gennaio 2017 sui "Criteri ambientali minimi", ha introdotto alcune importanti novità sul tema del comfort acustico per le gare di appalto degli edifici pubblici.

Nell'Allegato 2 al Paragrafo 2.3.5.6 si legge che:

- i valori dei requisiti acustici passivi dell'edificio devono corrispondere almeno a quelli della **Classe II** della norma UNI 11367;
- i requisiti acustici passivi di ospedali, case di cura e scuole devono soddisfare il livello di **"prestazione superiore"** riportato nell'Appendice A della UNI 11367;
- l'isolamento acustico tra ambienti di uso comune e ambienti abitativi deve rispettare almeno i valori caratterizzati come **"prestazione buona"** nell'Appendice B della UNI 11367;
- gli ambienti interni devono essere idonei al raggiungimento dei valori di tempo di riverbero (T) e intelligibilità del parlato (STI) indicati nella norma UNI 11532.

È importante evidenziare che i valori richiesti dal Decreto sono generalmente più restrittivi rispetto alle prescrizioni del DPCM 5/12/1997. Infatti, anche se i limiti del Decreto del 1997 non sono direttamente confrontabili con le classi acustiche della norma UNI, si osservano in linea di massima richieste più performanti per isolamento ai rumori aerei, da calpestio e degli impianti. Per i casi che fanno eccezione, come ad esempio l'isolamento acustico di facciata delle scuole, restano prevalenti i limiti del DPCM.

Un altro aspetto da considerare è il fatto che la versione attuale della norma UNI 11532, documento pubblicato nel 2014, non individua specifici valori limite per tempo di riverbero e STI (Speech Transmission Index). Riporta solo alcune tabelle che indicano i valori prescritti per legge in vari paesi per alcune tipologie di ambienti (scuole, ospedali, uffici, ecc.). La norma però è in corso di revisione e probabilmente nella prossima versione richiamerà le prescrizioni riportate nella Appendice C della UNI 11367.

Il DM dell'11 gennaio 2017 specifica anche che i progettisti dovranno evidenziare il rispetto dei criteri di acustica, sia in fase di progetto sia in fase di verifica finale. In particolare sarà necessario realizzare sia un progetto acustico *ante-operam*, sia una relazione di conformità basata su misure acustiche in opera al termine dei lavori.

Qui di seguito alcuni esempi.

- Una Circolare del Ministero dell'Ambiente di settembre 1998, indica che il DPCM 5/12/1997 è da applicare per la ristrutturazione di edifici esistenti, dove per ristrutturazione si intende il **rifacimento anche parziale** di impianti tecnologici, delle partizioni orizzontali e verticali degli edifici, e il rifacimento delle facciate esterne, verniciatura esclusa.
- Una successiva circolare di marzo 1999 del medesimo ministero invece ha specificato che: "Sono soggetti al rispetto dei limiti del DPCM 5/12/1997 tutti gli impianti tecnologici, sia installati ex-novo che in sostituzione di altri già esistenti. Non sono soggetti all'adeguamento delle caratteristiche passive delle pareti e dei solai gli edifici **che non siano oggetto di totale ristrutturazione**."
- Il Consiglio Superiore Lavori Pubblici nel giugno 2014 ha indicato che: "Le disposizioni del DPCM 5/12/1997 devono essere applicate anche in caso di ristrutturazioni di edifici esistenti che prevedano il rifacimento **anche parziale** di impianti tecnologici e/o di partizioni orizzontali o verticali (solai, coperture, pareti divisorie, ecc.) e/o delle chiusure esterne dell'edificio (esclusa la sola tinteggiatura delle facciate), oppure la suddivisione di unità immobiliari interne all'edificio, cioè in definitiva tutti gli interventi di ristrutturazione che interessino le parti dell'edificio soggette al rispetto dei requisiti acustici passivi regolamentati dal DPCM 5/12/1997". Inoltre "I limiti previsti del DPCM 5/12/1997 devono essere rispettati nel caso di rifacimento anche parziale di impianti tecnologici di particolare rumorosità, quali quelli previsti per gli impianti di riscaldamento/condizionamento, o impianti per laboratori tipo: officine meccaniche, laboratori sale prove motori, gallerie del vento, o altri che producano livelli analoghi di rumorosità".

Sul tema delle ristrutturazioni sono intervenute anche alcune leggi regionali e regolamenti edilizi comunali.

La Lombardia ad esempio, nella L.R. 10/08/2001, n.13, all'art. 7 comma 1 riporta che: "I progetti relativi a interventi sul patrimonio edilizio esistente che ne modifichino le caratteristiche acustiche devono essere corredati da dichiarazione del progettista che attesti il rispetto dei requisiti acustici stabiliti dal DPCM 5/12/1997 e dai regolamenti comunali".

Si raccomanda pertanto di verificare sempre la legislazione locale prima di effettuare un intervento di ristrutturazione.

In aggiunta a questo, a prescindere da obblighi legislativi e dalle indicazioni delle circolari ministeriali, si suggerisce comunque di prendere sempre in considerazione nelle ristrutturazioni il tema dei requisiti acustici passivi.

Gli obiettivi devono essere quelli di:

- garantire un adeguato comfort acustico a coloro che abiteranno l'edificio riquilificato;
- evitare che l'intervento di ristrutturazione possa causare il peggioramento dei requisiti acustici preesistenti e comportare la nascita di contenzioni con i vicini di casa.

Quest'ultimo aspetto in particolare è da prendere in considerazione quando si deve intervenire su un solaio esistente o quando si vanno a installare nuovi impianti potenzialmente rumorosi.

Ad esempio l'asportazione della pavimentazione e del relativo strato di supporto e la sostituzione con piastrelle posate su un nuovo massetto, può comportare **il peggioramento del livello di rumore da calpestio nell'appartamento sottostante**.

Similmente se si ristruttura un bagno e si decide di installare una nuova vasca idromassaggio, oggi molto di moda, è concretamente possibile che verrà **umentato il livello di rumore da impianto discontinuo** nelle stanze vicine, anche di altre unità immobiliari.

LEGISLAZIONE REGIONALE

Molte regioni hanno emanato provvedimenti sul tema dell'acustica, ma solo alcune hanno preso in considerazione gli aspetti riguardanti i requisiti acustici passivi. In tabella 14 sono elencati i documenti regionali che hanno introdotto in vari modi i limiti del DPCM.

Tra i documenti citati nella tabella alcuni approfondiscono in modo molto dettagliato il tema dei requisiti acustici.

Ad esempio la **Regione Sardegna**, nei documenti emanati nel 2016, specifica che: "Le disposizioni contenute nel DPCM 5/12/1997 si applicano alla progettazione e realizzazione di ambienti abitativi, per i quali debba essere rilasciato il permesso di costruire per gli

interventi di nuova costruzione, ampliamento e ristrutturazione di costruzioni esistenti che già rispettano il DPCM 5/12/1997, ristrutturazione edilizia limitatamente ai casi di demolizione e ricostruzione, e ristrutturazione globale, ristrutturazione e/o risanamento conservativo con contestuale cambio di destinazione d'uso relativamente all'intero edificio e non ad una singola unità immobiliare".

Inoltre la stessa regione richiama, per la certificazione al termine dei lavori, anche la possibilità di eseguire la classificazione acustica.

Si raccomanda pertanto di verificare sempre i contenuti della legislazione regionale prima di eseguire un nuovo intervento.

Tabella 14 - Elenco delle principali leggi regionali

Regione	Legge/Direttiva Regionale	Articolo	Titolo
Calabria	L.R. 19 ottobre 2009 n. 34	Art. 24	Prevenzione dell'inquinamento acustico negli edifici
Friuli Venezia Giulia	L.R. 18 giugno 2007 n. 16	Art. 29	Requisiti acustici degli edifici e delle sorgenti sonore interne
Lombardia	L.R. 10 agosto 2001 n. 13	Art. 7	Requisiti acustici degli edifici e delle sorgenti sonore interne
Marche	L.R. 14 novembre 2001 n. 28	Art. 20	Progettazione, messa in opera ed esercizio di edifici, impianti e infrastrutture
Puglia	L.R. 12 febbraio 2002 n. 3	Art. 15	Prevenzione dell'inquinamento acustico negli edifici
Sardegna	Direttive regionali (Delibera n. 62/9 del 14/11/2008, aggiornata con Delibera n. 18/19 del 5/4/2016)	Parte VI	Requisiti acustici passivi degli edifici
Umbria	L.R. 21 gennaio 2015, n. 1	Art. 196	Requisiti acustici passivi degli edifici
	Regolamento Regionale 18/02/2015, n. 2	Art. 128	Progetto acustico

LEGISLAZIONE INTERNAZIONALE

La maggioranza degli stati europei ha una propria legislazione sui requisiti acustici passivi degli edifici. Ogni paese ha definito i propri limiti da rispettare e generalmente le problematiche di rumore prese in considerazione sono le stesse del DPCM 5/12/1997. La principale differenza tra le varie prescrizioni, oltre ai valori numerici dei limiti, sta nel fatto che gli stati utilizzano differenti "descrittori" per analizzare la stessa problematica. Ad esempio Italia e Germania propongono, per la valutazione della prestazione fonoisolante di partizioni tra unità immobiliari, l'indice di potere fonoisolante apparente (R'_w), mentre Austria e Belgio utilizzano l'indice di isolamento acustico normalizzato rispetto al tempo di riverberazione (D_{nTw}) (vedi tabella 15).

Per i rumori da impatto invece il descrittore maggiormente utilizzato è il livello di rumore da calpestio normalizzato sull'assorbimento acustico (L'_{nw}), ma alcuni stati hanno preferito adottare il livello di rumore da calpestio normalizzato sul tempo di riverberazione (L'_{nTw}). Considerato questo aspetto appare evidente che in molti casi i valori limite proposti da differenti stati europei non possono essere direttamente confrontati tra loro. Per questa

ragione il gruppo di studio europeo denominato "COST Action TU0901: Integrating and Harmonizing Sound Insulation Aspects in Sustainable Urban Housing Constructions" ha cercato di elaborare negli anni passati alcuni documenti di sintesi delle leggi in vigore in Europa con l'obiettivo di proporre una procedura armonizzata per la valutazione dei requisiti acustici.

In particolare la prima pubblicazione del gruppo di lavoro denominata "Building acoustics throughout Europe Volume 1: Towards a common framework in building acoustics throughout Europe" ha sintetizzato le prescrizioni in vigore nei vari stati. Nelle tabelle 15 e 16 si riportano i limiti in vigore nel 2013 per isolamento ai rumori aerei e da calpestio.

Anche se i valori in molti casi non sono direttamente confrontabili tra loro, si osserva che le prescrizioni in vigore in Italia per l'isolamento tra differenti unità immobiliari sono tra le meno restrittive d'Europa. Al contempo è però opportuno evidenziare che il nostro paese propone i requisiti più stringenti per quanto riguarda l'isolamento acustico delle facciate.

Per il futuro è auspicabile che gli stati dell'Unione definiscano descrittori comuni per la definizione dei vari parametri, pur lasciando la libertà ai singoli stati di decidere in merito ai valori limite da rispettare.

Tabella 15 - Limiti di isolamento acustico ai rumori aerei tra differenti unità immobiliari

Paese	Descrittore	Edifici a più piani	Case a schiera
Italia	R'_w	≥ 50	≥ 50
Austria	D_{nTw}	≥ 55	≥ 60
Belgio	D_{nTw}	≥ 54	≥ 58
Francia	$D_{nTw} + C$	≥ 53	≥ 53
Germania	R'_w	≥ 53	≥ 57
Inghilterra	$D_{nTw} + C$	≥ 45	≥ 45
Spagna	$D_{nTw} + C$	≥ 50	≥ 50

Tabella 16 - Limiti di livello di rumore da calpestio

Paese	Descrittore	Edifici a più piani	Case a schiera
Italia	L'_{nw}	≤ 63	≤ 63
Austria	L'_{nTw}	≤ 48	≤ 43
Belgio	L'_{nTw}	≤ 58	≤ 50
Francia	L'_{nTw}	≤ 58	≤ 58
Germania	L'_{nw}	≤ 53	≤ 48
Inghilterra	L'_{nTw}	≤ 62	-
Spagna	L'_{nTw}	≤ 65	≤ 65

2.

CALCOLI PREVISIONALI E MISURE IN OPERA

Il comfort acustico va progettato ed eseguito insieme all'isolamento termico. Infatti non è detto che materiali e strutture performanti dal punto di vista delle dispersioni di calore lo siano altrettanto nei confronti del rumore. Il valore di un immobile dipenderà, oltre che dal grado di isolamento termico, anche dal grado di isolamento acustico dai rumori provenienti dall'esterno, fra appartamenti dello stesso edificio e fra ambienti dello stesso appartamento.

In questo capitolo vogliamo evidenziare le differenze tra il calcolo previsionale e le misure in opera richieste dalla normativa cogente al fine di capire quali accorgimenti adottare per i propri cantieri o progetti. Riteniamo inoltre utile un breve richiamo sui principi base di acustica.

SUONO E GRANDEZZE CARATTERISTICHE

Cosa è il suono? Il suono è costituito da onde longitudinali* di pressione generate da un oggetto che vibra, la **sorgente sonora**, come la corda di una chitarra, le corde vocali umane o la membrana di un altoparlante. Il suono può essere generato e trasmesso solo in un mezzo materiale elastico, come l'aria o un qualunque altro gas, ma anche un liquido o un solido; di conseguenza non si propaga nel vuoto. L'onda sonora mette in vibrazione le particel-

le dell'aria determinando un susseguirsi di stati di compressione (con un leggero aumento della pressione dell'aria in questa regione) e rarefazione (in cui la pressione dell'aria è leggermente inferiore a quella normale atmosferica). Non si ha un trasporto di materia ma una oscillazione delle particelle d'aria attorno alla loro posizione di equilibrio con una fluttuazione della pressione attorno al valore della pressione atmosferica (vedi Figure 1 e 2).

Trattandosi di un'onda, un suono è definito da alcune grandezze caratteristiche che di seguito vengono descritte.

*Un'onda è longitudinale quando la direzione della perturbazione è uguale alla direzione di propagazione dell'onda.

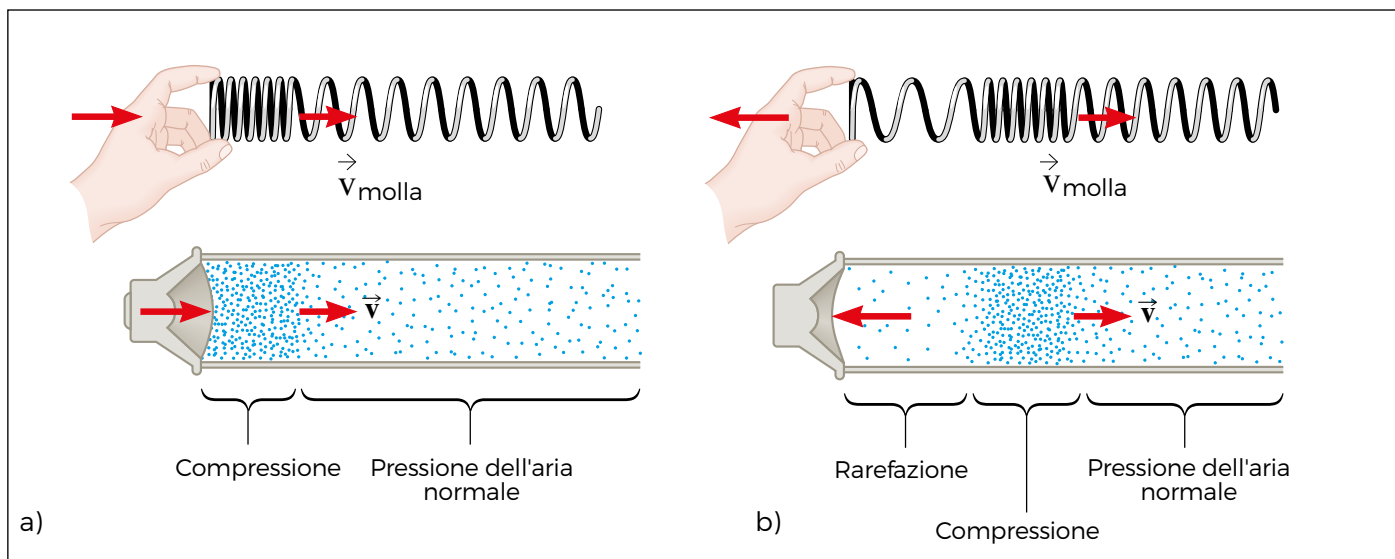


Figura 1 - a) Quando la membrana vibrante di un altoparlante si muove verso l'esterno, produce una compressione dello strato d'aria a contatto con essa. b) Quando la membrana si muove verso l'interno, produce una rarefazione dello strato d'aria a contatto con essa. Le regioni di compressione e rarefazione sono simili a quelle di un'onda longitudinale che si propaga in una molla.

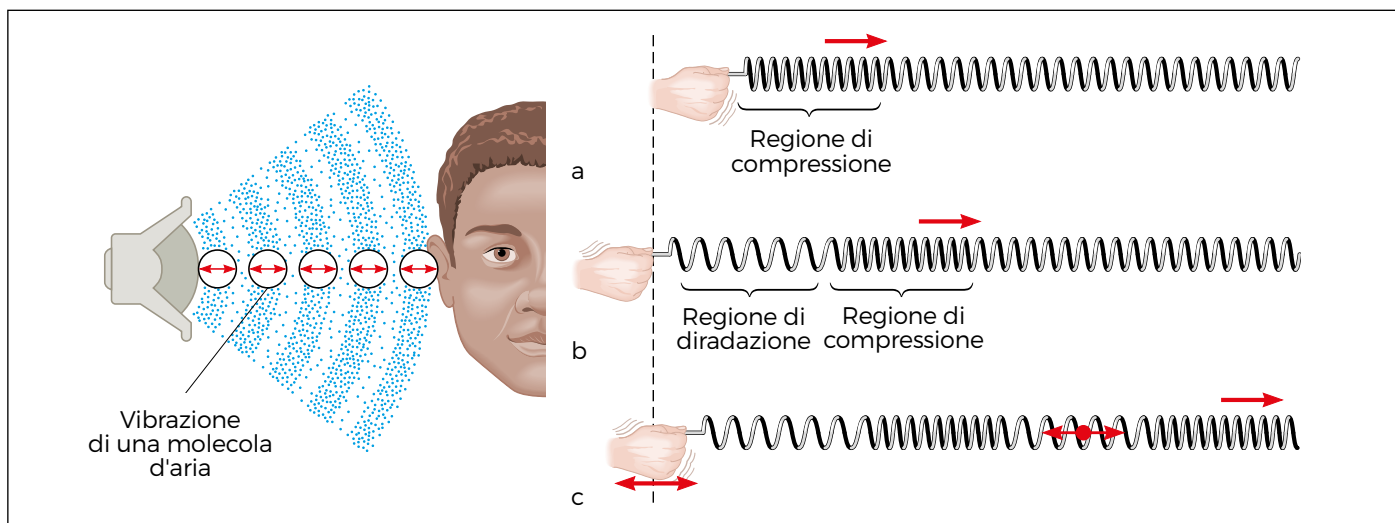


Figura 2 - Le regioni di compressione e di rarefazione si propagano nell'aria dall'altoparlante verso l'orecchio dell'ascoltatore (proprio come la sequenza a-b-c delle spire nella molla), ma le molecole dell'aria non sono trasportate dall'onda. Ogni molecola vibra avanti e indietro intorno alla sua posizione di equilibrio.

FREQUENZA

La frequenza (f) misurata in Hertz [Hz] è il numero di oscillazioni effettuate in un secondo. Dire che un suono è di 300 Hz significa che il corpo che lo produce vibra 300 volte al secondo.

L'orecchio umano riesce a percepire soltanto i suoni che hanno una frequenza compresa tra 16 e 20.000 Hz. Esistono quindi suoni che l'uomo non potrà mai udire: essi si chiamano infrasuoni se la loro frequenza è minore di 16 Hz, ultrasuoni se la loro frequenza oltrepassa i 20.000 Hz (vedi Figura 3).

Dalla frequenza dipende l'altezza del suono: maggiore è la frequenza, più alto è il suono percepito

(suono acuto). Più precisamente, i suoni gravi (bassi) hanno una frequenza dell'ordine delle decine di Hz, mentre i suoni più acuti hanno una frequenza dell'ordine delle migliaia di Hz.



Figura 3 - Campo di udibilità e altezza del suono

VELOCITÀ DI PROPAGAZIONE

La **velocità di propagazione del suono** (C) in un mezzo, misurata in metro al secondo [m/s], (che non va confusa con la velocità (v) delle particelle) dipende dalle caratteristiche del mezzo stesso (densità e temperatura) e non dalla frequenza. In generale, il suono viaggia più lentamente nei gas, più velocemente nei liquidi e ancora più velocemente nei solidi.

Ad esempio a 20 °C, nell'aria è di circa 340 m/s e aumenta all'aumentare della temperatura (e al diminuire della densità), mentre nell'acqua di circa 1.500 m/s e nel calcestruzzo di circa 3.350 m/s.

Nei solidi, invece, la velocità dipende dal modulo elastico E (N/mq) e dalla densità ρ (kg/mc) del materiale secondo la seguente relazione:

$$C = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

I materiali più rigidi, come acciaio e alluminio, determinano maggiore velocità di propagazione. I materiali elastici (ad esempio gomma e sughero), in grado di ridurre la trasmissione di vibrazioni, comportano invece velocità inferiori (vedi Tabella 1).

Tabella 1 - Valori di velocità del suono nei materiali

Materiale	E (GPa = 10 ⁹ N/mq)	ρ [kg/mc]	C [m/s]
Acciaio	200	7.800	5.000
Alluminio	70	2.700	5.820
Calcestruzzo	26	2.000 - 2.600	3.600 - 3.150
Gomma	0,002 - 0,05	1.010 - 1.250	35 - 230
Legno	8 - 12	400 - 700	3.380 - 4.140
Mattoni pieni	25	1.800	3.700
Piombo	17	11.300	1.226
Sughero	0,0555	240	480
Vetro	35 - 55	2.300 - 5.000	4.000 - 5.000

LUNGHEZZA D'ONDA

La **lunghezza d'onda** (λ), misurata in metri [m], è lo spazio necessario per compiere un'oscillazione completa ed è pari al rapporto velocità/frequenza. I suoni ad alta frequenza hanno lunghezze d'onda più corte rispetto ai suoni a bassa frequenza (vedi Tabella 2).

Tabella 2 - Relazione tra lunghezza d'onda e frequenza

Frequenza [Hz]	Lunghezza d'onda λ [m]
16	21
30	11,3
50	6,9
100	3,4
250	1,36
800	0,425
2.000	0,17
5.000	0,068
10.000	0,034
16.000	0,021
20.000	0,017

La lunghezza d'onda assume particolare importanza quando ha una misura paragonabile con le dimensioni dell'ambiente dove si diffonde il

suono oppure con oggetti che si possono trovare all'interno dell'ambiente stesso.

Quando l'onda sonora incontra nel suo percorso un ostacolo di dimensioni superiori alla lunghezza d'onda essa sarà riflessa oppure dispersa producendo una zona d'ombra dietro l'ostacolo; se invece si verificano le condizioni inverse, l'oggetto risulterà trasparente all'onda sonora.

PRESSIONE ACUSTICA

La variazione della pressione attorno al suo valore di equilibrio viene detta **pressione acustica**. L'ampiezza delle fluttuazioni permette di distinguere i suoni forti da quelli deboli (vedi Figura 4). In pratica è quello che comunemente chiamiamo il "volume" del suono.

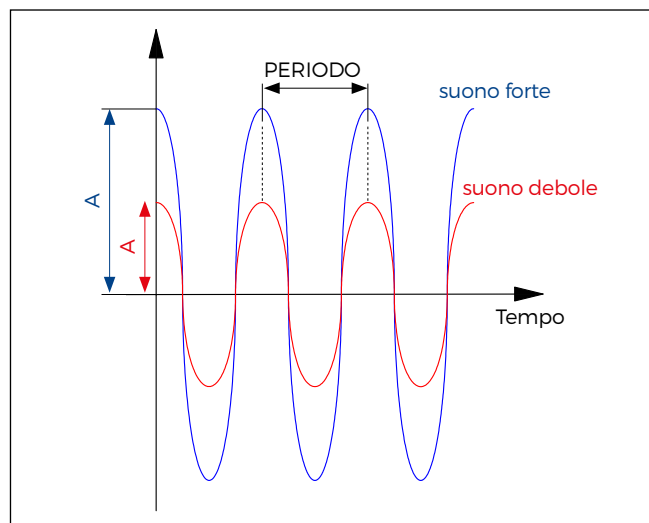


Figura 4 - Intensità dei suoni: distinzione tra suono forte e suono debole (il periodo è lo stesso ma l'ampiezza è diversa).

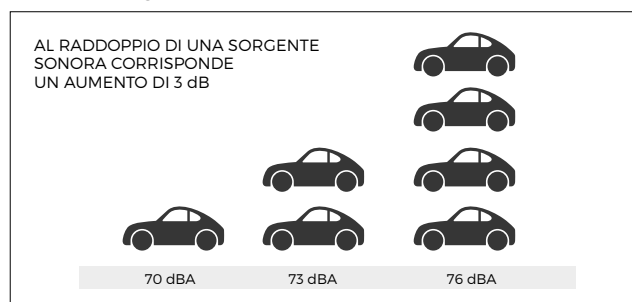


SCALA DEI DECIBEL

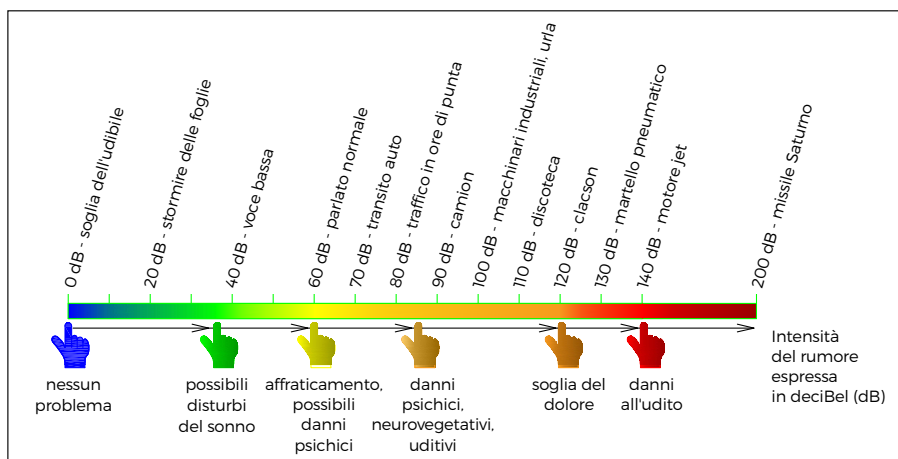
L'orecchio umano è sostanzialmente un sensore di pressione. Il **suono più debole** in grado di percepire è assimilabile a una variazione di pressione pari a **20 milionesimi di Pascal** ($2 \times 10^{-5} [\text{Pa}]$). Tuttavia, se si dovesse misurare il suono in Pascal si troverebbero molte difficoltà dovute al fatto di dover operare con molte cifre decimali. Per tale motivo è stata introdotta la scala logaritmica dei **Decibel [dB]**: il **"livello di pressione sonora (L_p)"** è dato dal **logaritmo del rapporto tra la pressione e un determinato valore di riferimento, la soglia dell'udito assunto come livello "zero"**:

$$L_p = 20 \cdot \log \left(\frac{P}{P_0} \right) \quad P_0 = 2 \cdot 10^{-5} [\text{Pa}]$$

Al raddoppio delle sorgenti sonore corrisponde un aumento di 3 dB (in quanto si tratta di una somma logaritmica).



Si va dai 20 dB dello stormire delle foglie fino ai 200 dB misurati alla partenza del missile Saturno, la soglia del dolore è di circa 130 - 140 dB. L'esposizione prolungata a livelli di pressione sonora elevati (superiori agli 85 dB) può causare forti disturbi o addirittura sordità permanente.



ANALISI IN FREQUENZA

Un suono puro è dato da una sola frequenza ed è rappresentato su un grafico cartesiano pressione-tempo attraverso una sinusoidale. Tuttavia i suoni e i rumori che percepiamo quotidianamente sono composti da più toni a diverse frequenze e con una pressione sonora diversa per ogni frequenza (vedi Figura 5).

Per questo motivo i suoni e i rumori vengono rappresentati attraverso un'analisi in frequenza che consiste nel suddividere il contenuto di energia sonora in specifici intervalli di frequenze (bande d'ottava o terzi di ottava) e analizzandone i livelli.

Poiché il nostro apparato uditivo presenta una diversa sensibilità ai suoni caratterizzati da una diversa composizione in frequenza (ossia ha una sensibilità maggiore alle alte frequenze e una minore a quelle basse) si utilizzano curve di ponderazione in frequenza che simulano tale risposta. A livello normativo esistono quattro curve di ponderazione (curva A sotto i 60 dB, curva B tra 60 e 100 dB, curva C oltre i 100 dB, e curva D per il disturbo prodotto dal rumore di aerei). La più utilizzata è la curva di ponderazione "A" qualunque sia il livello sonoro totale.

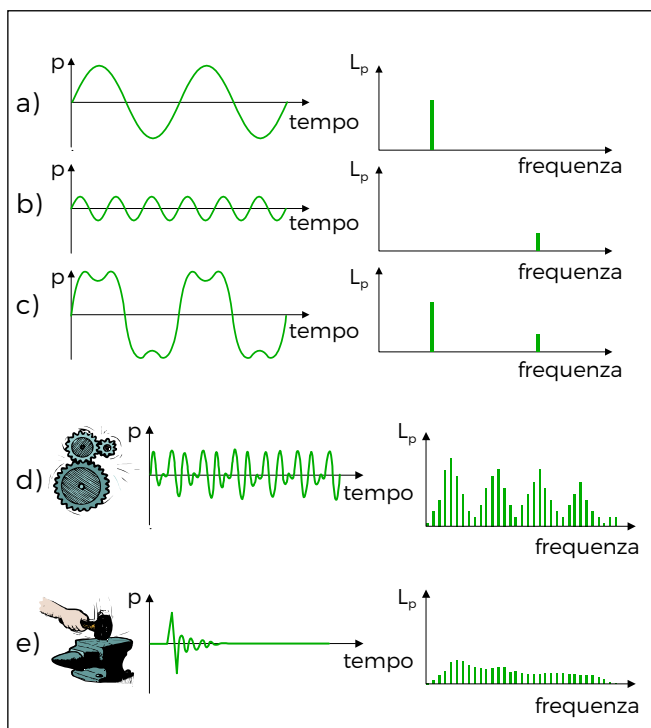


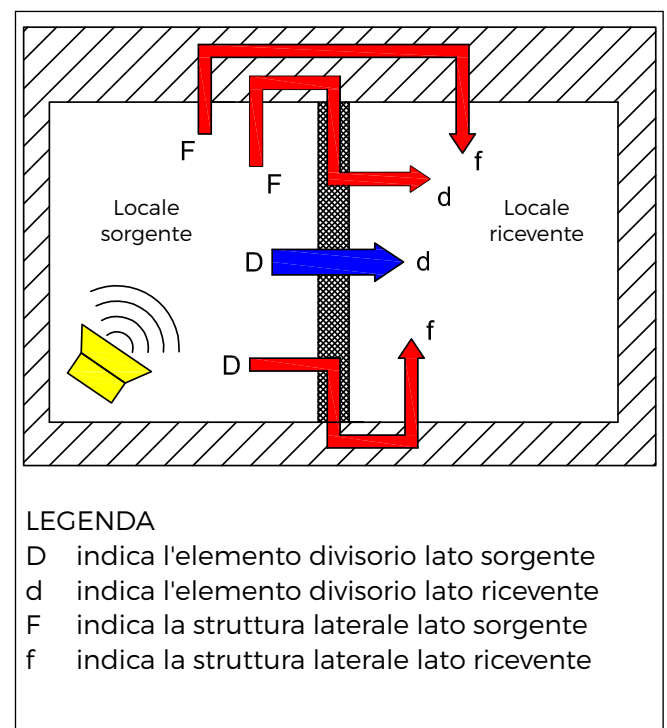
Figura 5 - Esempi di suoni e rumori: suoni puri (a e b), suono complesso (c), rumore (d), rumore di tipo impattivo (e).

PROPAGAZIONE DEL SUONO NEGLI EDIFICI

La trasmissione del rumore negli edifici avviene per via aerea e per via strutturale. È di fondamentale importanza sapere che da un ambiente a un altro il rumore si propaga seguendo molteplici percorsi.

- **Percorso di trasmissione diretta:** riguarda la trasmissione del rumore attraverso il solo elemento strutturale in esame (parete divisoria o solaio).
- **Percorsi di trasmissione laterale:** riguardano le trasmissioni del rumore che coinvolgono anche gli elementi strutturali adiacenti a quello considerato.

Se consideriamo quindi la propagazione del suono tra due locali confinanti si possono individuare tredici percorsi di trasmissione di cui uno diretto (vedi in figura 6 freccia Dd attraverso il divisorio in esame) e dodici di trasmissione laterale (tre per ogni lato della parete, come mostrano le frecce Ff, Fd e Df).



LEGENDA

- D indica l'elemento divisorio lato sorgente
- d indica l'elemento divisorio lato ricevente
- F indica la struttura laterale lato sorgente
- f indica la struttura laterale lato ricevente

Figura 6 - Propagazione del rumore negli edifici. Percorso diretto (Dd) e trasmissioni laterali (Ff, Fd, Df).

DESCRITTORI DEI REQUISITI ACUSTICI

Come per la termica, anche le prestazioni acustiche degli edifici possono essere calcolate analiticamente in fase di progettazione e, successivamente, misurate in opera al termine della costruzione. Nella tabella 3 si riportano le norme di riferimento sia dei calcoli previsionali sia delle misure in opera dei 5 descrittori e del tempo di riverbero come richiesto dal DPCM 5/12/1997.



CHI PUÒ FARE I CALCOLI E LE MISURE DI ACUSTICA EDILIZIA?

Nel DPCM non è specificato qual è la figura professionale che deve redigere le relazioni di calcolo previsionale dei requisiti acustici passivi. Alcuni regolamenti locali, come ad esempio la Deliberazione n. 809 del 10/07/2006 Regione Marche, richiedono che tali relazioni vengano redatte da tecnici competenti in acustica. Altri non specificano niente in merito. Si segnala che una Circolare del Ministero dell'Ambiente indirizzata all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Livorno datata 28 maggio 1998 sembra "chiarire" che anche il "progettista edile, ancorché non abilitato come Tecnico Competente" può redigere le relazioni.

Le misure in opera invece devono essere eseguite da **tecnici competenti in acustica**.

Di seguito riportiamo una breve sintesi delle tecniche di calcolo e di misura.

POTERE FONOIOLANTE APPARENTE

L'indice di potere fonoisolante apparente (R'_w) indica quanti decibel è in grado di attutire in opera una partizione che divide due ambienti. Secondo la norma UNI EN ISO 16283-1 la misura (in opera) si esegue attivando una sorgente di rumore nell'ambiente emittente e misurando il livello di rumore L_1 nell'ambiente emittente e il livello L_2 nell'ambiente ricevente (vedi Figura 7). Il valore R'_w è dato dalla differenza $L_1 - L_2$ dei due rilievi.

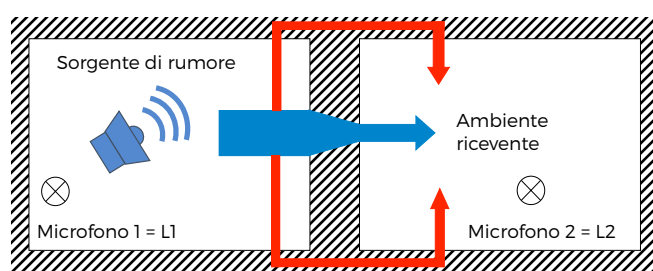


Figura 7 - Schema della procedura di misura in opera del potere fonoisolante R'_w come differenza della rilevazione nell'ambiente emittente e in quello ricevente. La misura è, in realtà, piuttosto complessa e occorre eseguire specifici accorgimenti e determinare il tempo di riverbero dell'ambiente ricevente che influenza il risultato della prova.

Per eseguire il **calcolo analitico di R'_w** , la norma UNI EN ISO 12354-1 indica che occorre determinare l'entità di tutti i possibili percorsi (diretto e laterali) tra ambiente emittente e ricevente e combinarli tra loro.

- Il percorso D_d rappresenta l'indice di potere fonoisolante (R'_w) della partizione. Può essere ricavato dai certificati delle prove di laboratorio (vedi box Potere fonoisolante in laboratorio) o, in alternativa, stimato con formule empiriche semplificate (derivanti dalle centinaia di certificati realizzati in Italia e all'estero) basate sulla massa superficiale complessiva (m') della

Tabella 3 - Normative di riferimento per i calcoli previsionali e per le misure in opera dei descrittori dei requisiti acustici

DESCRITTORE	CALCOLI PREVISIONALI		MISURE IN OPERA	
Rumori aerei (R'_w)	UNI EN ISO 12354-1	UNI TR 11175	UNI EN ISO 16283-1	
Calpestio (L'_{nw})	UNI EN ISO 12354-2	UNI TR 11175	UNI EN ISO 16283-2	
Facciata ($D_{2m,nT,w}$)	UNI EN ISO 12354-3	UNI TR 11175	UNI EN ISO 16283-3	
Impianti ($L_{ASmax} - L_{Aeq}$)	UNI EN 12354-5		UNI 8199	UNI EN ISO 16032
Tempo di riverbero (T)	UNI EN 12354-6		UNI EN ISO 3382-1/2/3	

partizione e non sulle caratteristiche dei materiali che la compongono come riportato a titolo di esempio in tabella 4.

- Le trasmissioni laterali vengono calcolate conoscendo il valore di R'_w delle pareti e dei solai che compongono le due stanze e la tipologia di connessione tra parete divisoria e strutture laterali.

Tabella 4 - Formule matematiche semplificate per il calcolo del potere fonoisolante R'_w

Norma in UNI TR 11175: pareti in laterizio di massa superiore a 80 kg/mq e prive di materiale isolante.	$R'_w = 20 \log (m')$
Solaio in laterocemento di massa $250 < m' < 500$ kg/mq, una relazione matematica proposta nella bibliografia di settore	$R'_w = 23 \log (m') - 8$

RUMORI DA CALPESTIO

Il livello di rumore da calpestio (L'_{nw}) indica quanti decibel passano attraverso la struttura se sollecitata da rumori da impatto che si propagano per via strutturale. A differenza del potere fonoisolante, che più alto è più isola, in questo caso il valore di L'_{nw} deve essere il più basso possibile.

Anche questo descrittore può essere misurato in opera e preventivamente calcolato. La misura in opera deve essere eseguita in conformità alla norma UNI EN ISO 16283 - 2 e consiste nell'attivare una "sorgente normalizzata di rumore da calpestio" (detta anche "calpestone" di cui un esempio in figura 8) nell'ambiente emittente e rilevando il livello di rumore percepito nell'ambiente disturbato. Si fa notare che tale misura può essere eseguita, oltre che tra ambienti sovrapposti, anche tra stanze affiancate orizzontalmente o ambienti lontani tra loro (vedi Figura 9).

DIFFERENZA TRA PRESTAZIONE TERMICA E ACUSTICA DI UNA STRUTTURA

È importante osservare che mentre a livello termico è possibile calcolare la trasmittanza della struttura a partire dalle resistenze termiche di ogni strato, a livello acustico ciò non è possibile. La prestazione fonoisolante è una caratteristica dell'intero elemento.



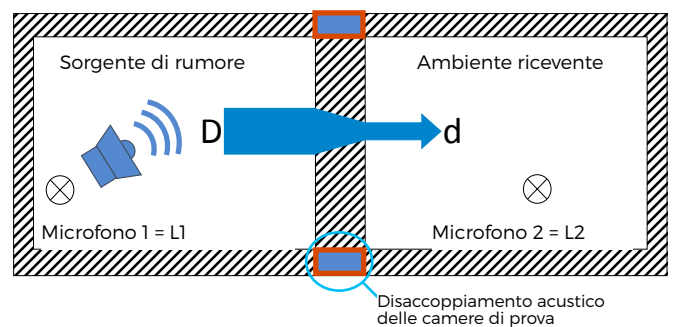
POTERE FONOIOLANTE IN LABORATORIO

Per determinare la prestazione fonoisolante di uno specifico prodotto le aziende possono eseguire test presso laboratori notificati. Si costruisce la partizione da esaminare tra due apposite camere di prova e si esegue la misura di potere fonoisolante come differenza tra i livelli di rumore nell'ambiente emittente e in quello ricevente. La particolarità è che i due ambienti sono completamente scollegati acusticamente tra loro. In tal modo vengono del tutto annullati i percorsi laterali e la misura permette di determinare il solo percorso diretto (Dd).

Per distinguere le prove di laboratorio dalle misure in opera i due descrittori vengono indicati con termini differenti:

- R_w : indice di potere fonoisolante (misure in laboratorio)
- R'_w : indice di potere fonoisolante apparente (misure in opera)

Se si considera quanto appena indicato appare evidente che a parità di stratigrafia il parametro R'_w risulta inferiore rispetto a R_w .



Misura in laboratorio di potere fonoisolante

Le formule di calcolo analitiche sono invece riportate nella norma UNI EN ISO 12354-2. In maniera molto semplificata, L_{nw} è dato dai parametri di seguito elencati e rappresentati in figura 10.

- **$L_{n,eq,0,w}$ (valore di partenza):** è il livello di calpestio del “solaio portante”; questo valore diminuisce all’aumentare della massa della struttura.
- **$L_{n,ij,w}$ (contributi peggiorativi):** sono i livelli di rumore per effetto delle trasmissioni laterali attraverso tutte le pareti verticali interessate (4 nel caso di ambienti sovrapposti, 2 nel caso di ambienti adiacenti).
- **ΔL_w (termine migliorativo):** è la riduzione del livello di rumore da calpestio determinata da un sistema di isolamento dato da un materiale resiliente tra solaio e pavimento (ad esempio realizzando un massetto galleggiante).

Non potendo intervenire, specialmente nelle ristrutturazioni, sulla struttura portante per aumentare la massa del solaio, **il termine su cui i progettisti possono realmente intervenire per incrementare l’isolamento acustico, è il ΔL_w** , scegliendo un adeguato sistema di isolamento. Inoltre, come si vedrà nel prossimo capitolo, un’altra soluzione, anche in aggiunta al massetto galleggiante, è la realizzazione di un controsoffitto nell’ambiente disturbato.

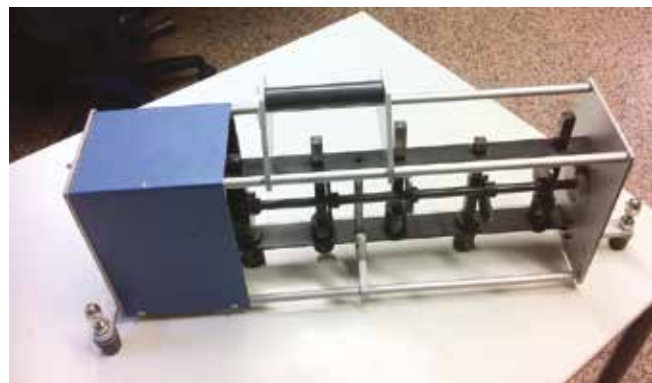


Figura 8 - La calpestone è una macchina con cinque martelli metallici, posti in linea retta, ognuno di massa pari a circa 500 gr. Il calpestio della macchina non vuole rappresentare il rumore prodotto dalle persone, è soltanto un “livello standard di riferimento” che deve essere adottato da chi esegue i rilievi. L’entità dell’impatto, molto elevata, è stata studiata per permettere di realizzare agevolmente le misure anche su solai super-isolati rispetto ai rumori da calpestio. La macchina non produce danni a piastrelle e parquet, a meno di posa errata dei rivestimenti. Si raccomanda sempre però di verificare l’assenza di eventuali sassolini o altri detriti sotto ai martelli prima di attivarla...

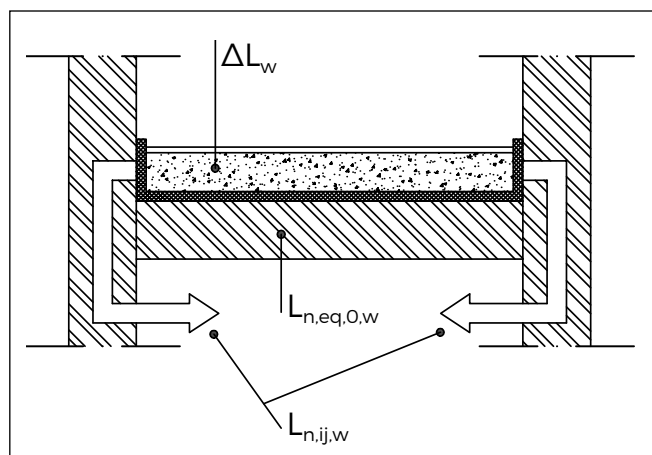


Figura 10 - Rappresentazione dei termini $L_{n,eq,0,w}$, ΔL_w , $L_{n,ij,w}$

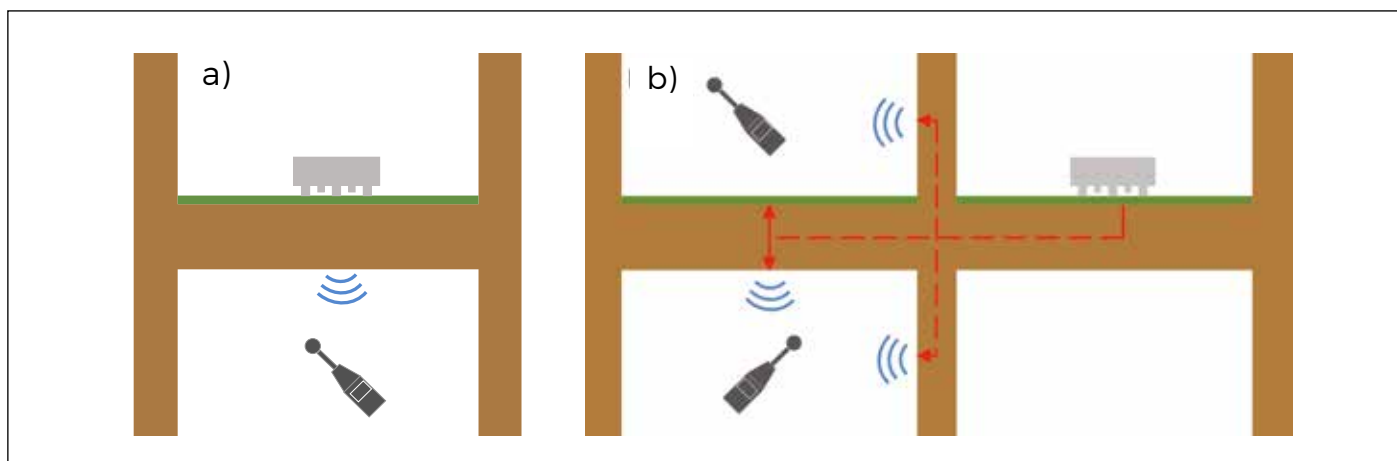


Figura 9 - Misurazione del rumore da calpestio in opera: a) in ambienti sovrapposti; b) in differenti ambienti.

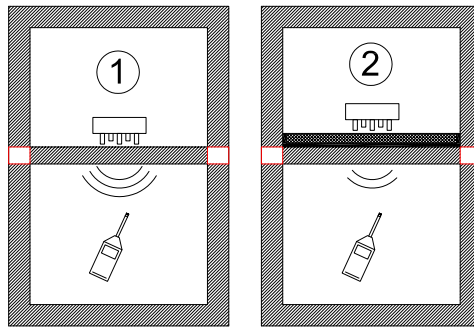


COMPORTAMENTO ACUSTICO DEI MASSETTI GALLEGGIANTI: IL CONTRIBUTO ΔL_w

L'indice di riduzione del livello di rumore da calpestio di un sistema costruttivo può essere determinato con una **prova di laboratorio** o con **calcoli matematici**.

La prova, eseguita ai sensi della UNI EN ISO 10140 - 3, consiste in sostanza nel:

1. rilevare in un laboratorio di prova il livello di rumore da calpestio di un solaio in cemento armato di spessore 12-14 cm;
2. applicare il sistema di isolante sul solaio e rilevare di nuovo il livello di rumore da calpestio;
3. fare la differenza tra le misure.



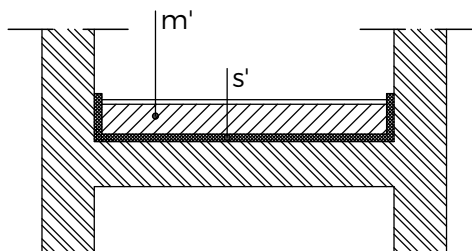
Misura in laboratorio della riduzione del livello di rumore da calpestio ΔL_w

Anche in questo caso l'ambiente emittente e ricevente sono completamente scollegati tra loro e il rumore passa solo attraverso il solaio.

I **calcoli matematici** invece permettono di valutare la prestazione di un massetto galleggiante se si conoscono la massa superficiale del massetto (m') e il valore di rigidità dinamica (s') del materiale resiliente sottostante (rappresentati in figura):

$$\Delta L_w = (13 \log (m')) - (14,2 \lg (s')) + 20,8 \text{ dB}$$

Dalla formula si evince che l'attenuazione cresce quanto più bassa è la rigidità dinamica dello strato resiliente o quanto maggiore è la massa superficiale del massetto soprastante. Tuttavia, non potendo aumentare eccessivamente lo spessore del massetto sia per ragioni di costi sia per il rischio di schiacciamento del materiale resiliente, si dovrà scegliere materiali che abbiano la rigidità dinamica più bassa possibile.



Rappresentazione dei termini relativi al massetto galleggiante

La rigidità dinamica s' [MN/mc], viene determinata in laboratorio effettuando sul materiale elastico una prova di risonanza secondo la norma UNI EN 29052-1. In sostanza **la rigidità dinamica indica il "grado di elasticità" del materiale e valori bassi evidenziano prestazioni migliori. È una proprietà intrinseca dei materiali ed è dato dal rapporto tra il modulo di Young (E) e lo spessore iniziale L_0 :**

$$s' = E / L_0$$

Occorre però anche valutare che il materassino non perda le prestazioni nel tempo a causa, ad esempio, di un eccessivo schiacciamento.

ISOLAMENTO ACUSTICO DI FACCIATA

L'indice di isolamento acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) indica quanti decibel la facciata è in grado di abbattere in riferimento ai rumori aerei provenienti dall'esterno (quali il traffico).

La misura in opera, in conformità alla UNI EN ISO 16283-3, consiste nell'attivare una sorgente di rumore all'esterno dell'edificio e nel misurare il disturbo sia all'esterno a due metri dalla facciata sia all'interno della stanza. La differenza dei rilievi individua la prestazione della partizione.

La cassa acustica deve essere posizionata sul terreno a una distanza "d" tale per cui "r" sia di almeno 7 m e con una inclinazione di 45° rispetto al centro

della parete da esaminare (vedi Figura 11). Il microfono esterno va posizionato a una distanza di 2 m dal centro della facciata e a una altezza di 1,5 m rispetto al piano del pavimento dell'ambiente ricevente.

Le formule matematiche per calcolare analiticamente il descrittore $D_{2m,nT,w}$ sono invece riportate nella norma ISO 12354-3. Per determinare il parametro occorre inserire nel modello di calcolo le dimensioni geometriche della stanza e la prestazione fonoisolante (R_w) di tutti gli elementi che compongono la facciata (parete, finestre, cassonetti, ecc.). La presenza di balconi e parapetti può contribuire a migliorare la prestazione della partizione in funzione della forma, del valore di assorbimento acustico di tali elementi e della direzione del rumore (vedi Figura 11).

Come in tutti i requisiti acustici anche l'isolamento di facciata è fortemente influenzato dalla prestazione degli elementi più deboli.

Dalle immagini della figura 12 si osserva come una finestra poco performante, ad esempio con un vetro 4-12-4 e caratterizzata da un potere fonoisolante di 30 dB, determina un valore di isolamento inferiore ai limiti di legge anche in presenza di pareti fonoisolanti (vedi esempi 1 - 2 - 3). Se si utilizzano invece serramenti adeguati, è possibile ottenere un ottimo isolamento di facciata anche con pareti caratterizzate da prestazioni non elevate (vedi esempio 4). Si ricorda che per gli edifici residenziali il limite minimo da rispettare è 40 dB.

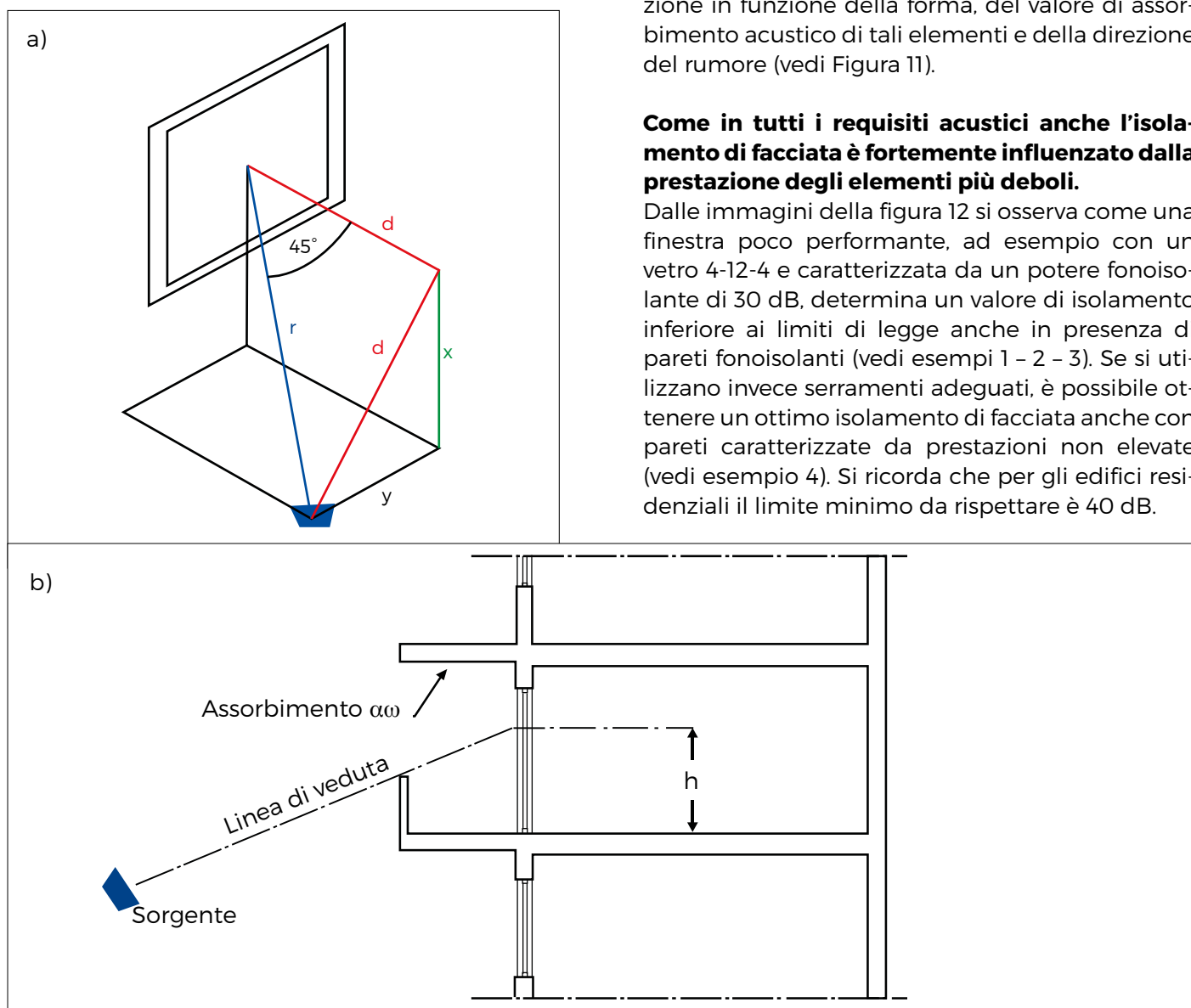


Figura 11 - a) Geometria del metodo con altoparlante per la misura del potere fonoisolante di facciata. b) Elementi della facciata che contribuiscono a determinare la prestazione di isolamento acustico.

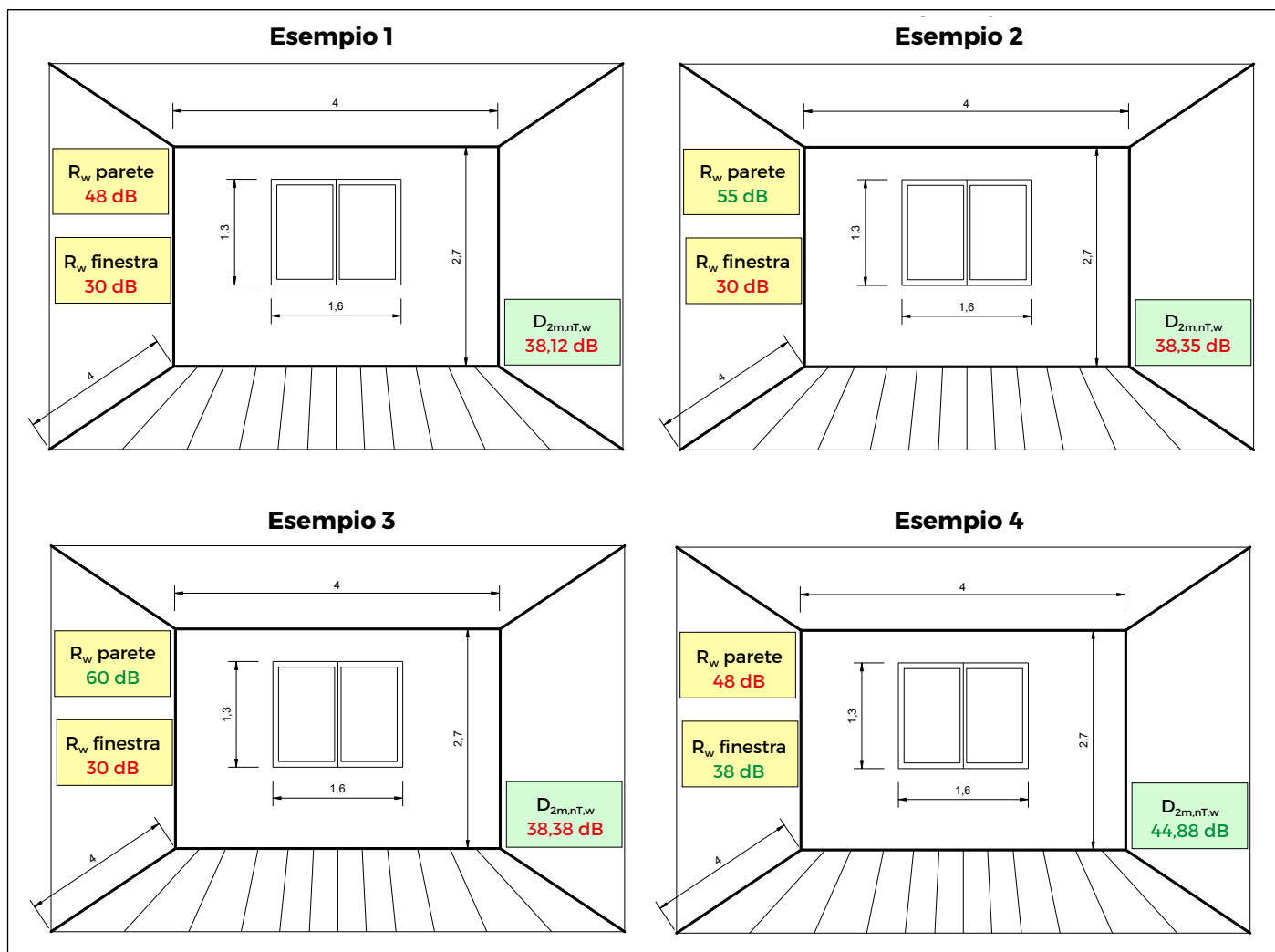


Figura 12 - Esempi di calcolo di isolamento acustico di facciata. Poiché il calcolo è logaritmico, gli elementi deboli incidono in misura decisiva. Solo l'esempio 4 soddisfa il limite minimo di 40 dB imposto dal DPCM 5/12/97.

CENNI SUL RUMORE DEGLI IMPIANTI

Il livello di rumore degli impianti si misura in opera attivando l'impianto da esaminare e rilevando il livello sonoro nell'ambiente ricevente più disturbato. La norma UNI EN ISO 16032 spiega nel dettaglio le procedure di attivazione, le posizioni da utilizzare durante i rilevamenti e le tecniche di elaborazione dei dati acquisiti.

I modelli di calcolo previsionale del rumore degli impianti sono invece riportati nella norma tecnica UNI EN 12354-5. Il documento è oggettivamente piuttosto complicato e in genere i professionisti affrontano il tema proponendo nelle relazioni una serie di indicazioni di corretta posa in opera piuttosto che calcoli analitici. Poiché in questo testo non esaminiamo il comportamento degli impianti, per ogni approfondimento rimandiamo a testi specifici.

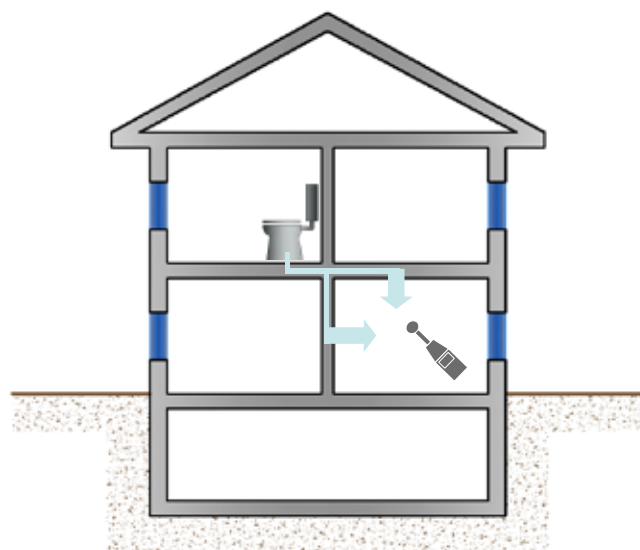


Figura 13 - Esecuzione di una misura in opera del rumore prodotto dagli scarichi

INDICI DI VALUTAZIONE

Come visto nelle pagine precedenti, la prestazione fonoisolante (R) di una partizione varia con la frequenza. Per poterla definire con un unico valore rappresentativo, la UNI EN ISO 717-1 introduce il concetto di "indice di valutazione R_w " calcolato con il cosiddetto "metodo di confronto": la curva sperimentale di R (misurata) viene confrontata con una curva di riferimento definita dalla norma stessa. La curva di riferimento viene avvicinata a quella delle misure, per passi di 1 dB, in modo tale che la somma degli scarti favorevoli della curva sperimentale rispetto a quella di riferimento sia la più grande possibile ma non superiore a 32 dB. Il valore a 500 Hz della curva di riferimento traslatarappresenta l'indice di valutazione del potere fonoisolante (figura 14).

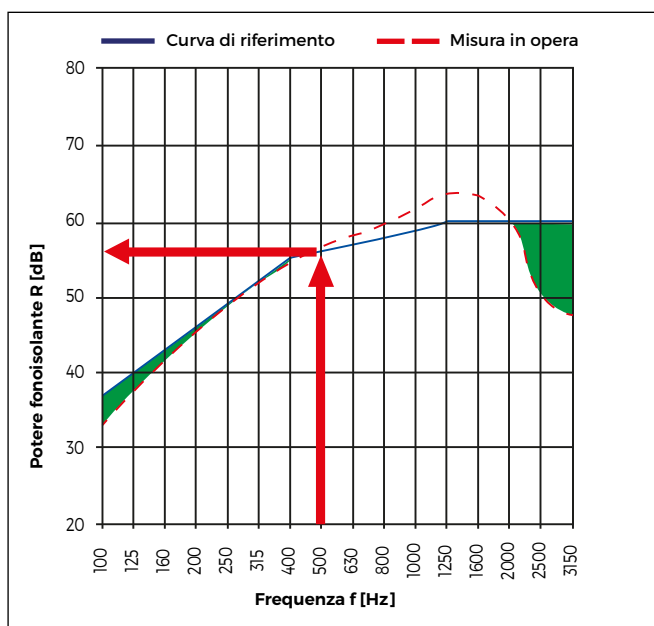


Figura 14 - Determinazione dell'indice di valutazione R_w ottenuto per sovrapposizione della curva sperimentale (misurata in opera) con la curva ISO di riferimento. Le aree verdi rappresentano le condizioni sfavorevoli per la curva delle misure.

Il pedice "w" indica che la grandezza rappresenta un indice di valutazione; ad esempio:

R = potere fonoisolante (per frequenza)

R_w = indice del potere fonoisolante (numero unico)

$D_{2m,nT}$ = potere fonoisolante (per frequenza)

$D_{2m,nT,w}$ = indice del potere fonoisolante (numero unico)

Allo stesso modo, anche per il livello di rumore da calpestio l'indice viene definito sovrapponendo la curva delle misurazioni con una curva di riferimento definita nella norma UNI EN ISO 717-2. In questo caso lo scarto è sfavorevole quando la curva delle misure si trova al di sopra di quella di riferimento (vedi Figura 15).

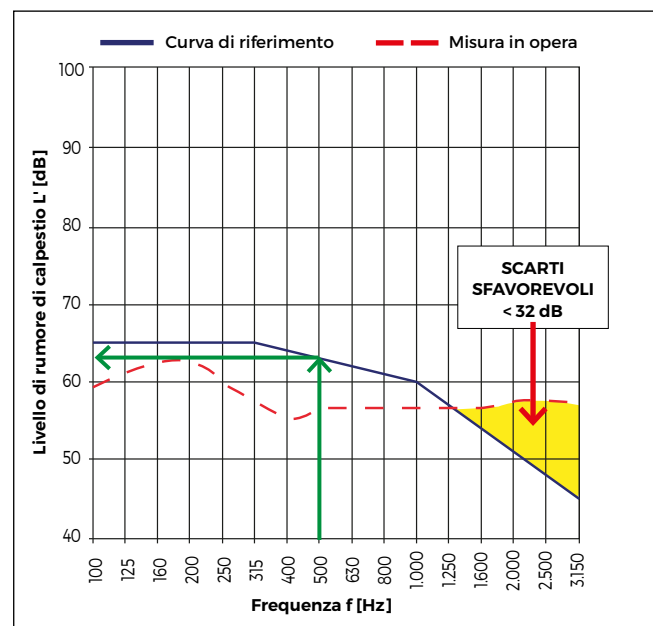


Figura 15 - Determinazione dell'indice di valutazione L_w . L'area gialla rappresenta le condizioni sfavorevoli per la curva delle misure.

Tutti i limiti di legge imposti dal DPCM 5/12/1997 si riferiscono agli indici di valutazione (R_w , $D_{2m,nT,w}$, L_w).

COEFFICIENTI DI ADATTAMENTO SPETTRALE

L'utilizzo degli indici di valutazione (valore unico) porta ad una perdita di informazione rispetto ai dati in frequenza. Nei certificati di misura della prestazione fonoisolante si nota che a fianco al valore dell'indice di valutazione R_w vengono riportati due ulteriori termini (C e C_{tr}). Si tratta dei coefficienti di adattamento spettrale, due parametri che danno una indicazione in merito a come la parete si comporta per l'isolamento alle frequenze alte (C) e basse (C_{tr}).

In sostanza l'effettiva prestazione fonoisolante della partizione è data dalla somma dell'indice con il relativo coefficiente di adattamento.

Tuttavia, i limiti del DPCM 5/12/1997 non prendono in considerazione questi coefficienti, ma solo il valore relativo all'indice di valutazione.

Anche i coefficienti di adattamento spettrale si calcolano seguendo le indicazioni delle norme tecniche UNI EN ISO 717-1 e UNI EN ISO 717-2 come di seguito riportato.

Rumori ad alta frequenza (C) si utilizza per caratterizzare l'isolamento della partizione rispetto a rumori ad alta frequenza e in particolare:

- attività umane (conversazione, musica e radio);
- bambini che giocano;
- traffico ferroviario a velocità media e elevata;
- traffico autostradale > 80 km/h;
- aereo a reazione a breve distanza;
- fabbriche (rumore a frequenza media alta).

Rumori da traffico (C_{tr}) si utilizza per caratterizzare l'isolamento della partizione rispetto a rumori a bassa frequenza:

- traffico stradale urbano;
- traffico ferroviario a basse velocità;
- velivolo a elica;
- aereo a reazione a lunga distanza;
- musica da discoteca;
- fabbriche (rumore a frequenza bassa media).

Anche per quanto riguarda il livello di rumore da calpestio l'indice di valutazione determina una perdita di informazione, motivo per cui viene introdotto il termine di adattamento spettrale C₁.

La procedura di calcolo di questo parametro è descritta nella UNI EN ISO 717-2. Esso è definito in modo che per i solai con sistemi anticilpestio posati correttamente il suo valore sia circa zero, mentre sia leggermente positivo per i solai a travetti di legno con picchi di rumore a bassa frequenza. Per i solai senza sistemi anticilpestio, o con sistemi posati in modo non corretto, il coefficiente risulta compreso tra -15 e 0 dB.

A titolo di esempio:

Certificato di prova del potere fonoisolante: R _w = 53 (-2; -5)	Certificato di prova dell'indice di rumore a calpestio: L'_{nw} = 68 (-8)
Significa che	
R _w = 53 dB a 500 Hz	L'_{nw} = 68 dB a 500 Hz
C = -2 dB	C1 = -8 dB
Indica che il potere fonoisolante per rumori alle alte frequenze è 51 dB	Tale termine non va sommato al valore di L'_{nw} ma fornisce solo un'idea della perdita di prestazione in caso di materassino posato male.
C _{tr} = -5 dB	
Indica che il potere fonoisolante per rumori alle basse frequenze è 48 dB	

FONOSOLAMENTO E FONOASSORBIMENTO

Le parole fonoisolamento e fonoassorbimento spesso vengono confuse tra loro, ma definiscono concetti molto diversi. Gli interventi di **fonoisolamento** hanno lo scopo di minimizzare la trasmissione del rumore tra due ambienti e fare in modo che il rumore prodotto in una stanza non disturbi il locale adiacente (vedi Figura 16).

Gli interventi di **fonoassorbimento** invece servono per controllare la riflessione dei suoni sulle pareti di un ambiente e adattare il riverbero della stanza (vedi Figura 17).

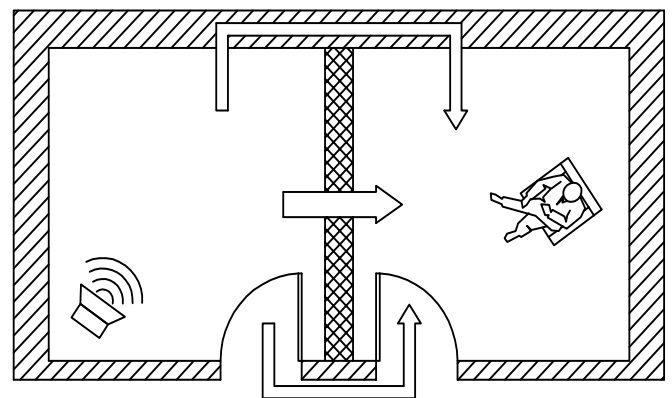


Figura 16 - Ambienti che richiedono interventi di fonoisolamento

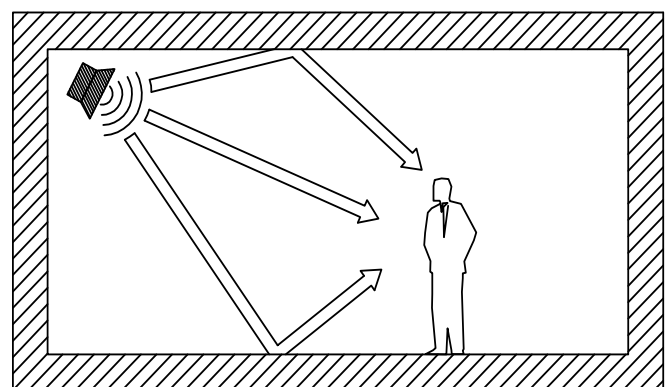


Figura 17 - Ambiente che richiede interventi di fonoassorbimento

Attenzione! Come schematizzato in figura 18, la posa di pannelli fonoassorbenti generalmente non determina un incremento della prestazione fonoisolante delle partizioni in quanto il pannello fonoassorbente incide solo sull'onda sonora riflessa (freccia arancione) e non sull'energia trasmessa nell'ambiente ricevente (frecce blu e verde).

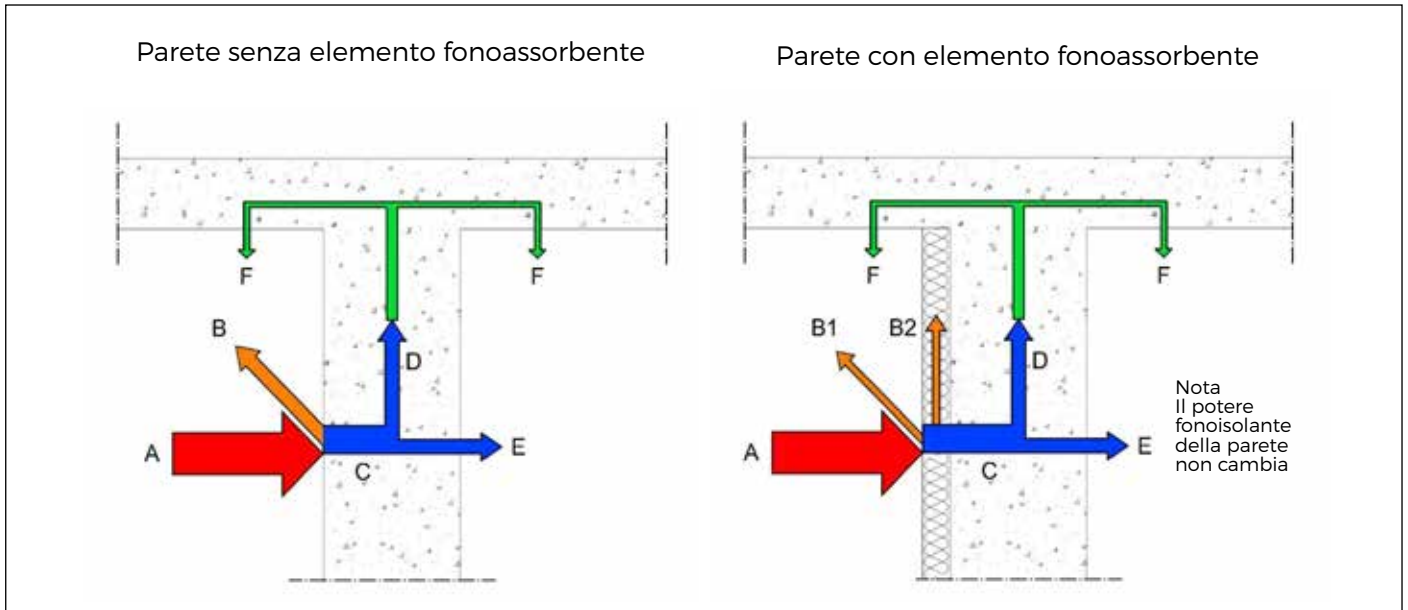


Figura 18 - Confronto tra partizioni con e senza rivestimento fonoassorbente. Il pannello fonoassorbente riduce la componente riflessa.

TEMPO DI RIVERBERO (T)

Il tempo di riverbero di una stanza è il tempo, in secondi, necessario affinché un rumore generato nell'ambiente decada di 60 dB.

Le procedure di misura, definite nelle norme serie ISO 3382, richiedono di attivare una sorgente nell'ambiente e di rilevare il suo decadimento nel tempo (vedi Figura 19). Le sorgenti possono essere di tipo impulsivo (ad esempio pistole a salve, palloncini, ecc.) oppure di tipo "continuo" (una cassa acustica che genera un rumore costante e poi viene spenta). Anche il tempo di riverbero varia con la frequenza

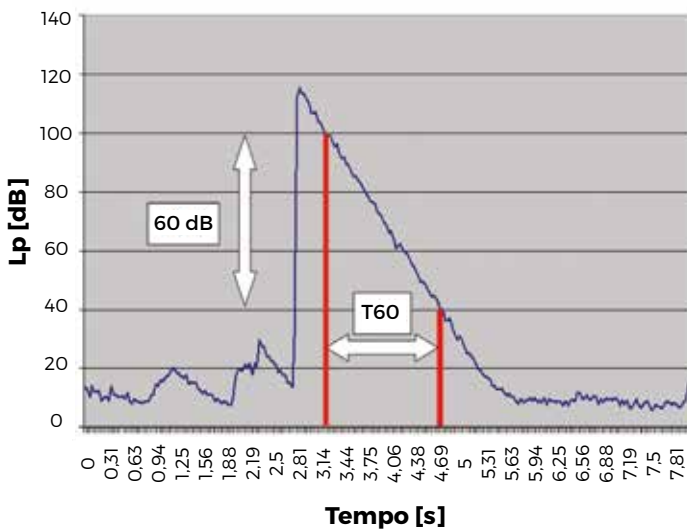


Figura 19 - Misura del tempo di riverbero con sorgente impulsiva

considerata e dipende sia dal volume dell'ambiente sia dalla quantità e qualità di materiali fonoassorbenti presenti. All'aumentare dei materiali si riduce il tempo di riverberazione. **Per approfondimenti rimandiamo allo Speciale tecnico pubblicato su UP! 24.**

Il modello di calcolo previsionale della norma UNI EN 12354-6 richiede come dati di ingresso le dimensioni geometriche dell'ambiente e le prestazioni fonoassorbenti delle superfici della stanza e dell'arredo presente. Anche le persone, con i loro vestiti, contribuiscono a modificare la riverberazione dell'ambiente (vedi Figura 20).

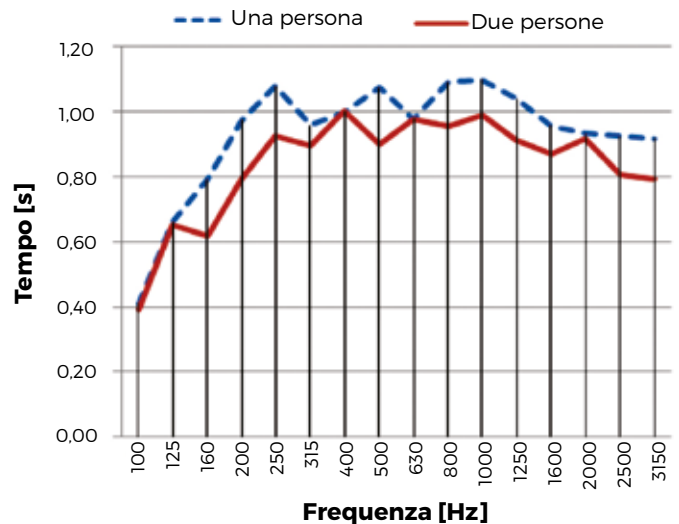


Figura 20 - Tempo di riverbero in un ambiente di 40 mc con una o due persone

3.

SOLUZIONI TECNOLOGICHE

Nei primi due capitoli abbiamo analizzato quali sono i limiti di legge da rispettare e quali strumenti possiamo utilizzare per calcoli previsionali e misure in opera.

Ora scopriamo i materiali, le soluzioni tecnologiche e le indicazioni di posa che ci permettono di costruire edifici in grado di rispondere alle prescrizioni legislative e raggiungere elevate prestazioni di comfort acustico.

ISOLAMENTO AI RUMORI AEREI

SCELTE PROGETTUALI

L'isolamento dai rumori aerei delle pareti può essere realizzato in diversi modi. La scelta della stratigrafia deve tener conto che al risultato concorrono non solo la struttura in oggetto ma anche quelle adiacenti e la corretta posa in opera. In generale, per quanto detto nel capitolo precedente, sarà bene sempre ricorrere a partizioni caratterizzate da un indice di potere fonoisolante "di laboratorio" (R_w) superiore rispetto al valore di indice di potere fonoisolante "in opera" ($R_{w,op}$) richiesto dalla normativa o comunque dal committente. Infatti se utilizziamo una parete "super-isolante" in un contesto caratterizzato da ponti acustici lungo il perimetro, il risultato a fine lavori potrebbe essere deludente. Dal punto di vista tecnico, le pareti pesanti

in muratura a singolo strato seguono la cosiddetta "**legge di massa**" ovvero più pesano più isolano. Tuttavia per garantire un potere fonoisolante superiore a 50 dB esse dovrebbero avere una massa molto elevata.

Un trucco per ridurre il peso è quello di dividere la massa in due pareti separate da una intercapedine e, con i dovuti accorgimenti, è possibile ridurre al minimo i buchi di potere fonoisolante dovuti alle frequenze di risonanza e frequenze critiche di coincidenza, di cui un esempio nel grafico di figura 1, facendo in modo che tali valori di frequenze cadano all'esterno dell'intervallo di interesse nell'edilizia che va dai 100 ai 5.000 Hz.

Le modalità di intervento per migliorare le prestazioni rispetto alla parete doppia con intercapedine sono di seguito descritte (vedi Figura 2):

- **differenziare le masse dei paramenti (b)**

per fare in modo che quando entra in risonanza una delle due partizioni l'altra non ha problemi. È possibile aumentare la differenza di massa applicando il terzo intonaco, cioè uno strato di rinzafo interno di malta di spessore di almeno 1 cm, sul paramento più pesante. Questo strato, oltre che sigillare eventuali aperture nella parete, consente di aggiungere 15 - 20 kg/mq di massa in più;

- **aumentare lo spessore dell'intercapedine (c);**
- **inserire materiale fonoassorbente nell'intercapedine (d)** per ridurre la risonanza nella cavità.

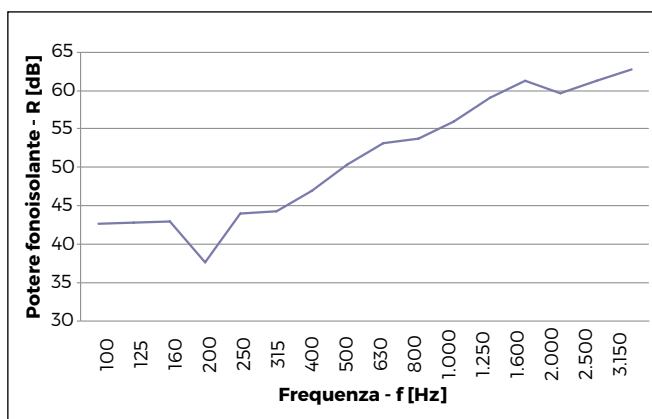


Figura 1 - Misura di potere fonoisolante di una parete doppia in laterizi (8+12 con isolante in intercapedine). A 200 Hz si nota la presenza di una perdita di isolamento causata da effetto di risonanza.

Alla luce di quanto detto, le **tipologie di partizioni verticali** che generalmente vengono utilizzate sono:

- **pareti doppie "pesanti" con materiale isolante in intercapedine** ad esempio pareti doppie in laterizio, blocchi, ecc. (vedi Figura 3a);
- **pareti doppie "a secco"** realizzate con lastre o orditure metalliche e materiale isolante in intercapedine (vedi Figura 3b);
- **sistemi misti** ovvero pareti pesanti rivestite con contropareti a secco e materiale isolante in intercapedine (vedi Figura 3c).

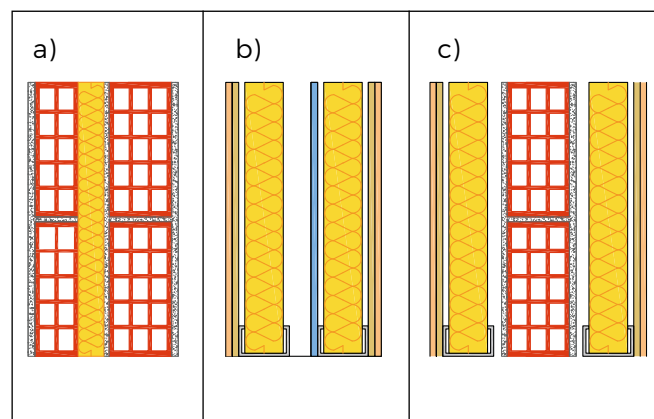


Figura 3 - Sistemi di isolamento dai rumori aerei: a) parete doppia "pesante" con isolante in intercapedine; b) parete a secco; c) sistema misto di parete pesante con controparete.

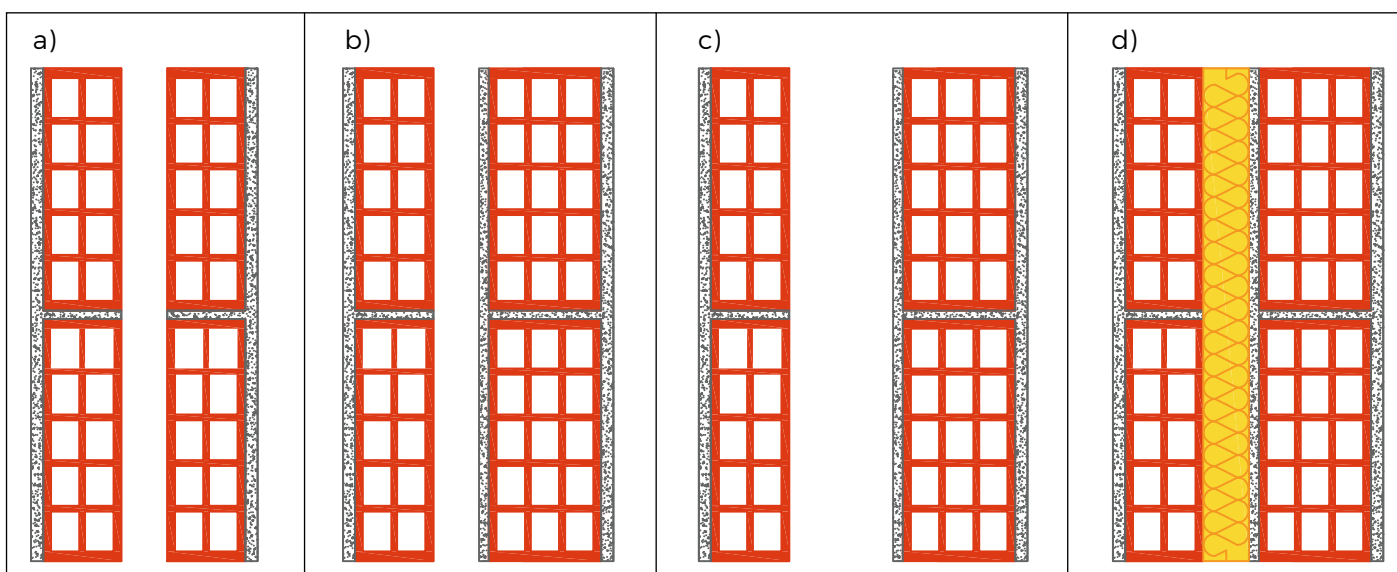


Figura 2 - a) Parete doppia costituita da due pareti di uguale massa (performance minori); b) parete doppia con masse differenziate; c) parete doppia con masse differenziate e intercapedine maggiore; d) parete doppia con masse differenziate e intercapedine riempita di isolante fonoassorbente (prestazioni migliori).

Le strutture a secco non isolano in virtù della massa ma riducono la trasmissione dei rumori grazie all'elasticità delle lastre che le compongono. Inoltre il materiale fonoassorbente inserito nelle intercapedini contribuisce a dissipare l'energia sonora. In tal modo anche partizioni, caratterizzate da masse superficiali drasticamente inferiori rispetto alla muratura, possono raggiungere elevatissime caratteristiche fonoisolanti.

È importante specificare che, a parità di potere fonoisolante misurato in laboratorio (R_w), il comportamento in frequenza dei sistemi cambia considerevolmente come mostra l'immagine in figura 4: **generalmente le pareti pesanti sono caratterizzate da prestazioni migliori alle frequenze più basse, le pareti a secco invece hanno un comportamento migliore alle frequenze intermedie.**

I sistemi misti infine, combinando i pregi di pareti pesanti e a secco, permettono di ottenere le prestazioni più elevate.

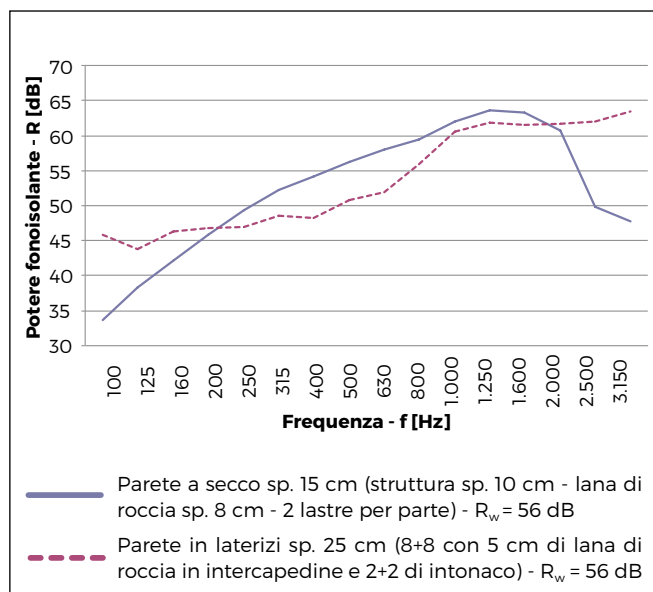


Figura 4 - Andamento del potere fonoisolante per una struttura pesante e una struttura leggera (per una migliore visualizzazione delle curve è stata omessa la curva di riferimento della ISO 717).

CURA DEI DETTAGLI IN OPERA

Ricordando che il DPCM prescrive il rispetto dei requisiti acustici in opera, la corretta posa è fondamentale per far in modo che quanto calcolato si avvicini il più possibile alla realtà. Anche se non è possibile in cantiere riprodurre una "condizione di laboratorio", di seguito forniamo alcune preziose indicazioni per ottenere un buon risultato in opera.

• Pareti doppie "pesanti"

Si raccomanda di usare pezzi integri e non lasciare fessure aperte **curando non solo la posa dei giunti orizzontali di malta ma anche dei giunti verticali** tra i mattoni. Sebbene la parete venga intonacata, la presenza di fessure rappresenta sia un ponte termico sia acustico (vedi Figura 5). L'uso dei **blocchi a incastro** consente di evitare questo rischio.



Figura 5 - a) Esempio di errata posa in opera per la mancanza del giunto di malta in verticale. b) I giunti di malta in verticale aumentano la massa della parete.

In caso di presenza di pilastri in cemento armato nella parete si raccomanda di verificare la connessione tra laterizi e calcestruzzo. Anche in questo caso, eventuali fessure possono diventare dei pericolosi ponti acustici.

Gli scassi per gli impianti elettrici dovranno essere ridotti al minimo indispensabile. Tutte le tracce andranno accuratamente riempite con malta e le scatolette non dovranno essere poste in corrispondenza sui due lati della parete.

Per limitare le trasmissioni laterali a pavimento è preferibile posare le pareti su strisce di materiale desolidarizzante caratterizzato però da adeguata resistenza alla compressione (vedi Figura 6). Se infatti dovesse schiacciarsi troppo potrebbero crearsi crepe in corrispondenza del collegamento a soffitto che vanificherebbero l'intervento.



Figura 6 - Posa in opera della fascia tagliamuro

Per la connessione con pareti laterali e solaio sovrastante si raccomanda di curare il collegamento tra le strutture, ad esempio costipando completamente con malta lo spazio fra l'ultimo corso di laterizi e il solaio (vedi Figura 7).



Figura 7 - Riempimento con abbondante malta tra ultimo corso di mattoni e soffitto

• Pareti a secco

Si raccomanda di svincolare l'intero perimetro della parete dalle strutture laterali interponendo del materiale elastico di desolidarizzazione: solitamente strisce di polietilene espanso monoadesive o biadesive da incollare sull'anima dell'orditura metallica come in figure 8 e 9.

Per le pareti a doppia struttura è necessario che le strutture metalliche siano tra loro distaccate per evitare di creare collegamenti rigidi e quindi ponti acustici; nel caso si debbano prevedere scassi impiantistici è opportuno prevedere una lastra intermedia in intercapedine fissata su una orditura (vedi Figura 10).

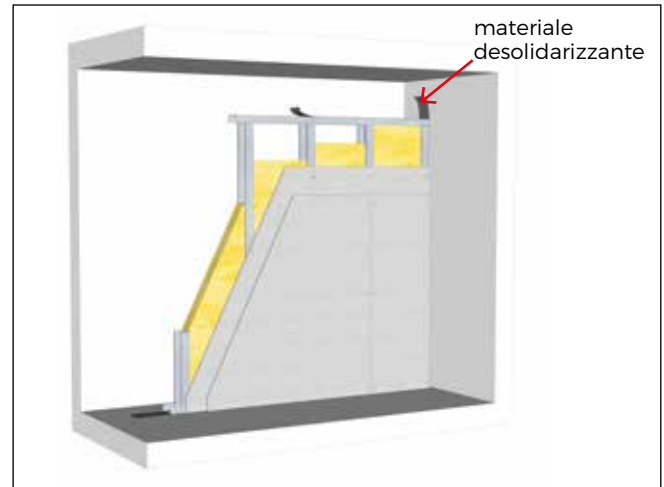


Figura 8 - Posa della striscia in polietilene isolante



Figura 9 - Posa della striscia desolidarizzante

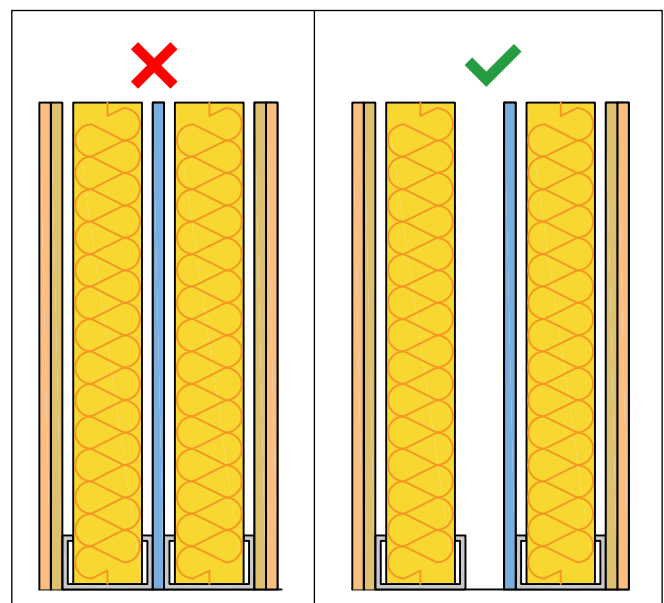


Figura 10 - Errata realizzazione di parete a doppia orditura e corretta posa con lastra intermedia

PONTI ACUSTICI

L'isolamento acustico di una buona parete divisoria viene completamente vanificato se ci si trova in presenza di ponti acustici, punti deboli da cui passa tutto il rumore. Eccone alcuni.

• Pignatte solaio laterocemento

Se le pignatte dei solai in laterocemento "attraversano la parete", da ambiente emittente ad ambiente ricevente, si crea un pericoloso ponte acustico. È possibile interromperlo prevedendo un cordolo in calcestruzzo al di sopra della partizione come riportato in figura 11.

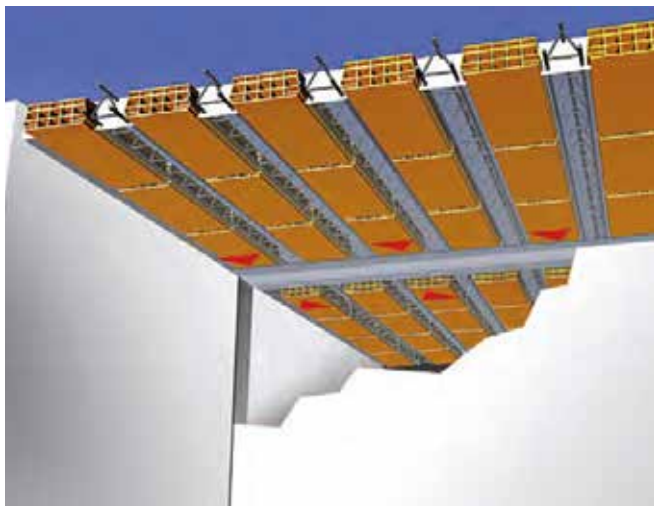


Figura 11 - Interruzione del solaio, tramite cordolo in c.a., per evitare le trasmissioni laterali del rumore attraverso i fori delle pignatte.

• Collegamento con parete esterna

Anche i fori dei mattoni possono diventare un pericoloso ponte acustico in particolare se i giunti verticali tra laterizi non vengano riempiti con malta. Una possibile soluzione consiste nel realizzare il collegamento tra parete divisoria tra unità immobiliari e parete esterna come indicato in figura 12.

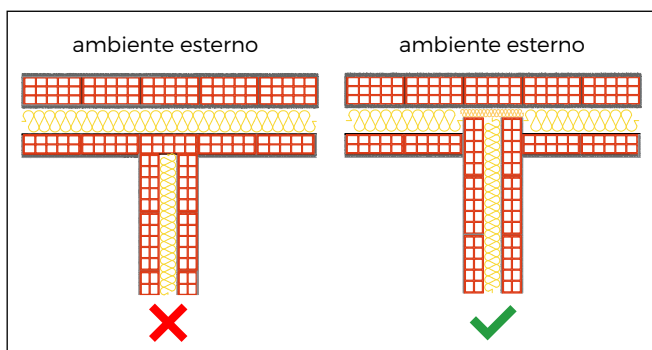


Figura 12 - Realizzazione del nodo tra parete divisoria interna e parete esterna: errata a sinistra, corretta a destra.

• Canali di scarico impiantistici nelle pareti

I canali di scarico inseriti all'interno di scassi della parete divisoria determinano un indebolimento della stessa e una perdita di prestazione di isolamento ai rumori aerei. Inoltre diventa chiaramente percepibile il rumore determinato dallo scrosciare dell'acqua nei canali. È quindi necessario inserire i tubi all'interno di appositi cavedi come rappresentato in figura 13.

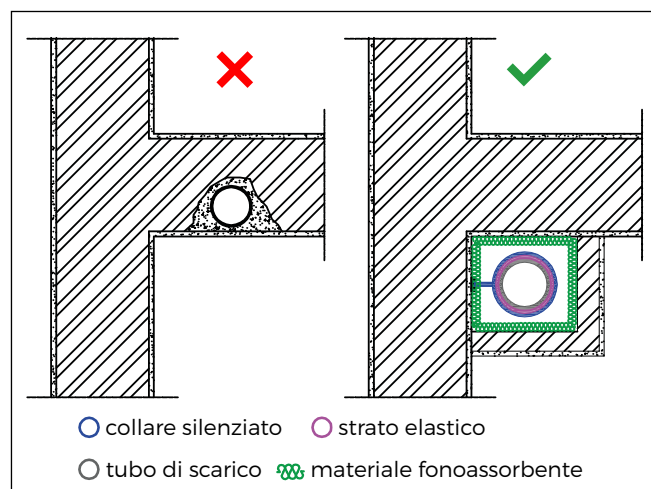


Figura 13 - Realizzazione di un cavedio impiantistico insonorizzato

• Collegamento parete - tetto in legno

La connessione tra parete divisoria e tetto in legno può diventare un ponte acustico poiché la camera di ventilazione e l'assito rappresentano una via preferenziale per il passaggio del rumore. L'intervento di miglioramento diventa particolarmente delicato e invasivo quando la partizione è perpendicolare alla direzione di ventilazione poiché per ridurre le trasmissioni laterali si dovrebbe interrompere la ventilazione. Di conseguenza, come rappresentato in figura 14, se si intendono ottenere elevate prestazioni di isolamento dai rumori è preferibile, sin dalla progettazione, che:

- il divisorio sia parallelo alla direzione di ventilazione;
- la ventilazione sia realizzata attraverso un tavolato continuo (o pannello di osb);
- sia garantita la continuità della parete al di là della struttura leggera fino al tavolato.

• Collegamento parete - controsoffitto/contro-parete

Se la parete divisoria si appoggia su un controsoffitto, le lastre di quest'ultimo diventano un percorso

preferenziale per i rumori. Per risolvere il ponte acustico la parete deve proseguire fino al solaio (vedi Figura 15).

Similmente, per evitare ponti acustici con contropareti, la parete divisoria dovrà raggiungere la parete laterale (vedi Figura 16).

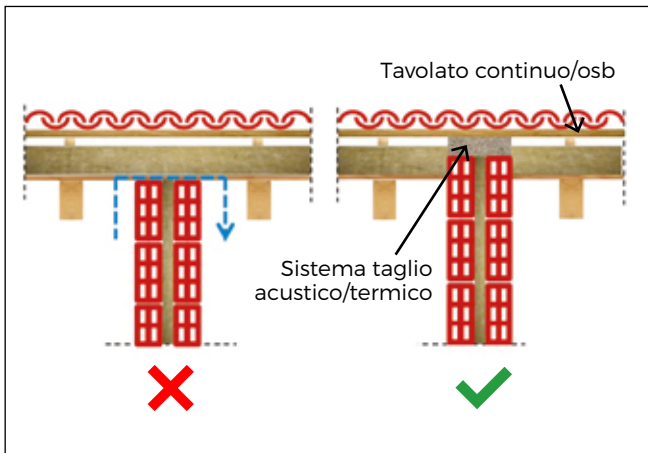


Figura 14 - La connessione tra parete in laterizi e tetto in legno dal punto di vista acustico è la più difficile da realizzare in quanto l'assito e l'intercapedine di ventilazione costituiscono una via preferenziale per il passaggio del rumore.

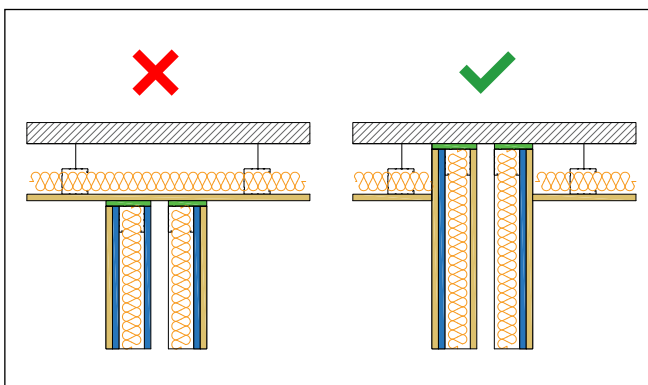


Figura 15 - Connessione tra parete a secco e controsoffitto: a destra un esempio per la correzione del ponte acustico.

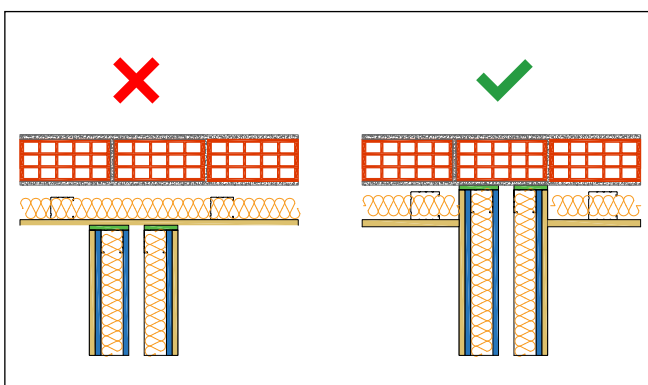


Figura 16 - Connessione tra parete a secco e controparete: a destra un esempio per la correzione del ponte acustico.

MATERIALI ISOLANTI NELLE INTERCAPEDINI

I materiali fibrosi/porosi, caratterizzati da prestazioni fonoassorbenti, possono determinare un incremento delle prestazioni di isolamento acustico della parete. La struttura fisica di tali materiali infatti, a differenza dei prodotti cellulari, contribuisce a dissipare l'energia sonora e a limitare possibili problemi di risonanza dell'intercapedine.

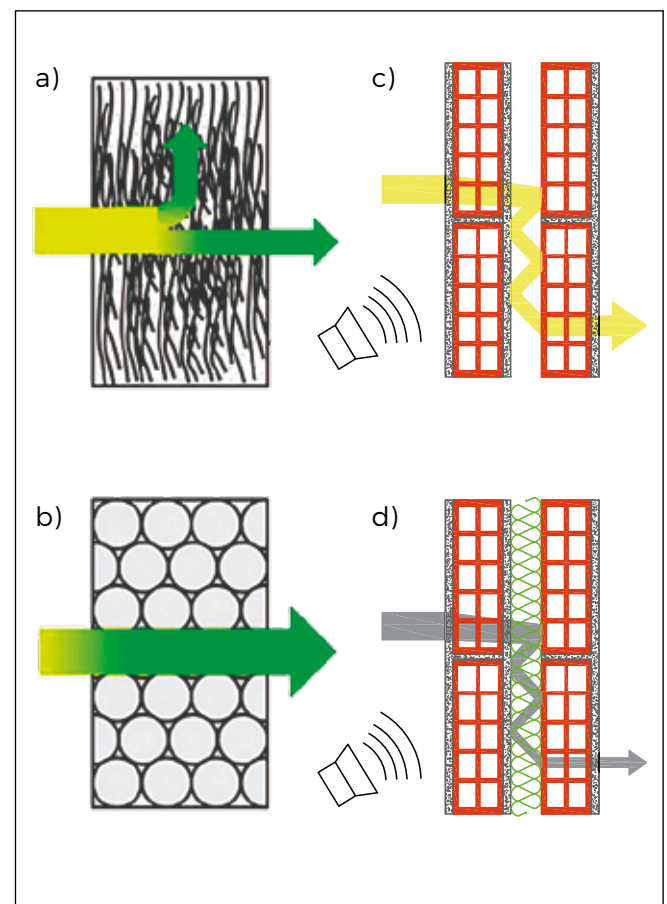


Figura 17 - Effetto dei materiali fonoassorbenti sulla trasmissione delle onde sonore. a) Materiale fibroso: assorbimento per attrito; b) materiale a celle chiuse: praticamente ininfluenza; c) muratura con intercapedine: debole assorbimento per attrito dovuto alle particelle d'aria; d) muratura con intercapedine isolata con materiale fibroso: assorbimento elevato per effetto dell'attrito nei canali interni del materiale.

La dissipazione dell'energia avviene grazie a fenomeni d'attrito. Quando un'onda sonora investe il materiale, le molecole d'aria perdono energia a causa dell'attrito con le superfici degli elementi che costituiscono il materiale stesso (fibre, particelle, ecc.).

I parametri da cui dipendono le prestazioni acustiche di questi materiali porosi sono essenzialmente:

- la **resistenza al flusso R [Pa s/m]**, ossia la resistenza che l'aria incontra nell'attraversare un materiale; essa si deduce dalla perdita di pressione sulle due facce di un campione attraversato da una corrente d'aria continua;
- la **porosità**, data dal rapporto tra il volume dell'aria contenuta in un campione di materiale e il volume del campione stesso.

Tra i due parametri si segnala che la grandezza più importante è la resistenza al flusso. Se quest'ultima risulta troppo elevata le onde sonore avranno difficoltà a penetrare nel materiale e, quindi, saranno in gran parte riflesse, se invece risulta troppo bassa non si avrà sufficiente attrito nel materiale stesso per dissipare l'energia sonora (vedi Figura 18).

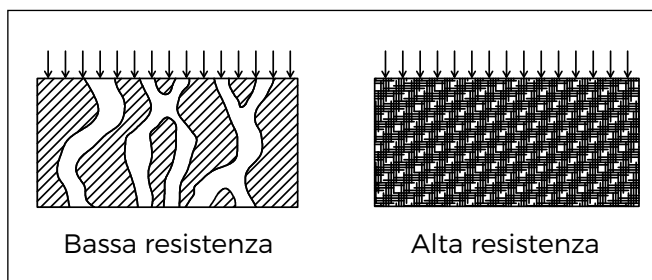


Figura 18 - Materiali porosi con diversa resistenza al flusso

Ogni materiale è contraddistinto, per ogni frequenza, da un coefficiente di assorbimento α (fornito dai produttori). Qualitativamente, vedi anche Tabella 2 a pagina 48, l'assorbimento acustico aumenta all'aumentare della frequenza (è piuttosto scarso alle basse frequenze intorno ai 125 Hz e buono alle medio-alte) e all'aumentare dello spessore.

Tra i materiali fonoassorbenti citiamo la fibra di legno (WF), la fibra di poliestere (PET), le fibre vegetali o animali (lana di canapa, fibra di cocco, lana di pecora, fibre di cellulosa, ecc.), la lana di legno (WW), la lana di roccia (MW), la lana di vetro (MW), le resine melamminiche, le schiume di poliuretano espanso a celle aperte (PUR), ecc.

Esistono in commercio anche **pannelli stratificati** (ad esempio materiale fonoassorbente accoppiato con uno strato in gomma) che possono contribuire a incrementare ulteriormente le prestazioni delle pareti di cui un esempio in figura 19.



Figura 19 - Pannello stratificato composto da fibra di poliestere accoppiata a strato in gomma

In generale la scelta del materiale da inserire in intercapedine (tipologia, spessore, densità, ecc.) può basarsi sui risultati di prove di laboratorio relative alle intere partizioni e uno spessore maggiore può determinare prestazioni migliori.

In alcuni casi, al fine di evitare la formazione di possibili ponti acustici, ad esempio in presenza di scatolette elettriche in pareti a singola orditura, è preferibile che l'isolante non riempia completamente l'intercapedine.

Infatti, nel caso l'intercapedine venga completamente riempita con un pannello isolante anche di media densità 40 - 60 kg/mc, l'inserimento di una scatoletta determinerebbe la compressione del materiale sulla lastra retrostante e, di conseguenza, la creazione di un possibile collegamento rigido. In genere si consiglia un riempimento pari all'80% dello spessore dell'intercapedine (vedi Figura 20). Un errore di posa, spesso praticato ma assolutamente da evitare, è il taglio e la rimozione dell'isolante in corrispondenza della scatoletta elettrica.

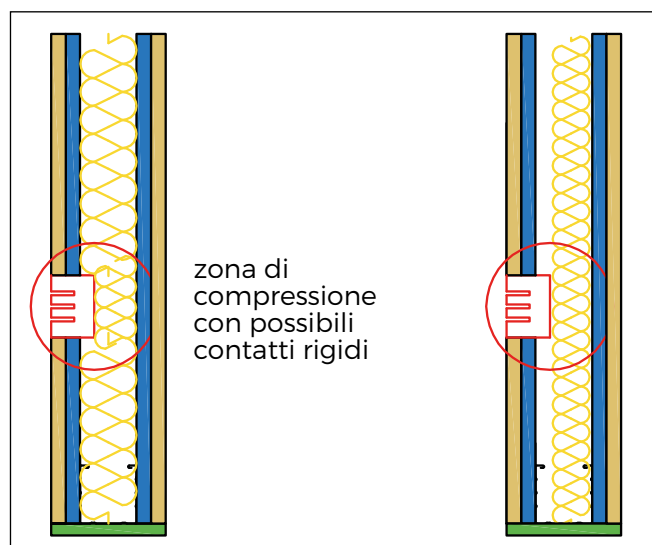


Figura 20 - L'immagine evidenzia come la scatoletta elettrica nella parete a secco deforma il materiale isolante fonoassorbente. Per evitare un'eccessiva compressione sulla lastra retrostante, si suggerisce di riempire le intercapedini per l'80% del loro spessore ma mai asportare la porzione di isolante corrispondente alla scatoletta.

ISOLAMENTO DI FACCIATA

Come indicato nel capitolo precedente, l'isolamento acustico di una partizione è fortemente influenzato dalla prestazione fonoisolante dei suoi elementi più deboli. In tal senso l'isolamento rispetto ai rumori esterni, nella maggioranza dei casi, dipende considerevolmente dalle caratteristiche dei serramenti (vedi esempio figura 12 del capitolo 2), dei cassonetti e delle bocchette di aerazione presenti in facciata.

Di seguito alcune considerazioni su questi elementi.

SERRAMENTI

La prestazione fonoisolante dei serramenti dipende da vari fattori: spessore e tipologia di lastre vetrate utilizzate, dimensione delle intercapedini nel caso di vetri doppi o tripli, presenza di gas, prestazione di tenuta all'aria, tipologia di telaio e, ovviamente, corretta posa in opera dell'elemento.

Come indicazioni di carattere generale, per raggiungere le prestazioni minime di isolamento indicate nel DPCM 5/12/1997, i serramenti dovranno garantire ottima tenuta all'aria, essere possibilmente di classe 4 secondo la norma UNI EN 12207 e comunque mai inferiore alla 3, ed essere dotati di vetri camera a elevato potere fonoisolante.

In presenza di doppi vetri o multipli il migliore isolamento acustico si avrebbe con **intercapedini d'aria** di dimensione superiore a 20 mm ma si tratta di uno spessore non ottenibile da vetri uniti al perimetro ma solo da doppie finestre o da finestre con doppio telaio.

Generalmente vengono prescritti vetri doppi con almeno una delle due lastre di tipo stratificato (vedi descrizione in figura 21). Le lastre stratificate infatti riducono alle altre frequenze il buco di isolamento dovuto al fenomeno della coincidenza in ragione del cambiamento di densità tra strati sovrapposti e al basso modulo di elasticità del film plastico tra le lastre. Questo perché a ogni passaggio del suono, tra strato di vetro e strato di vetro attraverso la pellicola collante, si verifica uno smorzamento nella trasmissione dell'onda sonora. Ne consegue che lo smorzamento acustico operato da tali tipi di vetro può essere consistente anche

per lastre singole, risultando nell'ordine di 37 - 38 dB per 10 - 11 mm di spessore.



Figura 21 - Il vetro stratificato è un vetro particolare, con funzioni di sicurezza, composto da due o più lastre di vetro assemblate tra loro su tutta la superficie mediante una o più pellicole intercalari. L'intercalare maggiormente utilizzato è il PVB (PoliVinilButirrale). In caso di rottura, l'aderenza tra il vetro e l'intercalare garantisce che i frammenti di vetro non si stacchino dall'insieme (almeno per un periodo di tempo determinato o fino al raggiungimento di uno specifico livello di carico).

La posa in opera dovrà essere eseguita con estrema cura; l'obiettivo è quello di limitare al massimo il passaggio d'aria, e quindi di rumori, in corrispondenza delle battute tra le ante e del collegamento tra serramento ed elemento murario. Il produttore dei serramenti dovrà fornire tutte le prescrizioni di corretta posa in opera dei propri sistemi e un utile riferimento normativo su questo argomento è la **UNI 11296**.

In generale si raccomanda estrema cura nella realizzazione e posa delle guarnizioni. Tali elementi dovranno essere privi di rotture e, per quanto possibile, continui lungo tutto il perimetro del serramento. Particolare attenzione dovrà essere posta nella realizzazione degli angoli e nella regolazione delle maniglie di chiusura.

Inoltre tra falso telaio e telaio fisso si consiglia di interporre materiale isolante di riempimento in grado di sigillare completamente il passaggio di aria e rumori (vedi Figura 22).

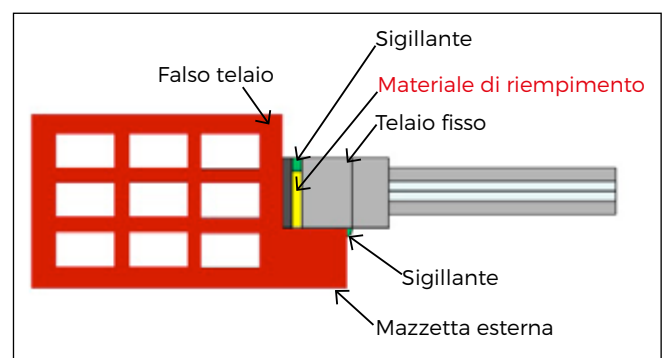


Figura 22 - Materiale di riempimento (giallo) tra telaio fisso e falso telaio.



SERRAMENTI: ISOLAMENTO TERMICO VS ISOLAMENTO ACUSTICO

Un serramento studiato per l'efficienza energetica ha anche buone prestazioni acustiche?

Alcuni fattori contribuiscono a entrambi gli aspetti, altri no.

Ad esempio una finestra con vetro 4-12-4, trattamento basso-emissivo sulle lastre e gas in intercapedine, può rispettare le prescrizioni di isolamento termico ma non essere adeguata per i requisiti acustici passivi. Tali lastre infatti, essendo caratterizzate da un indice di potere fonoisolante di circa 30 dB, in genere non permettono di rispettare le prescrizioni del DPCM 5/12/1997.

La tabella che segue sintetizza quando i vari parametri incidono positivamente sulla prestazione del serramento.

Parametro	Efficienza energetica	Isolamento acustico
Perfetta tenuta all'aria	x	x
Presenza di lastre stratificate		x
Maggiore distanza dell'intercapedine tra le lastre	x	
Trattamento basso emissivo sulle lastre	x	
Lastre di spessore differente		x
Gas nell'intercapedine tra le lastre (ad esempio Argon)	x	

Alcuni esempi di materiale di riempimento possono essere: nastri autoespandenti, schiume "acustiche", lane minerali (vedi Figure 23 e 24).

Il telaio fisso dovrà essere giuntato sul perimetro interno ed esterno utilizzando un sigillante adeguato (ad esempio silicone) come in figura 25.

Per limitare ulteriormente il passaggio di rumori è da preferirsi la realizzazione della mazzetta esterna (vedi Figura 26 a destra) rispetto alla posa in luce.



Figura 23 - Esempio di nastro autoespandente



Figura 24 - Esempio di riempimento con schiuma flessibile



Figura 25 - Esempio di sigillatura con silicone

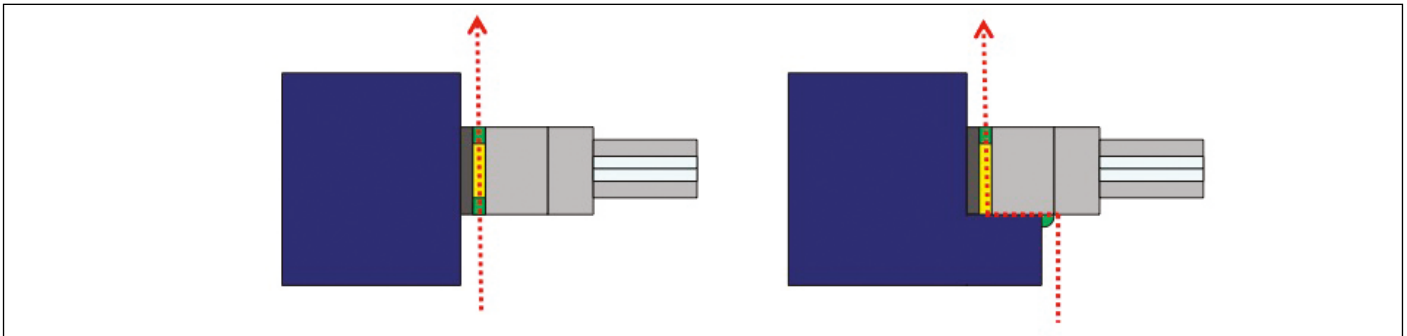


Figura 26 - Posa del telaio alla muratura



PRESTAZIONE FONISOLENTE DI SIGILLANTI E MATERIALI DI RIEMPIMENTO

Quali sigillanti e materiali di riempimento è opportuno utilizzare tra telaio fisso e falso telaio? Anche per questi prodotti è possibile testare in laboratorio la prestazione fonoisolante (R_{sw}) ai sensi dell'appendice J della UNI EN ISO 10140-1. La norma UNI 11673-1 sulla posa dei serramenti propone la seguente tabella, che individua la prestazione minima del materiale in funzione del tipo di serramento utilizzato.

R_w del serramento [dB]	R_{sw} del sigillante [dB]
33	≥ 45
36	≥ 50
39	≥ 55
≥ 40	≥ 58

Attenzione! È fondamentale posare con cura il sigillante e il materiale di riempimento sull'intera fessura evitando di lasciare spazi vuoti.

PICCOLI ELEMENTI (CASSONETTI E BOCCHETTE DI AERAZIONE)

La UNI TR 11175 definisce come piccoli elementi "gli elementi di edificio, con l'eccezione di porte e finestre, con area minore di 1 mq". Rientrano quindi in questa categoria i cassonetti e le bocchette di

aerazione, che sono in genere dei punti acusticamente deboli della facciata.

Esistono però in commercio (vedi Figura 27) prodotti di tipo silenziato che contribuiscono all'isolamento dai rumori esterni.

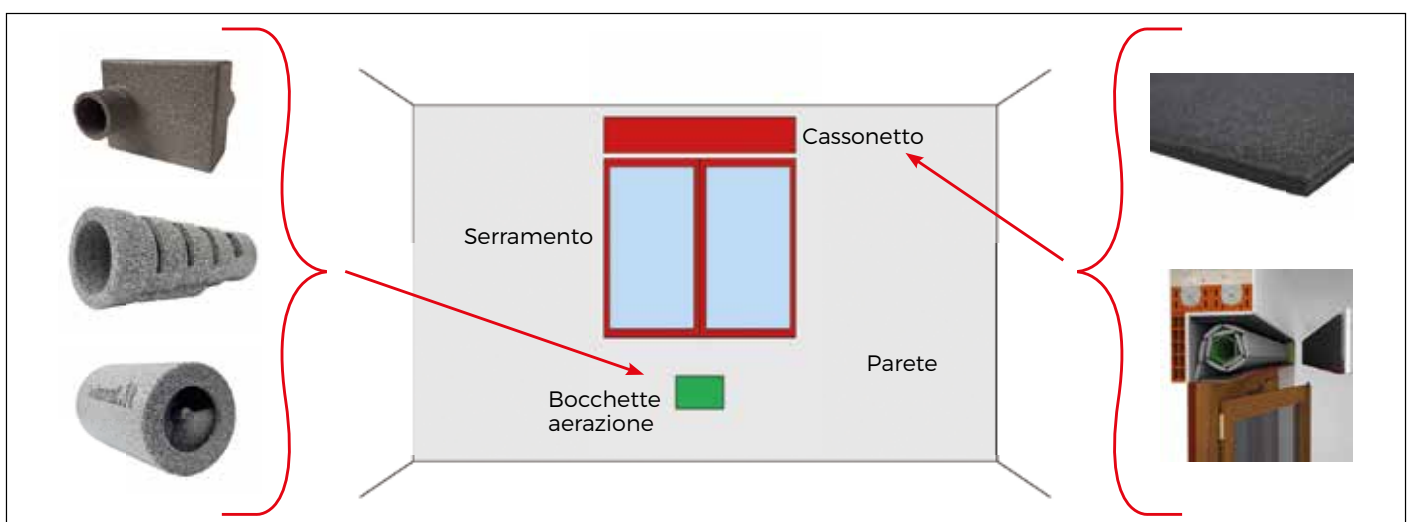


Figura 27 - Esempi di piccoli elementi con caratteristiche fonoisolanti

Ad esempio le bocchette di ingresso aria silenziate per le cucine, caratterizzate da struttura a labirinto e materiale fonoassorbente nell'intercapedine, o cassonetti con struttura rinforzata, che ne incrementa la prestazione fonoisolante. Anche questi sistemi devono essere posati con cura. In particolare per i cassonetti deve essere studiata nel dettaglio la connessione con il serramento.

Per limitare l'incidenza di questi elementi deboli in facciata, i cassonetti tradizionali possono essere sostituiti da cassonetti esterni o persiane, mentre per eliminare le bocchette di aerazione può essere ipotizzato l'utilizzo di fuochi a induzione anziché a gas.

Nel caso nell'edificio vengano installati sistemi di ventilazione meccanica controllata (VMC) i sistemi a doppio flusso con recupero di calore permettono di evitare la presenza di bocchette di ingresso aria in facciata.



PROVE DI LABORATORIO PER I PICCOLI ELEMENTI

Come per le pareti, anche la prestazione fonoisolante dei serramenti e dei piccoli elementi (cassonetti e bocchette di aerazione) può essere misurata in laboratorio secondo quanto prescritto nelle norme serie UNI EN ISO 10140. La procedura richiede di montare l'elemento tra due camere di prova, attivare una sorgente di rumore e rilevare il disturbo in ambiente emittente e ricevente.

Mentre per i serramenti viene determinato il parametro "indice di potere fonoisolante" (R_w), per i piccoli elementi il descrittore da inserire nei modelli di calcolo previsionale è "l'indice di isolamento acustico di piccoli elementi" (D_{new}). Alcuni produttori eseguono le misure di potere fonoisolante anche su interi sistemi monoblocco (serramento + cassonetto).

Per i serramenti il risultato della rilevazione riguarda il solo elemento testato, ma in alcuni casi può essere esteso a serramenti simili, di dimensioni diverse, seguendo le indicazioni dell'Appendice B della norma UNI EN 14351-1 (verificare versione 2016)

CORREZIONE ACUSTICA

Il suono prodotto all'interno di un ambiente chiuso arriva a un ascoltatore che si trova nello stesso ambiente sia per via diretta sia a seguito delle riflessioni sulle pareti. Le riflessioni, oltre ad aumentare il livello sonoro, provocano il fenomeno della **riverberazione** (detto anche "coda sonora"). Cioè il suono persiste per un certo tempo anche dopo che la sorgente ha smesso di emetterlo. Il tempo di riverberazione (T) di una stanza, è il tempo necessario affinché il suono decada di 60 dB. Come riportato nella tabella 1 il DPCM 5/12/1997 impone limiti da rispettare solo per aule scolastiche e palestre, mentre non vi sono prescrizioni per gli edifici residenziali.

Tabella 1 - Limiti per il tempo di riverberazione [DPCM 5/12/1997]

Categorie di ambienti abitativi	T [s] tempo di riverberazione
Aule scolastiche	≤ 1,2
Palestre scolastiche (qualora non debbano essere usate come auditorio)	≤ 2,2

Il tempo di riverberazione dipende dalla capacità di assorbimento delle superfici dell'ambiente e dalla frequenza, e individua la "qualità acustica" degli ambienti.

Se da un lato una coda sonora lunga può rappresentare un vantaggio in quanto aumenta l'intensità e rende naturale l'ascolto - si pensi ad esempio all'ascolto della musica degli organi nelle chiese - dall'altro può essere un fattore negativo poiché rende meno comprensibile il parlato (la fine di una parola si sovrappone con la successiva). In linea generale noi sentiamo un ambiente riverberante quando T è maggiore di 2 secondi e sordo (o asciutto) quando T è inferiore a 1 secondo. Il tempo di riverbero T può essere calcolato con la formula di Sabine:

$$T = 0,16 \frac{V}{A} \text{ nella quale } A = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot S_i$$

Dove:

V [mc] = volume dell'ambiente;

A = assorbimento globale dell'ambiente;

S_i [mq] = superficie i-esima;

α_i = coefficiente di assorbimento medio della i-esima superficie.

In funzione della destinazione d'uso, del volume dell'ambiente e dell'attività che si dovrà svolgere all'interno esistono dei valori ottimali di T_{ott} da confrontare con il valore misurato o calcolato.

Quando un ambiente già in opera è caratterizzato da una cattiva qualità acustica, ad esempio troppo riverberante con T maggiore rispetto al valore ottimale, è necessario aggiungere delle unità assorbenti in grado di dissipare parte dell'energia che li investe e che consentono di controllare riflessioni indesiderate e ridurre il livello di pressione sonora (vedi schema esemplificativo in figura 28). Si tratta di individuare i materiali caratterizzati da coefficienti di assorbimento opportuni che messi in quantità adeguata vadano a incrementare il denominatore della formula precedente portando il tempo di riverbero al valore ottimale.

Contribuiscono a correggere l'acustica interna (sull'argomento si veda anche lo "Speciale isolamento acustico dai rumori aerei" di *UP!* n. 24, dicembre 2017):

- i **"materiali fonoassorbenti"**: pannelli o elementi in materiale fibroso/poroso (ad esempio lane minerali, fibre di poliestere, controsoffitti fonoassorbenti, ecc.);
- i **risuonatori acustici**: elementi forati con intercapedine retrostante (ad esempio controsoffitti forati);
- i **pannelli vibranti**: lastre libere di vibrare e in grado di dissipare energia sonora (ad esempio pannelli in compensato, cartongesso, ecc.);
- gli **elementi di arredo o i rivestimenti** (ad esempio sedie imbottite e rivestite in stoffa, tende, tappeti, moquette, ecc.).

Come già accennato in precedenza anche le persone, con i loro vestiti, incidono sulla risposta acustica dell'ambiente.

I coefficienti di assorbimento acustico (α) dei materiali vengono determinati in laboratorio seguendo la procedura indicata nella norma UNI EN ISO 354. La misura consiste nel rilevare il tempo di riverbero, di una specifica camera di prova, prima e dopo aver installato il prodotto da testare. Dalla differenza delle misure si ricavano i coefficienti di assorbimento acustico. α è un numero che varia da 0 (materiale riflettente) a 1 (completamente assorbente) e nella norma UNI EN ISO 11654 viene classificato dalla lettera A (a cui corrispondono i valori migliori prossimi all'unità) fino alla E (a cui corrispondono i valori peggiori fino al minimo di 0,25). Per valori più bassi il materiale risulta non classificato.

A titolo di esempio si riportano in tabella 2 i valori dei coefficienti di assorbimento di alcuni materiali.

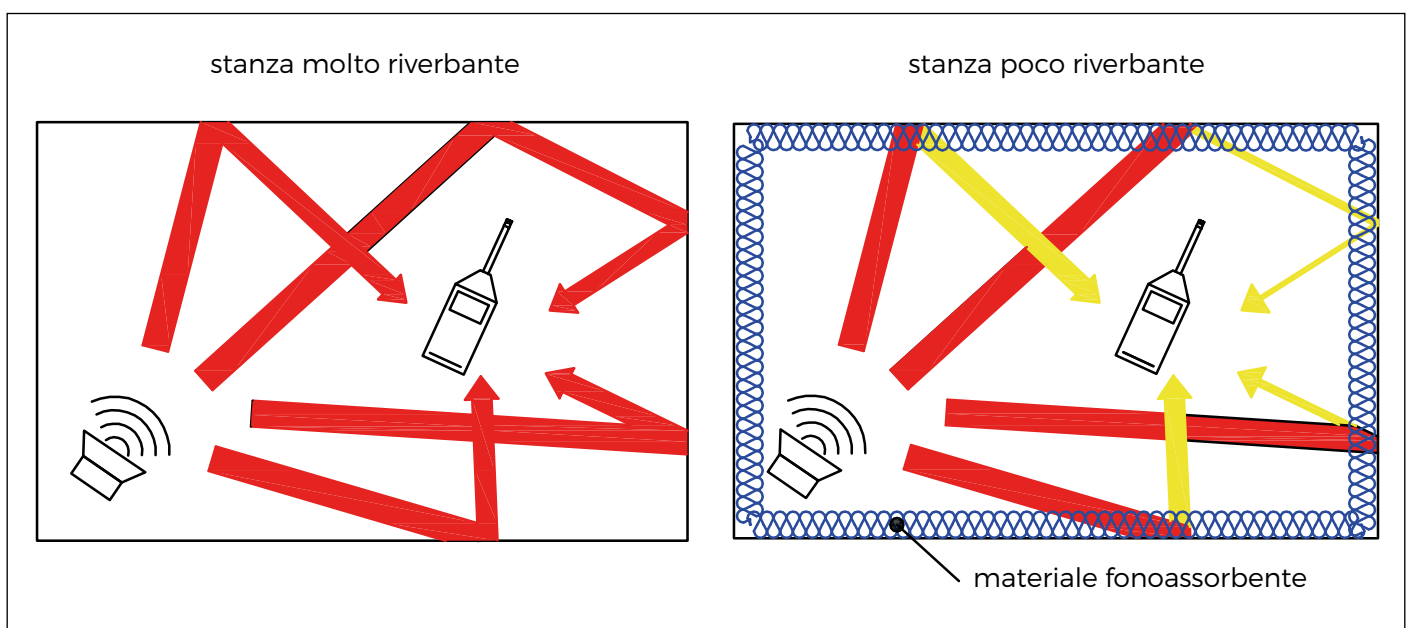


Figura 28 - Riduzione delle riflessioni sonore dovuta alla posa di materiali fonoassorbenti

Tabella 2 - Coefficienti di assorbimento acustico (valori indicativi)

Materiale	Spessore [mm]	Strato d'aria [mm]	Frequenze centrali delle bande di ottava [Hz]					
			125	250	500	1.000	2.000	4.000
Lana di vetro densità 16-24 kg/mc	25	0	0,10	0,30	0,60	0,70	0,80	0,85
	"	40	0,15	0,40	0,70	0,85	0,90	0,95
	"	100	0,22	0,57	0,83	0,82	0,90	0,90
	"	300	0,65	0,70	0,75	0,80	0,75	0,75
	50	0	0,20	0,65	0,90	0,85	0,80	0,85
	"	40	0,25	0,80	0,95	0,90	0,85	0,90
	"	100	0,45	0,97	0,99	0,85	0,80	0,92
	"	300	0,75	0,85	0,85	0,80	0,80	0,85
Lana di vetro densità 32-48 kg/mc	100	0	0,60	0,95	0,95	0,85	0,80	0,90
	25	0	0,12	0,30	0,65	0,80	0,85	0,85
	"	40	0,12	0,45	0,85	0,90	0,85	0,90
	"	100	0,25	0,70	0,90	0,85	0,85	0,90
	50	0	0,20	0,65	0,95	0,90	0,80	0,85
Lana di vetro densità 32-40 kg/mc rivestita con tessuto in fibra di vetro	"	40	0,28	0,90	0,95	0,87	0,85	0,94
	100	0	0,70	1,00	0,98	0,85	0,70	0,80
	"	40	0,78	1,00	0,99	0,94	0,90	0,90
Lana di roccia densità 40-140 kg/mc	"	100	0,80	1,00	0,99	0,93	0,84	0,84
	25	0	0,10	0,30	0,70	0,80	0,80	0,85
	"	40	0,20	0,65	0,90	0,85	0,80	0,80
	"	100	0,35	0,65	0,90	0,85	0,85	0,80
	"	300	0,65	0,85	0,85	0,80	0,80	0,85
	50	0	0,20	0,65	0,95	0,90	0,85	0,90
	"	40	0,35	0,85	0,95	0,90	0,85	0,85
	"	100	0,55	0,90	0,95	0,90	0,85	0,85
Poliuretano espanso	"	300	0,75	0,95	0,95	0,85	0,85	0,90
	20	0	0,07	0,20	0,40	0,55	0,70	0,70
Polistirolo espanso	"	40	0,10	0,25	0,60	0,90	0,80	0,85
	25	0	0,04	0,05	0,06	0,14	0,30	0,25



NOISE REDUCTION COEFFICIENT (NRC)

In alcune schede tecniche, data la variabilità del coefficiente di assorbimento alle varie frequenze, i produttori riportano l'**NRC (Noise Reduction Coefficient)** che dà un'indicazione del comportamento generale del materiale alle frequenze mediane:

$$NRC = \frac{\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1.000} + \alpha_{2.000}}{4}$$

Ogni prodotto è caratterizzato da specifiche prestazioni fonoassorbenti che variano in base alla frequenza considerata, alle caratteristiche del materiale e al suo posizionamento rispetto alla superficie trattata.

Generalmente l'assorbimento per una certa frequenza raggiunge i valori più alti quando il prodotto è posizionato a una distanza pari a $\lambda/4$ dalla superficie rivestita (vedi Figura 29).

Pertanto, ad esempio, un controsoffitto isolato con lana minerale ha prestazioni differenti se posizionato a contatto col solaio o distanziato con una intercapedine. Solitamente i produttori riportano

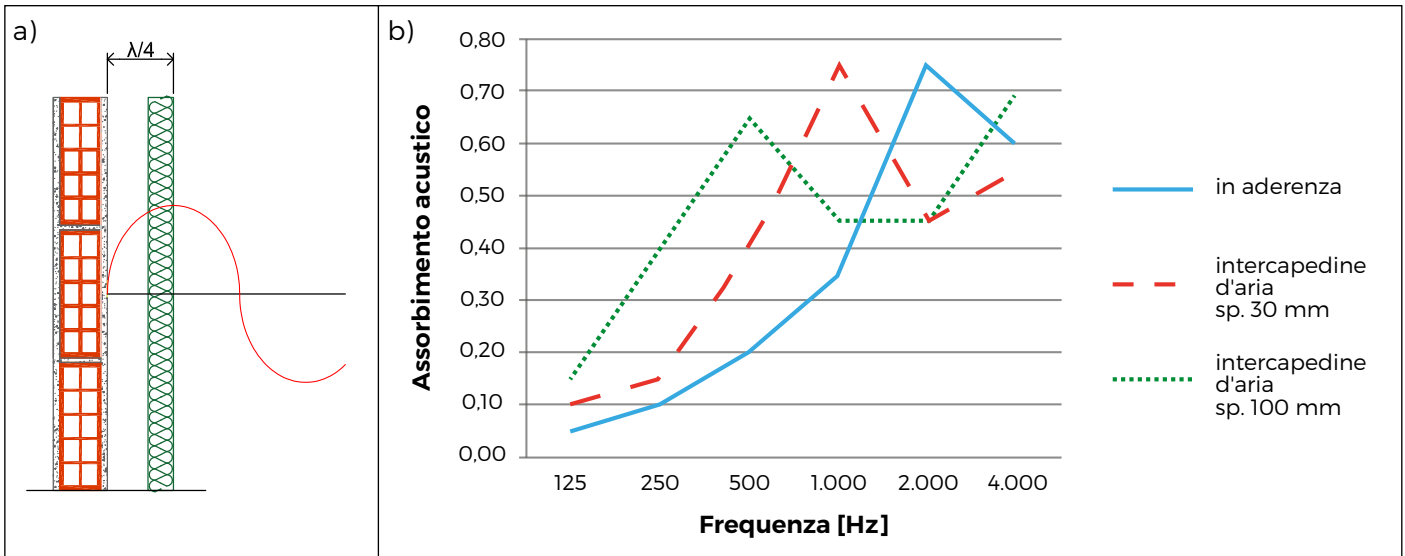


Figura 29 - a) Posizionamento ideale per il massimo assorbimento acustico a una distanza $\lambda/4$ dalla superficie. b) Coefficienti di assorbimento acustico di pannelli in lana di legno mineralizzata (sp. 15 mm) posizionati in 3 differenti configurazioni (in adherence, a 30 mm e a 100 mm dal solaio).

i coefficienti di assorbimento in funzione dello spessore di intercapedine calcolato come distanza della faccia a vista del pannello nell'ambiente interno fino alla parete da trattare.

Generalmente i materiali fonoassorbenti sono caratterizzati da buone prestazioni alle frequenze medio alte, i risonatori acustici vengono utilizzati per specifiche frequenze in funzione delle dimensioni dei fori mentre i pannelli vibranti vengono utilizzati per assorbire le frequenze medio basse (vedi Figura 30).

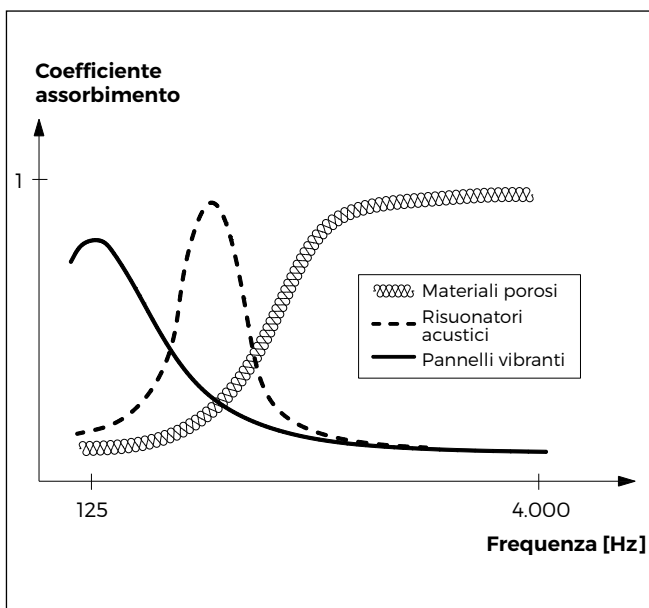


Figura 30 - Confronto tra i diversi sistemi di assorbimento acustico

POSIZIONAMENTO DEI MATERIALI PER LA CORREZIONE ACUSTICA

La scelta dipende da vari fattori, alcuni di carattere "acustico", altri riguardano invece aspetti puramente pratici.

Ad esempio, in una sala corsi è sconsigliato posizionare pannelli fonoassorbenti alle spalle del relatore (vedi Figura 31). La parete infatti contribuisce con la riflessione sonora a rinforzare il livello del parlato verso gli ascoltatori.

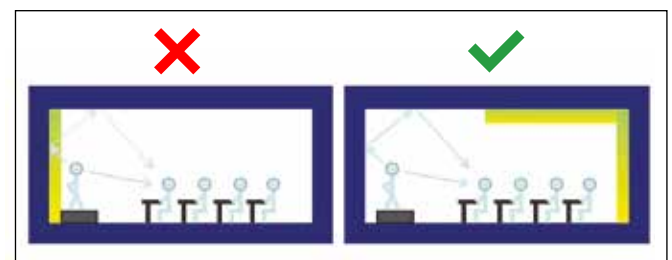


Figura 31 - Posizionamento materiali fonoassorbenti in una sala corsi: sbagliato a sinistra, corretto a destra.

In merito agli aspetti pratici, la scelta del posizionamento dei pannelli dipende in modo significativo da quali superfici si hanno concretamente a disposizione. Ad esempio in un'aula scolastica può essere opportuno intervenire a soffitto, per evitare che gli studenti possano urtare inavvertitamente tali materiali. Al contempo però, se l'ambiente ha già un'altezza netta pari ai limiti di legge e non è possibile realizzare un controsoffitto ribassato, diventerà necessario intervenire sulle pareti verticali mantenendoli a una altezza adeguata da terra.

In ordine di priorità le prime superfici da trattare sono la parete di fondo e la parte posteriore del soffitto, per poi intervenire sulla parte alta delle superfici laterali, sempre a partire dal fondo dell'aula. È buona prassi mantenere la parte centrale del soffitto acusticamente riflettente affinché si abbiano riflessioni del suono che incrementino il livello sonoro nelle posizioni più lontane. Così facendo parte dell'assorbimento acustico troverà spazio nella zona superiore delle pareti laterali (vedi figura 32b e 32c).

In caso di ampie pareti piane, parallele e riflettenti si possono generare echi ripetuti (*flutter echo*) che determinano una distorsione del timbro del suono rendendolo innaturale e incomprensibile. Per evitare tali riflessioni inopportune è consigliato

rivestire con materiali fonoassorbenti almeno una di due superfici contrapposte come mostrato in figura 33.

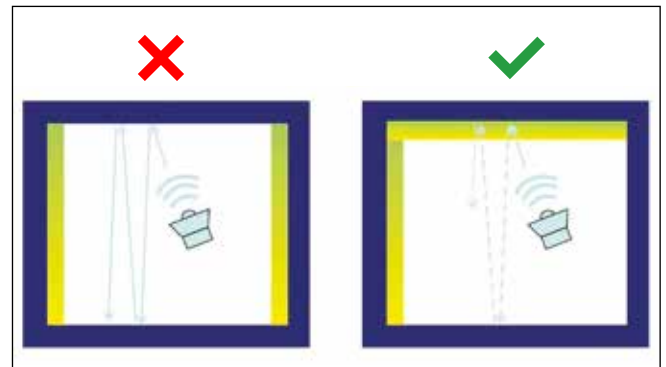


Figura 33 - Eliminazione del fenomeno del *flutter echo*: corretto posizionamento dei materiali fonoassorbimento a destra e errato a sinistra.

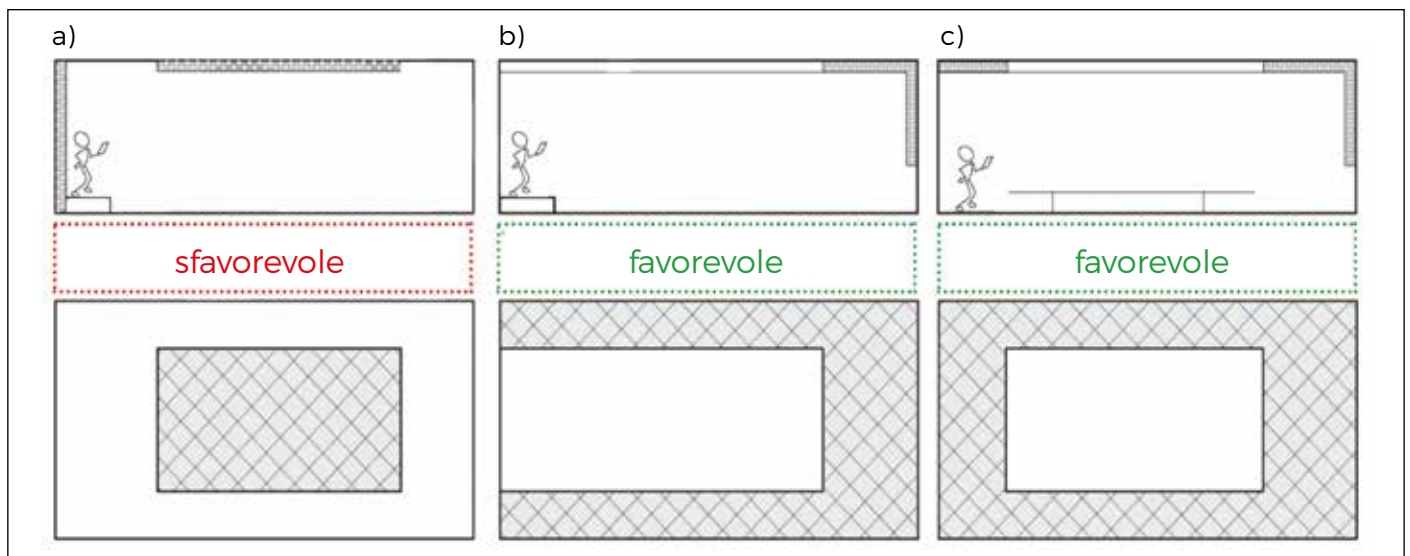


Figura 32 - Norma DIN 18041 "Disposizione di pannelli fonoassorbenti in aule di medie dimensioni" (sopra sezioni verticali; sotto viste dal basso della superficie del soffitto).



RISTORANTI E BAR: EFFETTO LOMBARD

La posa di materiali fonoassorbenti in un ristorante o in un bar particolarmente affollato, contribuisce a ridurre sensibilmente il livello di rumore nel locale. Gli avventori infatti, percependo un ambiente più ovattato, tendono naturalmente ad abbassare la voce. Il fenomeno è noto come "effetto Lombard".



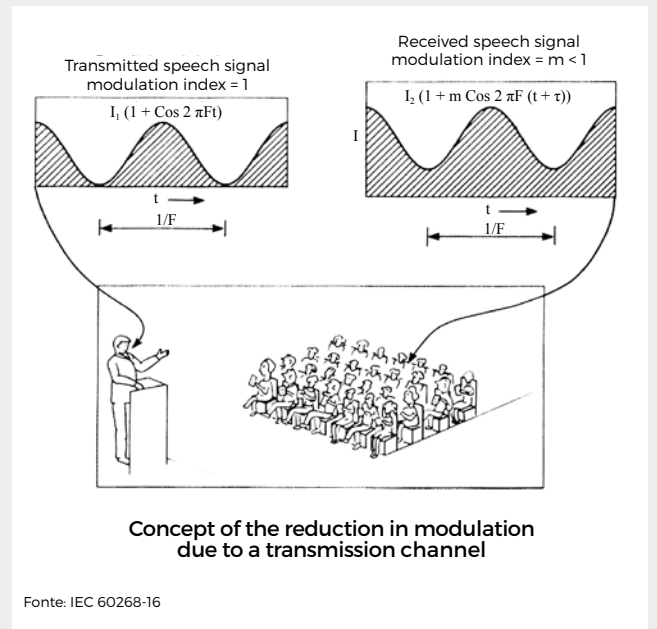


STI - SPEECH TRASMISSION INDEX

Il tempo di riverberazione (T) non è l'unico parametro che può definire la qualità acustica di un ambiente. Come detto a pagina 17 nel paragrafo "Appendici della norma UNI 11367", esistono vari descrittori quali l'indice di trasmissione del parlato "Speech Transmission Index (STI)", Chiarezza (C), Definizione (D), ecc.

La normativa italiana in particolare richiama lo STI in alcuni documenti. Tale parametro, definito nella IEC 60268-16, permette di valutare come viene percepito il discorso di un oratore dal pubblico presente in sala.

Lo STI dipende dal tempo di riverbero della stanza, dal livello di rumore di fondo nell'ambiente e, se presente, dalla tipologia di impianto di diffusione audio installato.



ISOLAMENTO AL CALPESTIO

SCELTE PROGETTUALI

I rumori da impatto si trasmettono dall'ambiente emittente all'ambiente ricevente per trasmissione rigida nelle strutture e le partizioni eccitate dalle vibrazioni generano il disturbo (vedi Figura 34a).

È possibile ridurre i rumori da calpestio inserendo nella stratigrafia del solaio uno strato "resiliente" in grado di limitare la trasmissione di vibrazioni, oppure realizzando nell'ambiente ricevente controsoffitti ed eventualmente anche contropareti come schematizzato in figura 34b e 34c. Le contropareti si rendono necessarie per la riduzione delle trasmissioni laterali.

Le soluzioni che prevedono l'inserimento nel solaio di un elemento in grado di ridurre la trasmissione di vibrazioni sono:

- massetto galleggiante (vedi Figura 35a);
- massetto a secco (vedi Figura 35b);
- materiale resiliente sottopavimento (vedi Figura 35c);
- pavimento resiliente tipo moquette, PVC, gomma, ecc. (vedi Figura 35d).

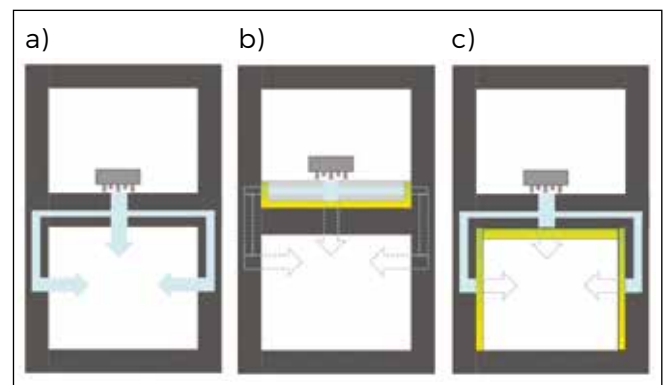


Figura 34 - a) Solaio non isolato; b) e c) rappresentazione grafica della modalità di riduzione del rumore in caso rispettivamente di uso di massetto galleggiante oppure di rivestimento con controsoffitto e controparete.

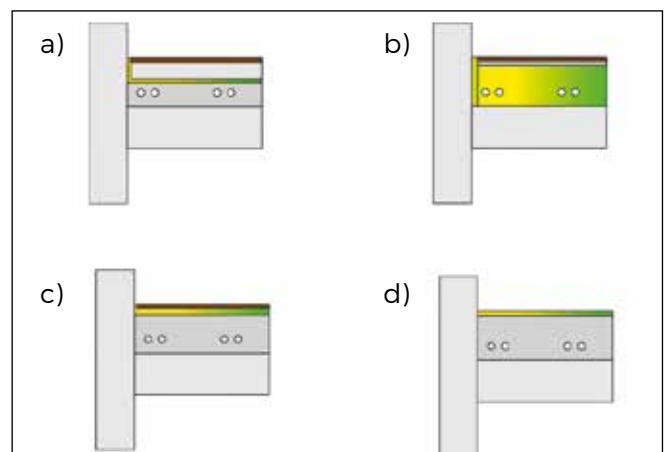


Figura 35 - Soluzioni per l'isolamento dei rumori da impatto

MASSETTO GALLEGGIANTE

Come rappresentato nella figura 36, la soluzione consiste nel realizzare una "vasca" di materiale elastico resiliente che contenga sia il massetto sia la pavimentazione tale da ridurre le trasmissioni di vibrazioni e rumori.

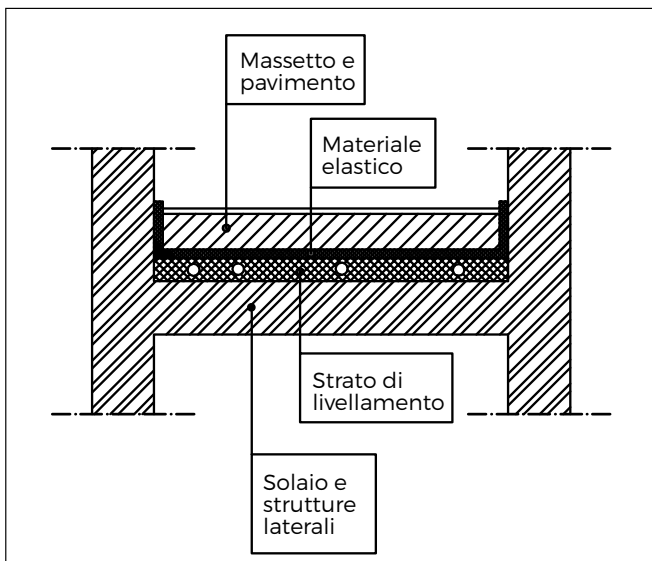


Figura 36 - Stratigrafia del massetto galleggiante

Il sistema è composto generalmente da uno strato continuo di materiale a pavimento e da fasce verticali poste lungo il perimetro della stanza. Il materiale a pavimento deve essere caratterizzato da specifiche prestazioni elastiche per sopportare il carico del massetto e garantire ridotte deformazioni ed efficacia nel tempo.

I materiali da posare "a pavimento", di cui immagini illustrative in figura 37, possono essere commercializzati come:

- rotoli o materassini;
- pannelli;
- materiali spruzzati in opera.

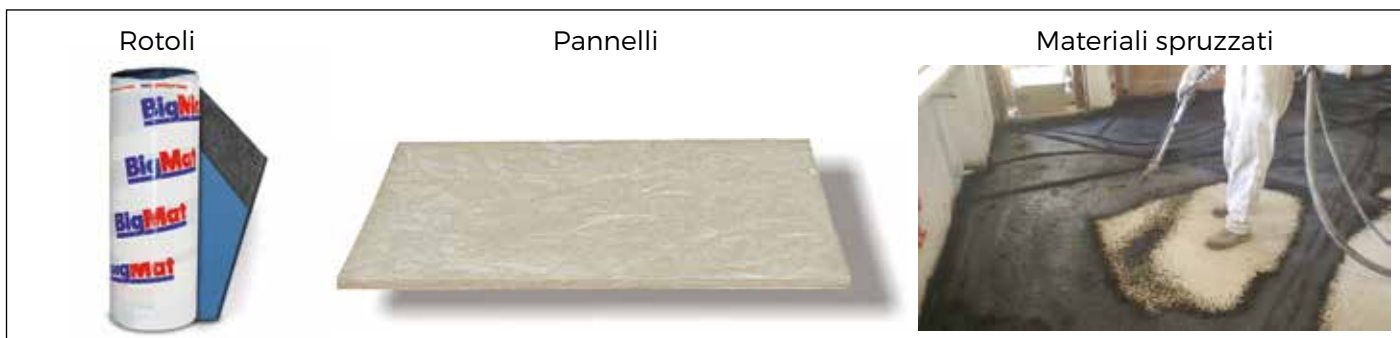


Figura 37 - Esempi di materiali resilienti

Esistono sul mercato svariati tipo di prodotti di cui di seguito citiamo alcune tipologie.

Materiali in rotoli:

- materassini in polietilene o polietilene accoppiato a feltro;
- guaine bituminose accoppiate a feltri;
- gomma riciclata;
- materassini a base lattice.

Pannelli in:

- lana minerale;
- polistirene elasticizzato (EPS elasticizzato e EPS T);
- sughero;
- lana di legno mineralizzata.

Materiali spruzzati:

- granuli in gomma premiscelati da spruzzare in opera.

Le fasce perimetrali invece hanno lo scopo principale di separare fisicamente massetto e pavimento dalle strutture verticali. Tra i prodotti più commercializzati vi sono elementi in polietilene a forma di "L" e adesivizzati che si collegano a pavimento e a parete (vedi Figura 38).



Figura 38 - Fascia perimetrale adesiva a "L"

Indicazioni di posa

Il massetto galleggiante è un sistema concettualmente molto semplice ma la sua realizzazione pratica richiede determinati accorgimenti da seguire con cura. Piccoli errori di posa possono infatti ridurre drasticamente l'efficacia del sistema. Diseguitosi riportano alcune considerazioni mentre si ricorda che sul tema è stata pubblicata la norma UNI 11516 "Indicazioni di posa in opera dei sistemi di pavimentazione galleggiante per l'isolamento acustico".

• Piano di posa

Prima della posa di materiali in rotoli e pannelli è necessario verificare che il piano di supporto sia **piano e privo di qualsiasi asperità**.

• Posa del materassino

Successivamente occorrerà posare il materiale a pavimento di modo che sia continuo, privo di rotture e lacerazioni.

Tutti i teli dovranno essere collegati tra loro (vedi Figura 39) in modo da evitare che, durante il getto del massetto, eventuali infiltrazioni di calcestruzzo entrino in contatto con lo strato di livellamento impianti creando un ponte acustico.

Tra le tecniche di collegamento i prodotti possono essere sormontati e/o nastrati tra loro.

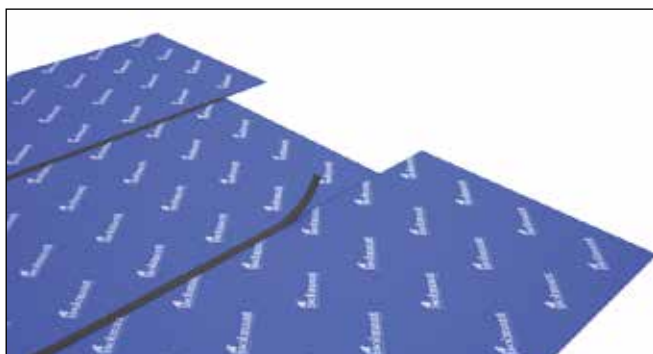


Figura 39 - Corretta posa del materassino anticalpestio

Alcuni materiali sono dotati di battentatura con nastratura adesiva (vedi Figura 40) per facilitare le operazioni di sormonto e sigillatura dei teli.

Attenzione! Alcuni materiali **hanno un verso di posa che deve essere rispettato in cantiere** come schematizzato in figura 41. Ad esempio i materassini costituiti dall'accoppiamento di vari materiali tra cui strati fibrosi o porosi se montati al contrario si impregnano a seguito del getto del massetto e la loro efficacia risulta compromessa.

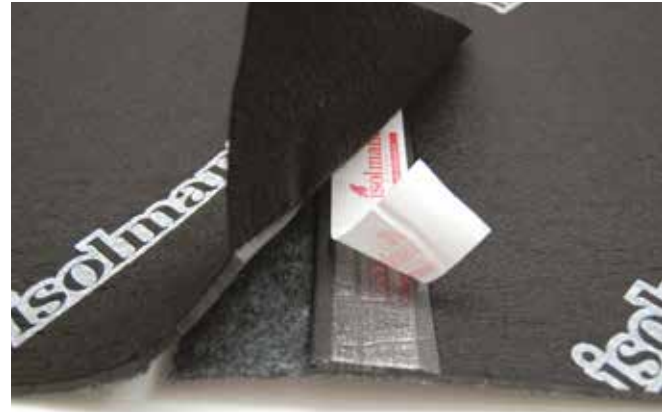


Figura 40 - Battentatura e nastratura adesiva per una posa semplificata e rapida

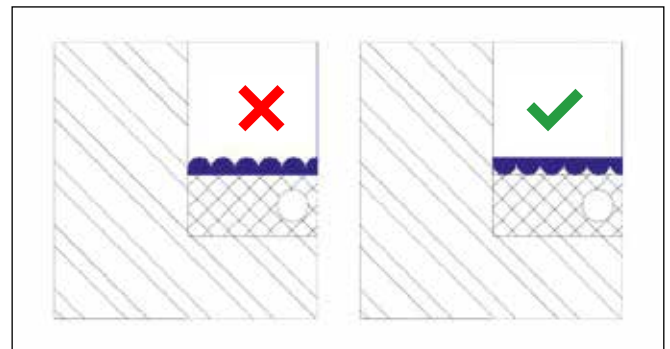


Figura 41 - Verso di posa del materassino anticalpestio



SUGGERIMENTI UTILI PER LA SCELTA E POSA DEL MATERASSINO

- Utilizzare materiali resistenti alle operazioni di cantiere (resistenti al punzonamento e alla lacerazione) e che semplifichino le operazioni di posa. Non si deve infatti trascurare il fatto che sul materassino anticalpestio c'è il camminamento continuo di personale addetto ai lavori, macchinari e vi è rischio caduta oggetti.
- Verificare se il materiale resiliente deve essere rivestito con fogli di polietilene o cartonfeltro prima del getto del massetto (ad esempio in caso di isolamento con pannelli in lana minerale).
- Il materiale resiliente svolge la sua funzione in base al carico soprastante. Verificare quindi che il massetto abbia la densità, spessore e peso prescritti nella relazione acustica.

• Posa della fascia perimetrale

La fascia perimetrale deve essere continua lungo tutto il perimetro dell'unità immobiliare anche in corrispondenza delle porte di ingresso principale, dei vari ambienti e delle portefinestre (vedi figura 42). Particolare attenzione va posta in corrispondenza degli angoli e spigoli al fine di evitare rotture in fase di getto del massetto.

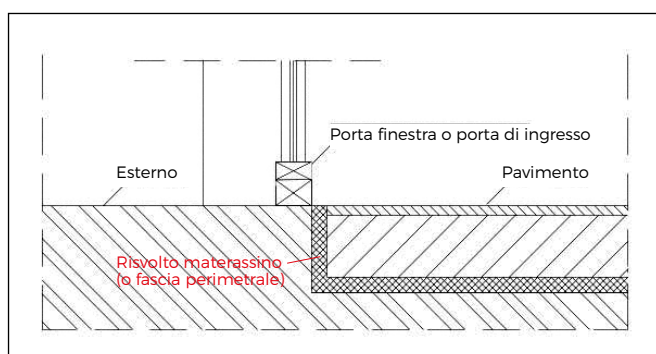


Figura 42 - Risolto del materassino in verticale o posa della fascia perimetrale in corrispondenza delle soglie di ingresso dei balconi o delle porte.

Pertanto dovrà risultare ben collegata al materiale a pavimento, come mostrato a titolo esemplificativo in figura 43, e non dovrà presentare discontinuità o rotture (per evitare che il massetto possa entrare in contatto con le altre strutture).



Figura 43 - Particolare del corretto collegamento fascia perimetrale-materassino anticalpestio; la nastratura deve essere sempre continua.

Di fondamentale importanza è l'altezza della fascia: deve essere sempre più alta dello spessore di massetto e pavimentazione di almeno 3 - 5 cm (per evitare il contatto del pavimento con le pareti). Una volta stagionato il massetto di finitura è indispensabile rendere noto a tutti gli operatori del cantiere che **l'eccedenza di fascia perimetrale** (o di risvolto a parete del materassino acustico) **va rifilata solo al termine della posa e stuccatura**

della pavimentazione (vedi Figura 44). Se infatti tale operazione viene effettuata prima della posa della finitura superficiale, il contatto diretto del pavimento con le pareti, oltre a costituire un ponte acustico, ostacola il "galleggiamento" del massetto sul materassino elastico provocando una perdita di isolamento di alcuni decibel.



Figura 44 - Rifilatura della eccedenza della fascia perimetrale al termine della posa e stuccatura della pavimentazione

• Posa del massetto

La stesura del massetto di finitura andrà realizzata nel verso di sovrapposizione dei teli, altrimenti si corre il rischio di infilare materiale cementizio al di sotto dello strato isolante come indicato in figura 45. Altrettanta attenzione andrà posta nel non inserire la malta del massetto nelle zone in cui la fascia si fosse malauguratamente staccata dalla parete (specie negli angoli). La fase di addensamento dell'impasto va effettuata con molta cura specialmente negli angoli e vicino alle pareti onde evitare in fase di stagionatura lesioni e disgregamenti del massetto.

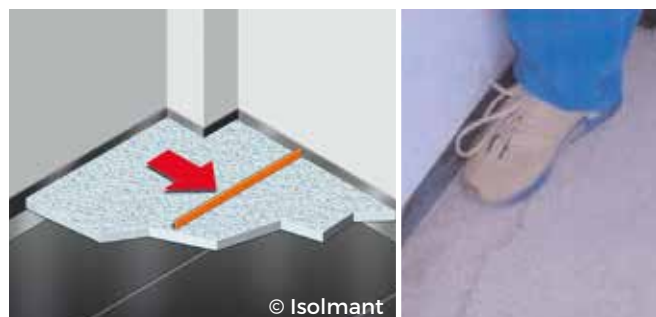


Figura 45 - A sinistra verso di stesura del massetto di finitura secondo il verso di sovrapposizione dei teli anticalpestio; a destra addensamento del massetto in corrispondenza degli angoli.

• Posa del battiscopa

Anche la posa del battiscopa deve essere realizzata con attenzione al funzionamento acustico del sistema. Sia gli zoccolini perimetrali sia le piastrelle di rivestimento delle pareti, comprese quelle dei bagni e delle cucine, dovranno essere distaccate di

qualche millimetro dal rivestimento a pavimento in modo da evitare la formazione di collegamenti rigidi tra pavimentazione e pareti laterali.

Si consiglia di sigillare il battiscopa con materiali elastici posizionando lungo il perimetro, durante la posa del rivestimento, un elemento distanziatore (ad esempio squadretta metallica, elemento in PVC, ecc.) che verrà successivamente rimosso per sigillare poi la fessura con materiali tipo silicone o stucco elastico, ecc. come mostrato in figura 46.



Figura 46 - Particolare del distacco del battiscopa dal pavimento attraverso cunei distanziatori e successiva sigillatura elastica con silicone.

Nel caso in cui il battiscopa o il rivestimento ceramico vengano erroneamente maltati al pavimento (come mostrato nella figura 47) si osserva una drastica riduzione delle prestazioni di isolamento al calpestio.

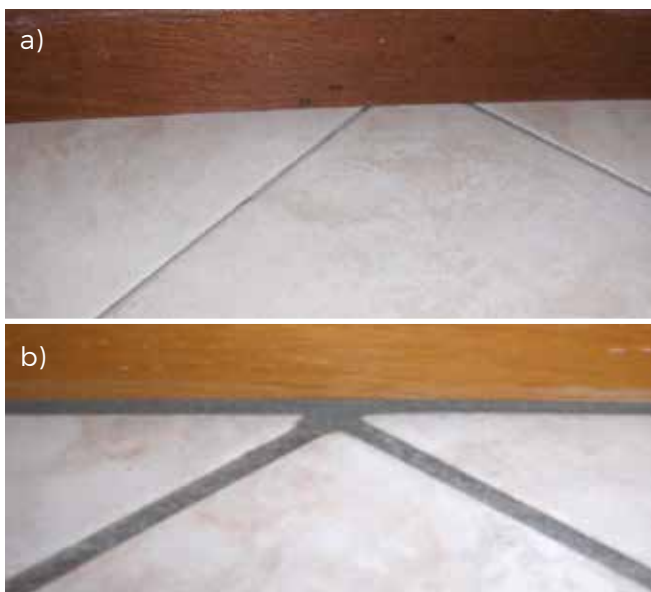


Figura 47 - a) La posa errata dello zoccolino in legno causa una perdita fino a 3 - 4 dB; se poi viene sigillato con malta (b) le perdite possono assumere valori maggiori.

MASSETTO MONOSTRATO

Nel caso in cui non sia possibile realizzare un sottofondo bistrato, si procede alla realizzazione del massetto monostrato ossia alla stesura del massiccino a diretto contatto con il solaio e al successivo getto del massetto di finitura come rappresentato in figura 48.

La posa a diretto contatto con il solaio strutturale determina però alcune criticità:

- vi è il rischio di danneggiare il materiale resiliente durante le operazioni di posa degli impianti;
- dove gli impianti risalgono a parete viene forata la banda di isolamento perimetrale;
- gli attraversamenti impiantistici da massetto a parete possono introdurre dei ponti acustici.

Nel caso si debba adottare comunque questa soluzione si raccomanda quindi di:

- utilizzare materiali resilienti caratterizzati da adeguata resistenza alla lacerazione;
- ripristinare la banda perimetrale in corrispondenza dei passaggi impiantistici;
- rivestire con materiale elastico le tubazioni nel tratto di attraversamento.

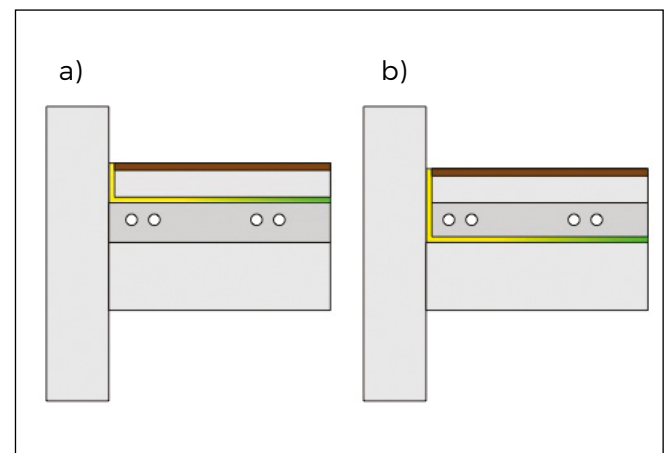


Figura 48 - a) Rappresentazione di massetto "bi-strato"; b) Massetto "mono-strato".

MASSETTO RADIANTE

In caso di pavimento radiante l'isolamento al calpestio può essere ottenuto utilizzando un pannello isolante termico in grado di limitare la trasmissione di vibrazioni (ad esempio pannelli in lana minerale o EPS elasticizzato) oppure posando un materiale resiliente al di sotto del pannello isolante termico.

Un'unica fascia perimetrale, posata in modo corretto, permetterà sia di limitare la trasmissione di vibrazioni sia di contenere le dilatazioni termiche del massetto (vedi Figura 49).

Anche in questo caso sono opportune alcune raccomandazioni:

- **desolidarizzare le scatole che contengono i collettori dalle pareti** retrostanti ricoprendole con uno strato di materiale elastico e fissandole a parete con tasselli in gomma (vedi Figura 50);
- **ricoprire i tubi del riscaldamento con guaine in materiale elastico** laddove i tubi dovessero forare il risvolto a parete del materiale resiliente;
- **collegare i tubi di risalita a parete con le pareti retrostanti con collari in gomma** (non con collari rigidi).

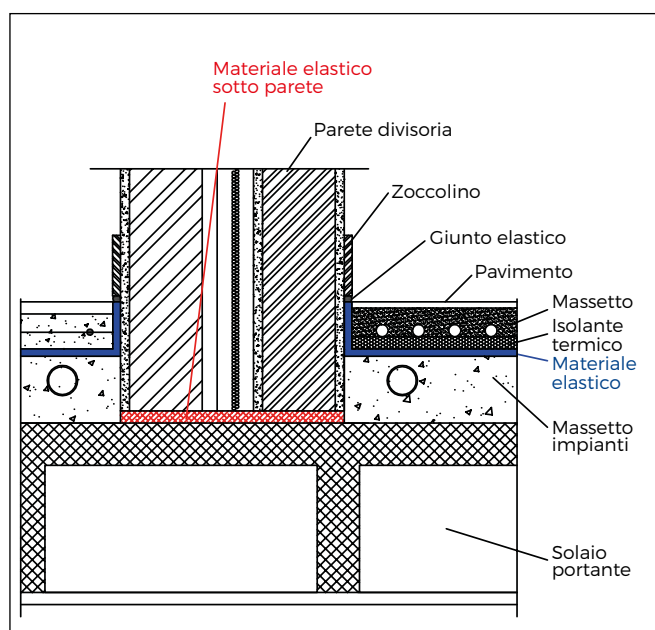


Figura 49 - Stratigrafia e dettaglio nodo parete solaio in caso di massetto radiante

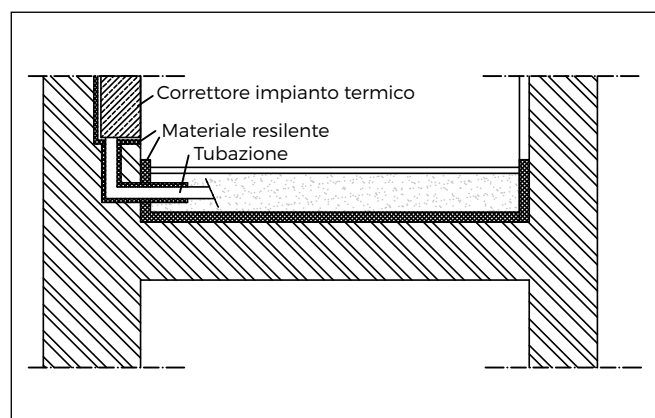


Figura 50 - Desolidarizzazione collettore impianto termico

MASSETTO A SECCO

La tecnologia, vedi figura 51, consiste nel posare uno strato di materiale in grado di dissipare le vibrazioni, ad esempio pannelli in materiale fibroso ad alta densità o materiale granulare sfuso (argilla espansa o perlite), e, al di sopra di questo, lastre con funzione di supporto della pavimentazione. Esistono in commercio differenti tipologie di lastre (gessofibra, gesso rivestito per sottofondi a secco, cemento fibrorinforzato, ecc.).

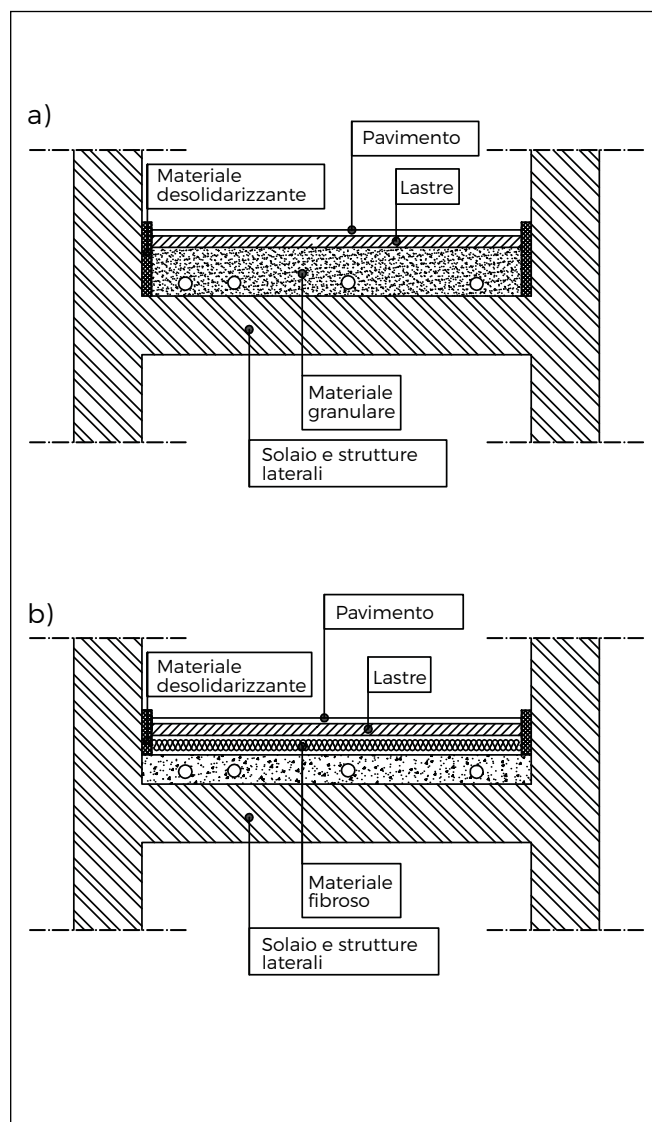


Figura 51 - Schema dei massetti a secco: a) con sottofondo in materiale granulare sfuso; b) con pannello isolante.

Come per i massetti galleggianti anche in questo caso occorre realizzare la completa desolidarizzazione del pavimento e delle lastre dalle strutture al contorno.

Rispetto ai massetti questo sistema ha una maggiore velocità di posa in opera.

MATERIALE RESILIENTE SOTTOPAVIMENTO

È possibile isolare dai rumori da impatto posizionando il materiale elastico direttamente al di sotto del pavimento (vedi Figura 52).

Questa tipologia di intervento può risultare particolarmente utile in caso di interventi di ristrutturazione e permette di migliorare le prestazioni di isolamento ai rumori di calpestio di un solaio esistente.

Anche in questo caso il sistema è efficace se il rivestimento è completamente svincolato dalle strutture laterali. Valgono pertanto in generale le considerazioni riportate per i massetti galleggianti.

Come indicazione generale i prodotti sotto-parquet possono essere posati a secco, quelli sotto-piastrella richiedono di essere incollati; tuttavia, si consiglia di seguire le indicazioni fornite dal produttore.

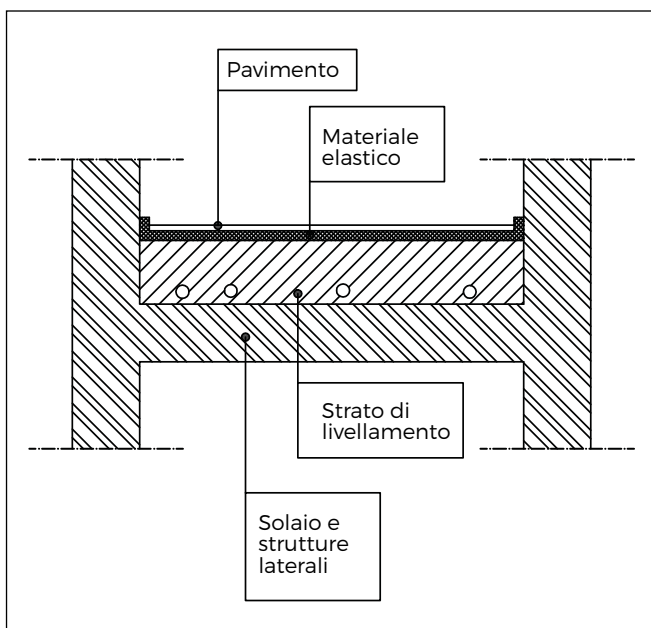


Figura 52 - Schema isolamento con materiale resiliente sottopavimento

PAVIMENTO RESILIENTE

La soluzione consiste nel posare al di sopra del massetto di finitura, o dello strato di pavimento esistente, un **elemento resiliente** in grado di attutire la trasmissione di vibrazioni e rumori di cui degli esempi nelle figure 53 e 54.

Riportiamo un elenco, non esaustivo, di prodotti in commercio:

- moquette;
- doghe modulari da posare a secco mediante sistemi a incastro o da incollare al fondo esistente;
- teli in PVC da posare a secco o da incollare;
- piastre da posare a secco o da incollare;
- pavimenti in gomma;
- pavimenti in sughero.

I materiali sono caratterizzati da differenti finiture superficiali e possono essere utilizzati in vari contesti: residenze, uffici, alberghi, ospedali, ambienti commerciali, ecc.



Figura 53 - Rivestimenti in piastre



Figura 54 - Rivestimenti in doghe



COME SCEGLIERE IL SOTTOPAVIMENTO GIUSTO

Attenzione! I prodotti sottopavimento hanno caratteristiche tecniche diverse rispetto a quelli utilizzati per i massetti galleggianti. Sono infatti meno “cedevoli” per evitare la formazione di crepe o disconnessioni sul rivestimento (sulla pavimentazione). Esistono inoltre prodotti specifici da utilizzare sotto-parquet e sotto-piastrella.





INDIVIDUARE LA SOLUZIONE PIÙ ADEGUATA

Le prestazioni anticalpestio di alcuni prodotti (doghe, piastre, ecc.) possono essere migliorate posando, al di sotto degli stessi, uno strato resiliente aggiuntivo. **Non tutti i materiali elastici sono però adatti allo scopo!** La scelta dipende dalla tipologia di sistema di rivestimento a pavimento e dalla destinazione d'uso dell'ambiente. Occorre infatti considerare, oltre alle prestazioni acustiche, anche le **caratteristiche meccaniche** del sistema ed evitare che la posa del "materassino acustico" possa comportare la deformazione del rivestimento o il distacco dello stesso.



ISOLAMENTO ACUSTICO DEL VANO SCALA

Anche le scale possono essere un veicolo per il passaggio del rumore. È possibile ridurre i rumori di calpestio provenienti dalle scale desolidarizzando la struttura dalle pareti o posizionando del materiale resiliente sui gradini.

Nel primo caso esistono in commercio sistemi specifici che permettono di scollegare la scala dalla struttura dell'edificio grazie ad appositi supporti antivibranti (vedi Figura 55).

I materiali da posare sui gradini invece possono essere o dei "rivestimenti elastici" (ad esempio moquette o linoleum), oppure prodotti resilienti da inserire al di sotto del rivestimento (materiali in rotoli o posati a spruzzo) come riportato in figura 56.



Figura 56 - Schema di realizzazione dei "gradini galleggianti" con inserimento del materiale resiliente e della fascia laterale che svincola la struttura delle scale dalla partizione portante.

LEGENDA ELEMENTI DI CONNESSIONE

- a) Raccordo tra rampa delle scale e pianerottolo con mensola d'appoggio.
- b) Raccordo tra rampa delle scale e pianerottolo con profilo diritto del giunto.
- c) Raccordo tra rampa delle scale e piano di partenza.
- d) Giunto tra la scala e la parete.
- e) Raccordo tra la rampa della scala a chiocciola e la parete.
- f) Raccordo tra pianerottolo e parete del vano scala.

© Schöck Tronsole

Figura 55 - Tecniche di isolamento delle rampe delle scale [immagini tratte da UNI EN ISO 12354-2].

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI RESILIENTI

RIGIDITÀ DINAMICA REALE E APPARENTE

Come accennato nel capitolo precedente (vedi pagina 30) la prestazione anticalpestio viene valutata attraverso la misura in laboratorio del parametro ΔL_w (UNI EN ISO 10140) o della rigidità dinamica del materiale resiliente (UNI EN 29052-1). Precisiamo che la norma UNI EN 29052-1 spiega come misurare la rigidità dinamica apparente (s'_t) del materiale testato.

Da questa bisogna ricavare la rigidità dinamica reale (s') che è il parametro richiesto dalla norma di progettazione UNI EN ISO 12354-2 per il calcolo dell'abbattimento acustico al calpestio ΔL_w .

Per i materiali a celle chiuse, praticamente impermeabili al passaggio dell'aria e caratterizzati da una elevata resistenza al flusso d'aria, la rigidità dinamica apparente coincide con quella reale, mentre per i materiali fibrosi, porosi a celle aperte, occorre prendere in considerazione la rigidità dinamica dell'aria (s'_a) come mostrato in tabella 3.

Tabella 3 - Rigidità dinamica di calcolo

Resistenza al flusso d'aria (r)	Rigidità dinamica di calcolo (s')
$r < 10 \text{ kPas/mq}$	$s' = s'_t$
$r \geq 100 \text{ kPas/mq}$	
$10 \text{ kPas/mq} \leq r < 100 \text{ kPas/mq}$	$s' = s'_t + s'_a$

COMPORTEMENTO A COMPRESSIONE

Se il materiale anticalpestio si schiaccia troppo sotto il peso del massetto e dei sovraccarichi previsti non è più in grado di svolgere le funzioni isolanti.

Per determinare l'entità della deformazione sotto carico si può fare riferimento a due parametri utili: la "comprimibilità" e lo "scorrimento viscoso a compressione".

La **comprimibilità (c)**, espressa in mm, secondo la UNI EN 12431, viene determinata come differenza tra spessore iniziale e spessore finale dopo aver sottoposto il materiale a cicli di carico (50 kPa) e scarico (2 kPa) a intervalli di tempo stabiliti. Affinché un materiale rientri in un specifico "livello di comprimibilità (CP)", nessun risultato di prova deve essere maggiore a determinati valori (vedi tabella 4).

Tabella 4 - Indicazione del livello di comprimibilità

Livello	Carico imposto sul rivestimento [kPa]	Riduzione di spessore [mm oppure % in relazione alla norma di prodotto]	Tolleranze [mm oppure %]
CP5	≤ 2	≤ 5	In relazione alla norma di prodotto
CP4	≤ 3	≤ 4	
CP3	≤ 4	≤ 3	
CP2	≤ 5	≤ 2	



COME SCEGLIERE GLI ISOLANTI A CALPESTIO?

Nella scelta dei materiali resilienti vanno tenute in considerazione alcune caratteristiche trovandone il giusto compromesso:

- **rigidità dinamica [MN/mc]: valori inferiori individuano prestazioni migliori - norma UNI EN 29052** indica la rigidità di un materiale posto sotto carico dinamico;
- **comprimibilità [mm oppure %]: valori inferiori individuano prestazioni migliori - norma UNI EN 12431** indica la differenza di spessore che un materiale ha tra l'inizio e la fine di un ciclo di carichi statici, indice del comportamento nel tempo del materiale;
- **creep a compressione [mm]: valori inferiori individuano prestazioni migliori - norma UNI EN 1606** indica la deformazione dovuta a un determinato carico per un lungo tempo;
- **resistività al flusso d'aria [kPa·s/mq] - norma UNI EN 29053** per materiali porosi a cellule aperte valuta l'influenza dell'aria per l'elasticità e la dissipazione dell'energia.

Allo stato attuale la misura della comprimibilità viene eseguita principalmente per determinare quali carichi può sopportare il materiale anticallpestio, per evitare rotture o fessurazioni di massetti e pavimentazioni.

La prova a **scorrimento viscoso a compressione (creep)** secondo la UNI EN 1606 determina la riduzione di spessore dopo l'applicazione di un carico costante di 2 kPa (ovvero 200 kg/mq) per un lungo periodo (almeno 90 gg). Successivamente tramite una equazione matematica viene calcolato lo spessore a 10 anni o a 50 anni.

Materiali caratterizzati da basse deformazioni a lungo termine ragionevolmente non perderanno la prestazione anticallpestio nel tempo e non determineranno la formazione di crepe o fessure nella pavimentazione.

RUMORI DA IMPIANTI

Per minimizzare il disturbo generato dagli impianti è opportuno intervenire sulla sorgente e sui percorsi di propagazione di rumore e vibrazioni. Di seguito alcune considerazioni.

SCARICHI DEI WC

Gli scarichi dei bagni sono una delle principali fonti di disturbo negli edifici. L'acqua che scroscia

nel canale genera rumore aereo e vibrazioni che si propagano agli ambienti vicini.

I produttori di tubazioni silenziate indicano tutti gli accorgimenti di corretta posa in opera dei loro prodotti.

Di seguito si propongono alcune indicazioni di carattere generale rappresentate in figura 57:

- utilizzare tubazioni di tipo silenziate (ad esempio prodotti stratificati o di massa elevata);
- rivestire i tubi non silenziate con prodotti fonoisolanti a elevata massa;
- inserire le tubazioni in appositi cavedi impiantistici;
- inserire nei cavedi del materiale fonoassorbente; fasciare i canali con materiale elastico (ad esempio "calze" in polietilene) laddove il tubo può entrare in contatto con le strutture edilizie (attraversamenti a parete o solaio);
- utilizzare collari di tipo silenziate.

Si consiglia inoltre quanto segue:

- laddove si presentano cambi di direzione a 90°, raccordare i tubi con due curve a 45° e un tubo intermedio della lunghezza di 250 mm;
- nella posa in opera dei sanitari (vasche, vasi, lavabi e piatti doccia) prevedere l'interposizione di uno strato di materiale resiliente tra l'apparecchio sanitario e la struttura muraria.

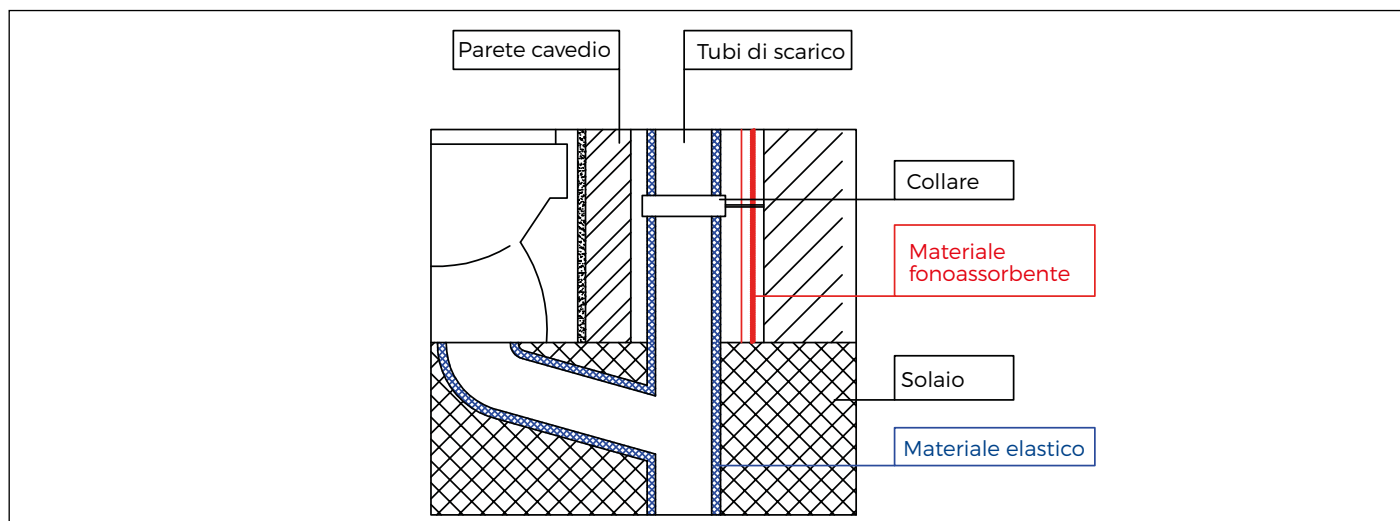


Figura 57 - Indicazioni per l'isolamento acustico degli scarichi

ISOLAMENTO DALLE VIBRAZIONI

Le macchine che costituiscono gli impianti (UTA - Unità Trattamento Aria: caldaie, motori, ecc.) possono generare vibrazioni che si propagano nell'edificio.

Per limitare il problema la prima indicazione consiste, banalmente, nel posizionare le macchine il più lontano possibile rispetto agli ambienti abitativi. Inoltre è sempre opportuno desolidarizzare gli impianti dalle strutture murarie come da schema riportato in figura 58.

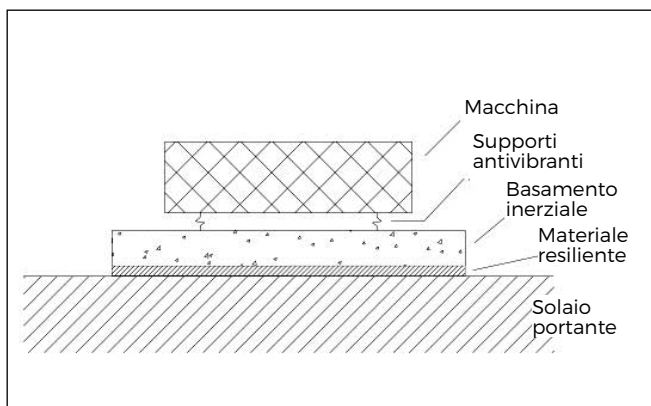


Figura 58 - Accorgimenti per ridurre le vibrazioni e i rumori prodotti dai macchinari

Tra le soluzioni possibili vi sono:

- posa su supporti antivibranti (molle, gomma, ecc.);
- posa dell'impianto su basamento inerziale svincolato dalle strutture edili;
- desolidarizzazione della macchina dai canali.

La scelta del tipo di supporto antivibrante dipende dalle caratteristiche della macchina (peso, velocità di rotazione dei motori, ecc.). In generale si consiglia di seguire le indicazioni dei produttori delle macchine stesse.

REQUISITI ACUSTICI E IMPATTO ACUSTICO PER GLI IMPIANTI

In questo manuale tecnico si è parlato principalmente del rispetto dei requisiti acustici passivi imposti dal DPCM 5/12/1997, che riguardano il rumore percepito negli ambienti serviti dagli impianti. Non bisogna però dimenticare che in alcuni casi le macchine possono causare disturbo anche agli edifici vicini. Occorre quindi affiancare alle analisi sui requisiti acustici anche valutazioni di impatto acustico e studiare eventuali sistemi di mitigazione dei rumori, come mostrato nella immagine di destra con l'elemento rosso.



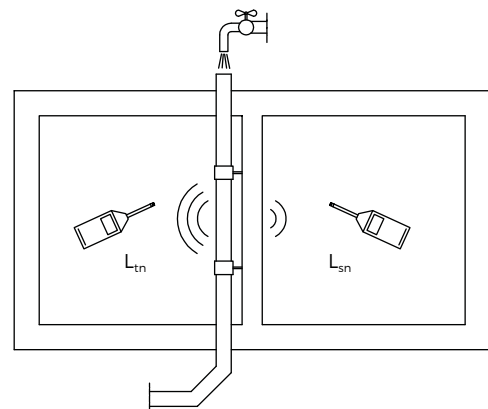
MISURA IN LABORATORIO DEL RUMORE DEI CANALI DI SCARICO

I produttori di canali di scarico possono testare in laboratorio la prestazione acustica dei loro sistemi.

Il riferimento è la norma UNI EN 14366 che richiede di montare i tubi e collari di collegamento in una apposita camera di laboratorio e nel far fluire differenti portate d'acqua. Per ogni portata vengono rilevati i livelli di pressione sonora nella camera dove è installato il sistema (L'_s) e nell'ambiente al di là della parete su cui è montato l'impianto (L'_s). Le misure vengono poi corrette in base al rumore di fondo e al tempo di riverberazione degli ambienti (L_{tn} , L_{sn}).

Gli ambienti di misura devono possedere specifiche caratteristiche e la parete divisoria deve avere

una massa superficiale di $200 (\pm 50)$ kg/mq. I risultati delle rilevazioni non rappresentano di fatto una situazione riscontrabile in cantiere, ma possono essere utilizzati per porre a confronto le prestazioni di differenti prodotti, testati nel medesimo contesto.



BIBLIOGRAFIA

“L'ISOLAMENTO TERMICO E ACUSTICO - VOL. 3 MANUALE DI ACUSTICA EDILIZIA”

a cura di S. Mammi, M. Borghi, S. Benedetti; Collana ANIT, 2013.

“L'ISOLAMENTO TERMICO E ACUSTICO - VOL. 6 CLASSIFICAZIONE ACUSTICA DELLE UNITÀ IMMOBILIARI”

a cura di M. Borghi, S. Benedetti; Collana ANIT, 2012.

“MANUALE DI ACUSTICA APPLICATA”

a cura di R. Spagnolo; UTET, 2006.

“MANUALE DI ACUSTICA - CONCETTI FONDAMENTALI ACUSTICA DEGLI INTERNI”

a cura di F. A. Everest; Hoepli, 2005.

“MANUALE DI CONTROLLO DEL RUMORE”

a cura di C. M. Harris; Tecniche Nuove, 1983.

“MANUALE DI ACUSTICA APPLICATA - L'ATTENUAZIONE DEL RUMORE”

a cura di I. Sharland; Woods Italiana, 1994.

© BigMat Italia S.c.p.a.
Via Roma 74, 20060 Cassina de' Pecchi (Milano)
www.bigmat.it

Il Quaderno Tecnico *Isolamento acustico degli edifici* è stato realizzato dall'Ufficio Tecnico di BigMat con la collaborazione editoriale di ANIT.

I contenuti sono a cura di MATTEO BORGHI, Ingegnere Edile, fa parte dello Staff Tecnico di ANIT, Associazione Nazionale per l'isolamento Termico e acustico. Per ANIT partecipa ai gruppi di lavoro UNI e ai tavoli tecnici ministeriali per la nuova normativa di acustica edilizia. Inoltre coordina le attività del gruppo di lavoro di acustica dell'Associazione. Lavora per TEP srl società di ingegneria specializzata nella consulenza per l'efficienza energetica e l'isolamento acustico degli edifici.

Aggiornamento: febbraio 2018.

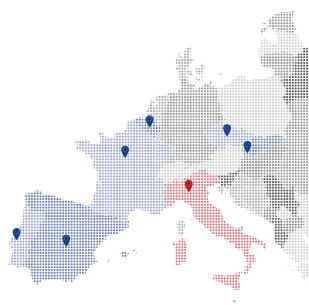
L'elaborazione dei testi, anche se curata con scrupolosa attenzione, non può comportare specifiche responsabilità per eventuali errori o inesattezze.



**PUNTI VENDITA DI MATERIALE PER COSTRUIRE,
RISTRUTTURARE E RINNOVARE.**

Nei Punti Vendita BigMat il nostro personale ti aiuta a individuare le migliori soluzioni e sistemi di prodotti per i tuoi progetti.

Da 36 anni in Europa per i professionisti e per tutti.



**IN EUROPA:
905 PUNTI VENDITA
2 MILIARDI DI EURO
DI FATTURATO**

**IN ITALIA:
190 PUNTI VENDITA
90 SHOWROOM
DI FINITURE**

BigMat
HOME OF BUILDERS

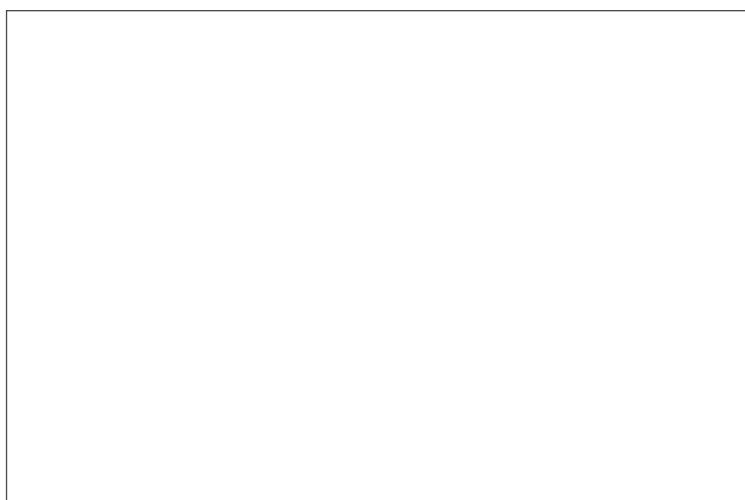


www.bigmat.it

BigMat

HOME OF BUILDERS

190 Punti Vendita in Italia di materiali
per costruire, ristrutturare e rinnovare casa.



Spazio riservato per il timbro del Punto Vendita.



www.bigmat.it