

Portale dedicato all'informazione e alla conoscenza
delle problematiche legate al mondo dell'Acustica

www.inquinamentoacustico.it



Manuale tecnico-pratico

REQUISITI ACUSTICI DEGLI EDIFICI

Metodi di calcolo
Normativa
Accorgimenti
Giurisprudenza



A cura di

Luciano Mattevi

Specialista in acustica

INDICE

1	INTRODUZIONE.....	3
2	CONCETTI BASE DI ACUSTICA	4
	2.1 Il suono e la sua percezione	4
	2.2 Propagazione del rumore all'interno degli edifici	5
3	ISOLAMENTO ACUSTICO.....	7
	3.1 Potere fonoisolante.....	7
	3.2 Strutture a singolo strato	10
	3.3 Strutture a doppio strato	11
	3.4 Potere fonoisolante apparente (R')	11
	3.5 L'indice di riduzione delle vibrazioni (K_{ij})	13
	3.6 Differenza di potere fonoisolante (ΔR).....	14
	3.7 Isolamento acustico di facciata	15
	3.8 Livello di rumore da calpestio	16
	3.9 Indici di valutazione.....	17
4	LA NORMATIVA DI RIFERIMENTO IN MATERIA DI ISOLAMENTO ACUSTICO	18
	4.1 Normativa nazionale	18
	4.2 Normativa europea.....	21
	4.3 Elenco normative tecniche	21
5	MODELLI DI CALCOLO	23
	5.1 Calcolo dell'indice di valutazione del potere fonoisolante (R_w).....	23
	5.2 Calcolo dell'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente (R'_w).....	25
	5.3 Calcolo dell'isolamento acustico di facciata	27
	5.4 Calcolo del livello di rumore da calpestio	28
	5.5 Livello di rumore degli impianti tecnologici	29
6	MODALITÀ OPERATIVE.....	31
	6.1 Servizi a funzionamento discontinuo.....	34
	6.2 Servizi a funzionamento continuo.....	35
7	INTERVENTI PASSIVI DI CONTENIMENTO DEL RUMORE	38
8	GIURISPRUDENZA.....	41
9	CONCLUSIONE	44
10	BIBLIOGRAFIA	45
	APPENDICE.....	46

1 INTRODUZIONE

*L*o sviluppo urbanistico degli ultimi decenni ha prodotto un'incessante espansione delle aree abitate e un notevole aumento della densità abitativa. Fattori, quasi mai, accompagnati da un'attenta e adeguata politica di contenimento del rumore, tant'è che, a determinare il disagio acustico che affligge la maggior parte delle abitazioni cittadine, concorrono oramai sia fattori esterni, quali certamente il traffico veicolare e le attività produttive, ma anche altri rumori, non meno disturbanti, che sono percepiti all'interno degli stessi edifici, prodotti dall'attività dei vicini o dal funzionamento di apparecchiature tecniche: ascensori, impianti di riscaldamento, ecc..

Per fronteggiare questa difficile situazione, spesso causa di un vero e proprio disagio sociale, è necessario far appello all'impegno di tutti ma in primo luogo di coloro che per primi sono chiamati alla progettazione e realizzazione degli edifici, invitandoli a migliorare l'insonorizzazione acustica dei fabbricati, in modo da proteggere gli occupanti da rumori indesiderati.

Affianco ad uno strumento legislativo certamente poco chiaro, spesso si accompagnano argomentazioni elevate ad una ristretta cerchia di esperti, con l'inevitabile conseguenza che, per i più, tali argomentazioni risultano incomprensibili.

Per questo motivo ho ritenuto utile offrire, attraverso un linguaggio semplice ma al tempo stesso di stretta utilità, una preparazione tecnica di base in materia di "Requisiti acustici degli edifici", sia per assolvere agli adempimenti previsti dalla vigente normativa di settore, sia per fornire un complesso di conoscenze e di informazioni tecniche e procedurali utili per affrontare in modo consapevole i più importanti aspetti di questa materia.

Stimolare l'attenzione, allo scopo di far crescere una maggiore sensibilità a questo problema è lo scopo che mi sono prefissato, un obiettivo certamente ambizioso che non potrà essere conseguito senza l'aiuto e l'impegno di coloro che contribuiranno alla diffusione del presente lavoro.

2 CONCETTI BASE DI ACUSTICA

Prima di entrare nella descrizione dei fenomeni che regolano la propagazione del rumore all'interno delle strutture edilizie ritengo utile fornire un breve cenno ad alcuni concetti base di acustica legati alla percezione umana al rumore, scelta che spero possa rendere più agevole la comprensione delle successive argomentazioni.

2.1 Il suono e la sua percezione

Il fenomeno acustico, consiste in una perturbazione della pressione atmosferica di carattere oscillatorio che si propaga attraverso un mezzo elastico (gas, liquido o solido). Tali perturbazioni possono venir generate da vibrazioni meccaniche e/o turbolenze aerodinamiche. Le oscillazioni sono caratterizzate, oltre che dalla loro ampiezza, anche dalla loro rapidità o frequenza. Solo un campo definito di ampiezze e frequenze può diventare ciò che noi comunemente sperimentiamo come suono. Possiamo pertanto affermare che una sorgente sonora è un fenomeno fisico che, attraverso le vibrazioni meccaniche o la turbolenza dell'aria, genera dell'energia acustica nel campo di frequenze e ampiezze udibili.

Per quantificare il tipo di risposta umana all'energia sonora, in termini di sonorità, di disturbo e di rischio, occorre misurare la pressione sonora, la quale è di per sé relativamente facile da misurare, poiché le variazioni di pressione sul timpano, che vengono percepite come suono, sono le stesse variazioni che agiscono sul diaframma del microfono di un fonometro (strumento impiegato per la misura dei livelli sonori), consentendone la misura.

L'orecchio umano è un organo sensibile a variazioni di pressione sonora comprese fra i 0,000002 Pa (20 μ Pa) e 100 Pa, in una gamma di frequenze comprese fra 20 Hz e 20.000 Hz. Tuttavia, la sensazione uditiva in un soggetto normoudente non è legata a una variazione lineare della pressione sonora, bensì a una relazione di tipo logaritmico; per tale motivo le grandezze acustiche sono espresse in deciBel (dB). Il deciBel non è un'unità di misura, ma un'unità di relazione logaritmica. Più precisamente, il livello della pressione sonora, espresso in dB, è uguale a:

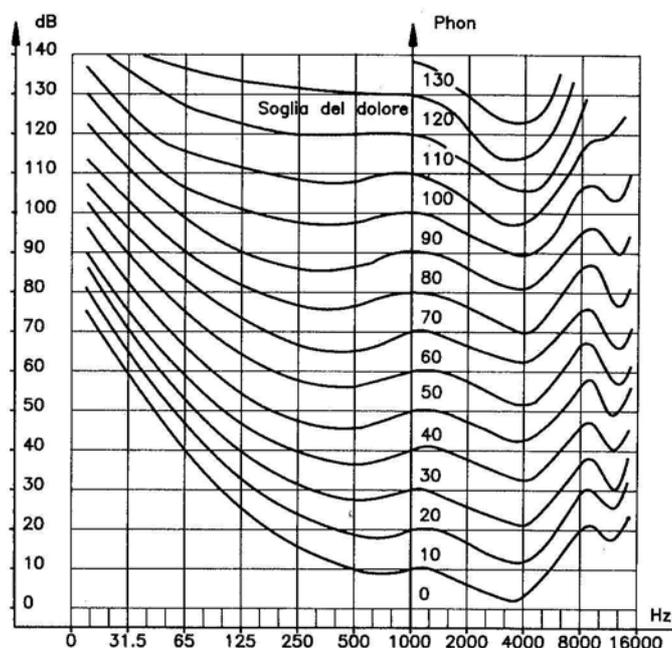
$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0} \text{ dB}$$

dove p è la pressione acustica misurata e p_0 è la pressione di riferimento, pari a 20 μ Pa.

Il valore di riferimento (20 μ Pa), corrisponde al valore della pressione sonora minimo, percepito da un individuo normoudente alla frequenza di 1000 Hz, ossia 0 dB. Quindi, moltiplicando la pressione sonora per 10 non facciamo altro che aggiungere 20 dB al livello, per cui 200 μ Pa corrisponderanno a 20 dB, 2000 μ Pa a 40 dB, e così via.

Ciò nonostante, non è sufficiente considerare esclusivamente il livello della pressione sonora, in quanto 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 ed una minore a quelle basse. Nella tecnica fonometrica è perciò impiegato un filtro che simula tale risposta, indicato come curva di ponderazione "A".

La curva di ponderazione "A" è stata ottenuta a seguito di alcune indagini condotte su differenti gruppi di popolazione, distinti per età e sesso, che hanno portato all'individuazione delle "proprietà medie" dell'orecchio; in particolare, la curva "A" approssima l'inverso della isofonica a 40 phon (il phon è l'unità di misura del livello di intensità soggettiva del suono). I risultati di tale sperimentazione sono riportati nella famiglia di curve isofoniche normalizzate dalla ISO 226, indicata di seguito.



Audiogramma normale secondo la norma ISO 226

2.2 Propagazione del rumore all'interno degli edifici

Come accennato nel paragrafo precedente, il rumore per diffondersi nell'ambiente, ed essere quindi da noi percepito, ha bisogno di un mezzo elastico (gas, liquido o solido). Nel caso specifico della propagazione del rumore all'interno degli edifici, tale mezzo di propagazione è costituito dagli stessi elementi strutturali che compongono l'edificio, quali pareti e solai.

La trasmissione del suono avviene secondo due distinti meccanismi di propagazione: *trasmissione per via aerea* e *trasmissione per via strutturale*.

Nel primo caso, il rumore si propaga nell'aria senza incontrare ostacoli solidi (ad es. condotte d'aria o aperture) mentre, nel secondo caso, la propagazione avviene attraverso le strutture solide dell'edificio, tramite vibrazioni elastiche.

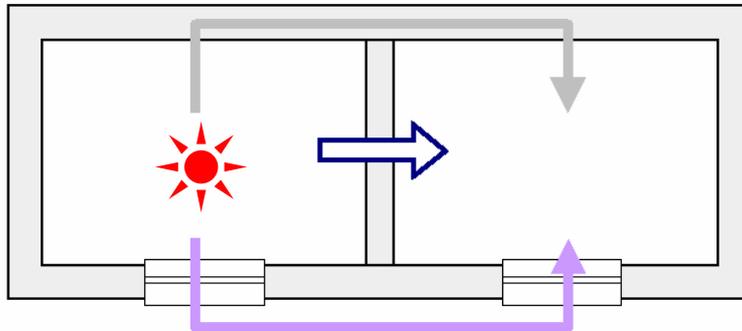
Di norma, la trasmissione del rumore attraverso due ambienti interessa entrambi i meccanismi anche se, per ciascun componente edilizio, bisogna distinguere tra:

- *Trasmissione diretta*: quando la trasmissione del rumore nell'ambiente ricevente avviene attraverso il solo elemento strutturale considerato (parete divisoria o solaio);
- *Trasmissione laterale*: quando la trasmissione del rumore nell'ambiente ricevente avviene attraverso gli altri elementi strutturali adiacenti a quella considerata.

Risulta pertanto evidente che l'isolamento acustico di pareti, infissi od altro, certificato attraverso misurazioni di laboratorio, offrono un valore che, nella maggior parte dei casi, è notevolmente

superiore a quello ottenibile in opera, a causa della mancanza di trasmissione laterale del rumore attraverso i diversi percorsi strutturali ed aerei presenti all'interno di un edificio.

A titolo esemplificativo, nella seguente figura sono indicati i diversi percorsi di propagazione del rumore, dalla camera sorgente a quella ricevente.



Percorsi di trasmissione del rumore tra due ambienti adiacenti

Oltre al percorso diretto, attraverso l'elemento divisorio (parete), sono presenti altri percorsi, quali le pareti laterali (trasmissione laterale) e le vie aeree esterne.

Per facilitare la comprensione delle metodologie di calcolo che saranno descritte nei successivi capitoli, sono illustrati di seguito i principali parametri indicatori richiesti dalla vigente normativa in materia di requisiti acustici passivi degli edifici.

3 ISOLAMENTO ACUSTICO

Nell'opinione comune l'isolamento acustico è spesso impropriamente considerato l'unico parametro descrittore delle prestazioni acustiche degli elementi strutturali dell'edificio. Invece, pochi sanno che l'isolamento acustico non esprime la proprietà intrinseca dell'elemento strutturale considerato, bensì è un parametro fortemente condizionato dalla specifica configurazione dell'ambiente in cui viene misurato, per il tipo di posa in opera e per tutte le altre condizioni al contorno, le quali influiscono sulla misurazione dei livelli di rumore presenti nei due locali (sorgente e ricevente), fra i quali:

- le caratteristiche acustiche del singolo componente (solaio, parete, ecc.);
- la proprietà meccaniche delle strutture laterali (tipologia dei giunti, modalità di posa in opera);
- le proprietà di assorbimento acustico dei materiali delle superficie interne al locale (negli ambienti riverberanti la riflessione delle onde sonore sulle pareti determina un aumento del livello complessivo interno al locale).

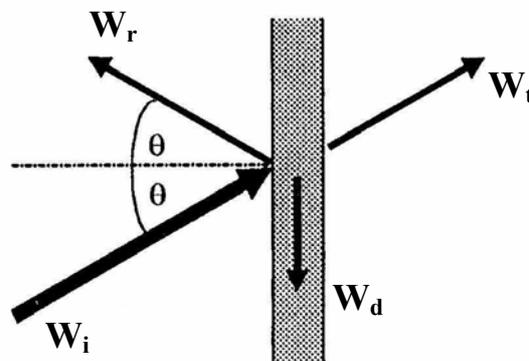
Ciò considerato, l'isolamento acustico (D) è definito come la differenza tra i valori medi dei livelli di pressione sonora misurati nell'ambiente "sorgente" (L_1) e quelli rilevati nell'ambiente "ricevente" (L_2), secondo la seguente relazione:

$$D = L_1 - L_2 \text{ (dB)}$$

3.1 Potere fonoisolante

Per comprendere come possa un elemento strutturale ostacolare la propagazione del rumore, è necessario analizzare, in maniera semplificata, il fenomeno fisico della propagazione del rumore aereo attraverso un divisorio.

Partendo dal principio fondamentale che *"nulla si crea e nulla si distrugge, ma tutto si trasforma"*, quando un'onda sonora incide su una parete, espressa sotto forma di potenza sonora (W_i), questa si scompone in più componenti: una parte viene riflessa nell'ambiente sorgente (W_r) e una parte penetra nella parete, trasformandosi in energia vibrazionale. Quest'ultima viene, a sua volta, scorporata: una parte si dissipa in calore (W_d), mentre l'altra viene trasmessa nell'ambiente ricevente (W_t).



Ripartizione dell'energia sonora incidente su una partizione

È quindi evidente che la quantità di energia che viene assorbita e trasmessa dalla partizione dipende dalle caratteristiche fisiche del materiale impiegato. Al riguardo, i parametri descrittivi di tali fenomeni sono:

coefficiente di assorbimento acustico (α): esprime il valore numerico della frazione di energia sonora che viene assorbita da un materiale, compreso fra 0, nel caso in cui tutta l'energia sia riflessa, e 1, nel caso in cui tutta l'energia sia assorbita. Ad esempio, un valore di α pari a 0,7 indica che il 70% dell'energia sonora incidente sul materiale viene assorbita.

coefficiente di trasmissione acustica (τ): esprime, in percentuale, la quantità di energia, intesa come potenza sonora, che attraversa l'elemento divisorio, data dal rapporto fra potenza sonora trasmessa (W_t) e potenza sonora incidente sulla partizione (W_i).

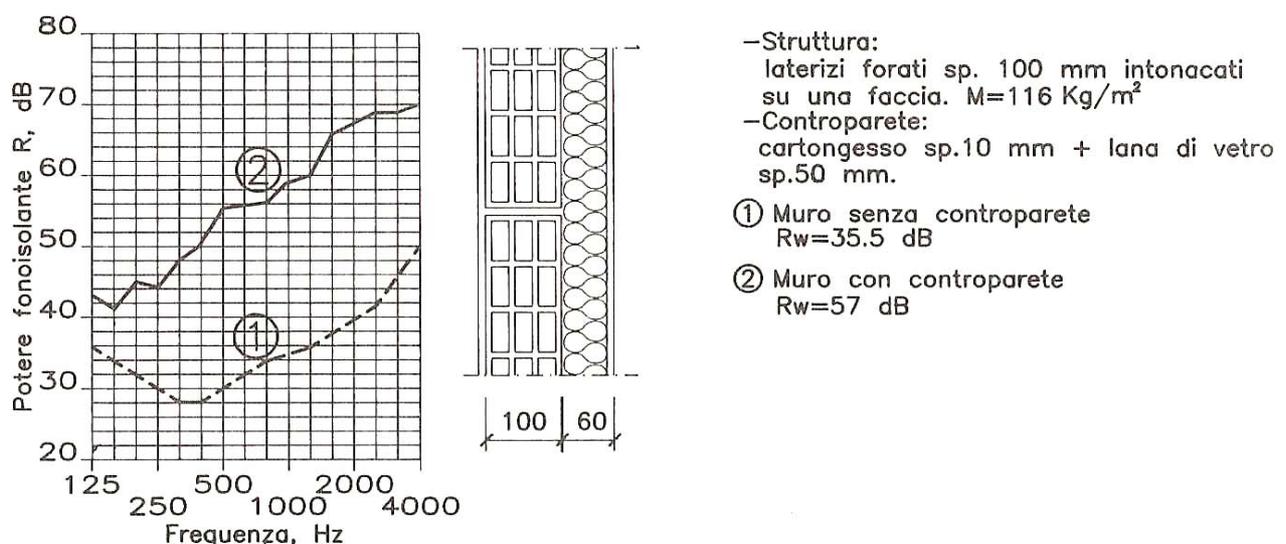
$$\tau = \frac{W_t}{W_i}$$

Si deve tuttavia considerare, senza peraltro addentrarci ulteriormente nella spiegazione, che il coefficiente di trasmissione varia a seconda dell'angolo di incidenza del suono sulla partizione e, quindi, la relazione sopra esposta è valida esclusivamente per incidenza normale dell'onda sonora (angolo di incidenza $\theta = 0$).

Per mezzo di τ si definisce il *potere fonoisolante* (R), per angolo di incidenza $\theta = 0$, il quale esprime la grandezza logaritmica, espressa in deciBel, data dalla relazione:

$$R(\theta) = 10 \log \frac{1}{\tau(\theta)} \text{ (dB)}$$

Il potere fonoisolante di un determinato componente edilizio viene misurato in laboratorio, in relazione alla norma ISO 140-3, ed è espresso in genere tramite una curva che riporta i diversi valori di R per le bande di frequenza di ottava o 1/3 di ottava.



Scheda del potere fonoisolante misurato in laboratorio

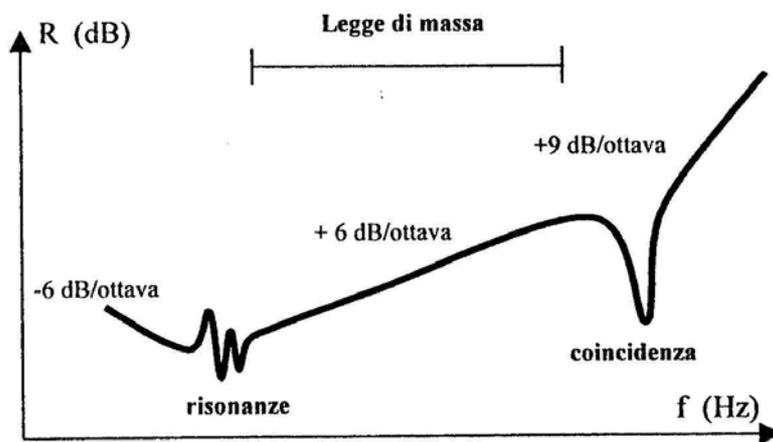
Qualora si proceda invece ad una misura in opera, il parametro misurato è indicato come **potere fonoisolante apparente** (R'), il quale differisce dal valore di laboratorio per la specifica posa in opera del componente e per effetto della trasmissione laterale, fattori che inducono ad una riduzione dei valori di fonoisolamento.

Avendo noti i principi fondamentali di propagazione del suono attraverso l'elemento strutturale, appare evidente da subito che, se da un verso è relativamente semplice la misura in campo, altrettanto non si può dire circa la valutazione analitica del fenomeno, specialmente per quanto attiene i meccanismi di vibrazione, i quali dipendendo dalla costruzione del divisorio, dalla dimensione, nonché dal tipo di vincoli laterali.

Tanto più il divisorio si discosta dal caso ideale (parete piana, sottile e omogenea con condizione di vincolo a incastro perfetto o appoggio semplice) tanto più risulta difficile applicare e risolvere le relazioni matematiche relative ai pannelli. Infatti, le caratteristiche di trasmissione acustica di un pannello dipendono essenzialmente dalla sua geometria e da tre grandezze principali: *massa*, *rigidità* e *smorzamento*. Una struttura vibrante possiede, infatti, sia energia cinetica, associata alla massa, sia energia di deformazione potenziale, legata alla rigidità, sia la capacità di dissipare parte dell'energia da cui è eccitata.

Anche in questa circostanza, è necessario giungere ad una semplificazione del fenomeno, consapevoli che ciò induce, inevitabilmente, ad un'approssimazione del risultato. Tuttavia, tale condizione è ampiamente giustificata dalla necessità di dover contenere l'impegno del progettista nella fase di ideazione dell'edificio.

A tale scopo, risulta utile analizzare il comportamento di una struttura semplice, qual è un pannello omogeneo, e osservare l'andamento tipico del potere fonoisolante al variare della frequenza. Ciò che otterremo è qualcosa di molto simile a quanto riportato nella seguente figura.



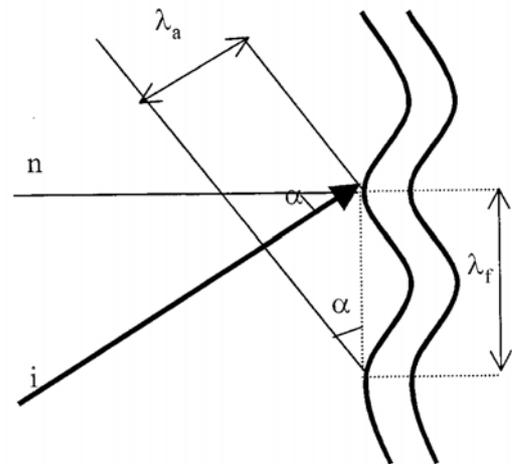
Andamento alle diverse frequenze del potere fonoisolante di una lastra

Il diagramma sopra riportato è contraddistinto da due zone in cui il valore di R diminuisce bruscamente: una zona in corrispondenza della *frequenza di risonanza* (risonanza) del pannello e l'altra in corrispondenza della *frequenza critica* (coincidenza).

La **risonanza** di un pannello, ad una determinata frequenza del campo sonoro incidente, interessa l'azione di forze (onde sonore) che agiscono perpendicolarmente rispetto al piano del pannello determinando la risonanza dell'elemento stesso producendo in esso vibrazioni più consistenti rispetto a quanto si verifica alle alte frequenze. Occorre precisare che le frequenze di risonanza

interessate sono quelle più basse, legate ai modi più semplici di vibrare, le quali hanno un contenuto energetico rilevante e quindi significativo ai fini della riduzione del potere fonoisolante.

La **coincidenza** ha origine a causa dell'azione di forze (onde sonore) che agiscono secondo una direzione molto inclinata rispetto al pannello ed in particolare quando la lunghezza d'onda del suono incidente presenta lo stesso valore della lunghezza d'onda delle onde flessionali del pannello. In questo caso, le vibrazioni flessionali vengono favorite dall'onda acustica che determina un incremento dell'energia sonora trasmessa nell'ambiente ricevente, con conseguente riduzione, anche in questo caso, del potere fonoisolante (vedi figura seguente).



3.2 Strutture a singolo strato

Nel caso di un pannello a singolo strato, è possibile considerare che, per frequenze comprese fra la frequenza di risonanza e quella di coincidenza, il potere fonoisolante vari soprattutto in funzione della massa superficiale del pannello, con un incremento di circa 6 dB per ogni ottava o per ogni raddoppio della massa superficiale. Tale relazione, valida nel caso in cui il campo sonoro incidente sul pannello è di tipo diffuso, va sotto il nome di **legge di massa** ed è regolata dalla seguente relazione:

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

dove m' è la massa superficiale del pannello (kg/m^2), f è la frequenza (Hz) e ρ_0 è la densità dell'aria (pari a $1,21 \text{ kg/m}^3$ a 20°C) e c_0 è la velocità del suono nell'aria (pari a 343 m/s a 20°C).

Per frequenze superiori alla frequenza critica, il potere fonoisolante cresce in frequenza di circa 9 dB per ottava e cresce all'aumentare dello smorzamento interno del pannello.

Appare quindi evidente che ridurre la valutazione del potere fonoisolante alla sola legge di massa è oltremodo semplificativo e può indurre ad errori considerevoli, specie quando le frequenze del rumore emesso dalla sorgente sonora cadono oltre la frequenza di coincidenza. Pertanto, è necessario valutare dapprima il valore della frequenza di coincidenza di un elemento strutturale secondo la seguente relazione:

$$f_c = \frac{c_b^2}{1,81 d \sqrt{\frac{E}{\rho(1-\nu^2)}}}$$

dove c_b è la velocità di propagazione delle onde longitudinali sul pannello, E è il modulo di Young, ρ è la densità dell'aria, d è lo spessore in metri e ν è il rapporto di Poisson.

In appendice, è riportata una tabella con i valori delle proprietà fisiche di alcuni materiali omogenei di comune impiego.

A titolo semplificativo, si può considerare che, nel caso di pareti pesanti, la frequenza critica è localizzata alle basse frequenze, attorno ai 100-200 Hz, quindi all'estremità dello spettro di frequenze d'interesse (di solito è compreso fra i 100 Hz e 3,15 KHz), ne consegue che l'andamento del potere fonoisolante è di tipo risonante e cresce con una pendenza di circa 8-10 dB per ottava; pertanto, la relazione di calcolo da impiegare è la seguente:

$$R_d = 20 \log(m'f) + 10 \log\left(\frac{f}{f_c} - 1\right) + 10 \log \eta_{tot} - 44 \text{ (dB)}$$

dove η_{tot} è lo smorzamento totale del pannello.

Per strutture edilizie massicce lo smorzamento totale (η_{tot}) può essere approssimativamente calcolato con la seguente formula.

$$\eta_{tot} = 0,015 + \frac{1}{\sqrt{f}}$$

Nel caso invece di pannelli con massa superficiale contenuta, quali ad esempio pannelli in cartongesso, la frequenza critica si attesta su frequenze elevate (attorno ai 2,5-3,15 KHz) e, pertanto, la struttura risponde alla legge di massa.

3.3 Strutture a doppio strato

In relazione a quanto esposto nel precedente paragrafo, il calcolo del potere fonoisolante di una struttura a singolo strato è un'operazione complessa, resa ancor più difficile dal fatto che, spesso, non sono reperibili tutti i termini richiesti dall'algoritmo di calcolo; ne consegue che, il grado di difficoltà del calcolo del potere fonoisolante di partizioni a due o più strati sia inevitabilmente maggiore, tanto più che le relazioni impiegate offrono, in ogni caso, una scarsa affidabilità.

A causa della complessità degli argomenti trattati, non si ritiene utile, in questo lavoro, addentrarci ulteriormente nella descrizione dei metodi di calcolo, ritenendo la materia di pertinenza, quasi esclusiva, di ambienti accademici. Ciò nonostante, nei successivi capitoli saranno descritti dei metodi di calcolo semplificati utili a definire, con una certa approssimazione, il valore del potere fonoisolante e del potere fonoisolante apparente delle doppie pareti.

3.4 Potere fonoisolante apparente (R')

Come anticipato nel paragrafo 3.1, il potere fonoisolante apparente (R') differisce dal potere fonoisolante semplice in quanto, oltre a considerare l'attenuazione prodotta dalla trasmissione diretta attraverso la partizione (parete o solaio), tiene anche conto delle componenti di trasmissione del rumore attraverso le strutture laterali. L'introduzione di tale termine è utile per fornire una descrizione delle reali prestazioni acustiche dell'edificio. Tuttavia, è necessario considerare che il grado di isolamento acustico offerto da una partizione, oltre ad essere influenzato dalle caratteristiche del materiale, quali: spessore, densità, rigidità, ecc., è fortemente condizionato dal grado di vincolo con gli altri elementi dell'edificio. Per questo motivo, le prestazioni acustiche in opera possono differire, anche in maniera rilevante, dai corrispettivi valori ottenuti in laboratorio.

Ciò considerato, la verifica del potere fonoisolante apparente può essere svolta sia attraverso calcoli empirici, sia attraverso delle misurazioni in opera, secondo la procedura definita dalla norma ISO 140-4.

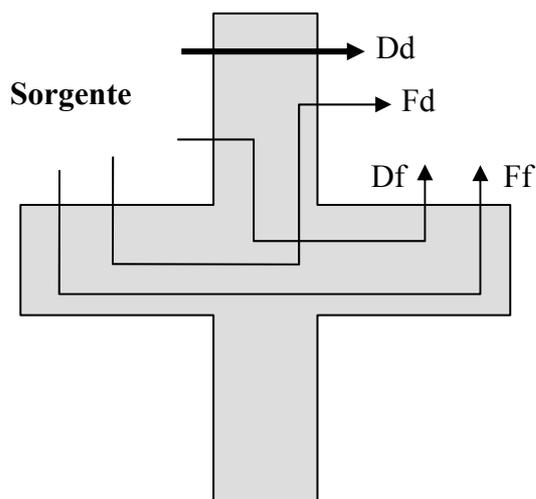
La valutazione delle trasmissioni laterali, ossia del flusso di energia che passa attraverso i vincoli strutturali del pannello, è di difficile soluzione, sia perché è complicato schematizzare il fenomeno di accoppiamento strutturale con le pareti laterali, sia perché detto contributo può variare, anche in modo considerevole, in base all'accuratezza con cui è stata realizzata l'opera. Ciò nonostante, alcuni modelli di calcolo consentono di ricavare l'effettivo isolamento acustico tra due ambienti a partire dalle caratteristiche di accoppiamento tra gli elementi strutturali; quali:

- il *potere fonoisolante* (R) delle strutture coinvolte (partizione + quattro strutture laterali);
- la *massa superficiale* di tutte le strutture considerate;
- le *dimensione dei due ambienti* (sorgente e ricevente);
- l'*indice di riduzione delle vibrazioni* (K_{ij});
- la *differenza di potere fonoisolante* (ΔR) qualora siano presenti strati di rivestimento fonoisolanti o pavimenti galleggianti.

La metodologia di calcolo proposta di seguito si basa sulle indicazioni dalla norma europea EN 12354-1. In particolare, il calcolo del potere fonoisolante apparente (R') tra due ambienti adiacenti, escludendo i contributi dovuti ai coefficienti di trasmissione sonora di piccoli elementi posti sulla partizione, può essere desunto dalla seguente relazione.

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

dove R_{Dd} , R_{Ff} , R_{Df} e R_{Fd} sono i valori del potere fonoisolante per trasmissione che avviene attraverso il percorso diretto (Dd) e per i percorsi laterali (Ff , Df e Fd).



Ai fini del calcolo del potere fonoisolante per i suddetti percorsi laterali è necessario determinare il potere fonoisolante per ogni singolo percorso di trasmissione del rumore nelle strutture coinvolte, secondo la seguente relazione.

$$R_{ij} = \frac{R_i + R_j}{2} + \Delta R_{ij} + K_{ij} + 10 \log \frac{S}{l_0 l_{ij}} \quad (\text{dB})$$

dove le lettere i e j rispecchiano le lettere D , d , F e f utilizzate nella precedente espressione, ΔR_{ij} è l'incremento del potere fonoisolante dovuto all'apposizione di strati di rivestimento lungo il percorso i - j , K_{ij} è l'indice di riduzione delle vibrazioni attraverso il giunto, S è la superficie della partizione (m^2), l_0 è la lunghezza di riferimento (1 metro) e l_{ij} è la lunghezza del giunto in metri.

3.5 L'indice di riduzione delle vibrazioni (K_{ij})

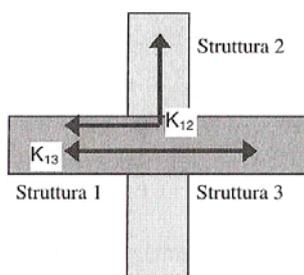
L'indice di riduzione delle vibrazioni (K_{ij}), definito dalla menzionata norma EN, è correlato alla potenza sonora, trasmessa per vibrazione strutturale da una giunzione, tra i due elementi costruttivi, ad esempio tra pareti e solai. Tale termine è, quindi, una caratteristica intrinseca della giunzione che deriva dalla differenza di velocità media di vibrazione che si crea tra le due strutture esaminate quando una sola delle due è direttamente sollecitata.

Il valore di K_{ij} , per giunti tra strutture omogenee, può essere calcolato in funzione del rapporto delle masse areiche delle strutture che vi convergono. Attraverso misure sperimentali, è stato verificato che K_{ij} varia in funzione del tipo di giunto e del valore di M , il quale è calcolato con la seguente relazione:

$$M = \log \frac{m'_{\perp i}}{m'_i}$$

dove m'_i è la massa areica della struttura considerata e $m'_{\perp i}$ è la massa areica della struttura perpendicolare a quella considerata.

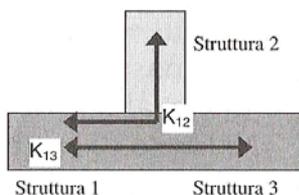
Di seguito sono riportate le formule per il calcolo di K_{ij} per i principali tipi di giunzione.



Giunto rigido a croce tra strutture omogenee

$$K_{13} = 8,7 + 17,1M + 5,7M^2 \quad (\text{dB})$$

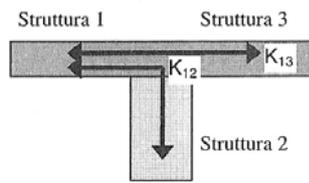
$$K_{12} = K_{23} = 8,7 + 5,7M^2 \quad (\text{dB})$$



Giunto rigido a T tra strutture omogenee

$$K_{13} = 5,7 + 14,1M + 5,7M^2 \quad (\text{dB})$$

$$K_{12} = K_{23} = 5,7 + 5,7M^2 \quad (\text{dB})$$



Giunto tra strutture omogenee e facciate leggere

$$K_{13} = 5 + 10M \quad (\text{dB}) \quad (K_{\min} = 5)$$

$$K_{12} = K_{23} = 10 + 10 |M| \quad (\text{dB})$$

Il valore minimo che può assumere K_{ij} non è 0 ma deve essere considerato almeno uguale a:

$$K_{ij,\min} = 10 \log \left(l_{ij} l_0 \left(\frac{1}{S_i} + \frac{1}{S_j} \right) \right)$$

dove l_{ij} è la lunghezza del giunto in metri, l_0 è pari a 1 metro e S_i e S_j sono le superfici delle strutture in esame, in mq.

Nel caso di strutture comuni aventi una superficie di 10 mq, giuntate per una lunghezza di 2,7 metri, si ha un valori di $K_{ij,\min}$ pari a **-5,7 dB**.

3.6 Differenza di potere fonoisolante (ΔR)

La *differenza di potere fonoisolante* (ΔR) esprime l'incremento delle prestazioni apportato da strati di rivestimento fonoisolanti quali: pavimenti galleggianti, contropareti, controsoffitti, ecc.. In particolare, se su un divisorio viene applicato uno strato addizionale su supporto elastico si determina un sistema risonante a doppio strato che produce un miglioramento del potere fonoisolante complessivo. L'entità del miglioramento può essere determinato in funzione della frequenza di risonanza f_0 del sistema costituito dalla struttura di base e dal rivestimento.

Nel caso di un pavimento galleggiante, caso tipico, la frequenza di risonanza è data dalla seguente relazione:

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

dove m'_1 è la massa areica del solaio, m'_2 è la massa areica del pavimento galleggiante e s' (MN/m^3) è la rigidità dinamica per unità di superficie del supporto elastico.

Nel caso di contropareti e controsoffittature è considerata invece la rigidità dinamica dell'aria s'_a contenuta nel materiale elastico, la quale per materiali porosi o fibrosi, assumendo l'ipotesi che la propagazione sonora al loro interno sia isoterma, è pari a:

$$s'_a = \frac{P_0}{dh_p} \quad (\text{MN/m}^3)$$

dove P_0 è la pressione atmosferica (pari a 10^5 Pa), h_p è la porosità del materiale (volume dei pori/volume totale dello strato) e d è lo spessore del materiale in metri.

ΔR può essere calcolata con la seguente equazione.

$$\Delta R = 40 \log \left(\frac{f}{f_0} \right) \quad (\text{dB})$$

La normativa di riferimento, che sarà trattata in seguito, richiede tuttavia la valutazione dell'indice del potere fonoisolante R_w , pertanto è necessario considerare il miglioramento dell'indice del potere fonoisolante globale ΔR_w determinato con la seguente formula empirica, valevole per valori di f_0 compresi fra 40 e 200 Hz e valori di $R_{w,m'l}$ compresi fra 20 e 50 dB.

$$\Delta R_w = 72 - \left(\frac{R_{w,m'l}}{2} + 20 \log f_0 \right) \quad (\text{dB})$$

dove $R_{w,m'l}$ è l'indice del potere fonoisolante della struttura esistente, avente massa $m'l$.

3.7 Isolamento acustico di facciata

L'isolamento acustico di facciata D_{2m} è dato dalla differenza tra il valore medio del livello di pressione sonora a 2 metri dal piano della facciata ($L_{1,2m}$) e il valore medio del livello di pressione sonora nell'ambiente ricevente (L_2), misurato nelle condizioni previste dal d.P.C.M. 5 dicembre 1997 trattato nel successivo capitolo.

$$D_{2m} = L_{1,2m} - L_2 \quad (\text{dB})$$

In particolare, il menzionato d.P.C.M. richiede la verifica dell'*indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato rispetto al tempo di riverberazione* ($D_{2m,nT,w}$), come indicato dalla norma UNI EN ISO 717-1, con sorgente di rumore costituita da traffico veicolare, se prevalente, o da un altoparlante con angolo di incidenza di 45° , secondo la seguente:

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

dove T è il tempo di riverberazione nell'ambiente ricevente in secondi e T_0 è il tempo di riverberazione di riferimento, assunto pari a 0,5 s.

Il tempo di riverberazione (T_{60}) è il tempo necessario affinché il livello di pressione sonora, in un ambiente confinato, possa ridursi di 60 dB dopo che la sorgente sonora che ha generato quel livello si è spenta.

Per ambienti sabiniani (ambienti di piccole dimensioni con campo sonoro diffuso e assorbimento acustico moderato), il tempo di riverberazione può essere calcolato nel modo seguente.

$$T_{60} = \frac{0,16V}{A} \quad (\text{s})$$

dove V è il volume dell'ambiente (m^3) e A è l'assorbimento equivalente (m^2) calcolato con la seguente espressione.

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

dove n è il numero di superfici i -esime di area S_i e coefficiente di assorbimento acustico α_i .

3.8 Livello di rumore da calpestio

Il livello di rumore da calpestio rappresenta il livello medio di pressione sonora che si rileva in un ambiente quando sul solaio sovrastante agisce un generatore di rumore da calpestio normalizzato (macchina da calpestio). In altri termini, il livello di rumore da calpestio esprime la risposta acustica del solaio a seguito della sollecitazione dello stesso. Tuttavia, trattandosi di una sollecitazione meccanica definita, tale risposta non esprime realisticamente il rumore che si avrebbe in un ambiente per effetto dei passi di una persona sul solaio sovrastante; ciò nonostante, il vantaggio offerto da questo approccio metodologico è notevole, poiché consente di confrontare strutture differenti, oltreché impiegare modelli di calcolo previsionale.

Dal punto di vista dell'analisi empirica, il rumore da calpestio può essere assimilato a quello dell'eccitazione di una piastra con forze impulsive periodiche, da cui è possibile ricavare le seguenti considerazioni:

- il livello di potenza sonora irradiata diminuisce di **6 dB** ad ogni raddoppio delle densità (Kg/m^3);
- il livello di potenza sonora irradiata diminuisce di **9 dB** ad ogni raddoppio dello spessore (metri).

Per evitare quindi l'impiego di solai pesanti o di spessore elevato, il modo più conveniente per contenere il rumore da calpestio consiste nel ridurre l'eccitazione del pavimento. Tale soluzione è possibile inserendo uno strato di materiale resiliente fra il solaio e lo strato di rivestimento, creando un c.d. "*pavimento galleggiante*", il quale riduce la trasmissione della potenza meccanica trasmessa al solaio.

Affinché tale sistema sia efficace, il pavimento galleggiante deve essere separato elasticamente lungo tutto il perimetro delle pareti perimetrali che lo delimitano.

Il miglioramento acustico di un pavimento galleggiante (ΔL) dipende dalla rigidità dinamica (s') dello strato resiliente inserito sotto la pavimentazione oltre che dalla frequenza di risonanza dell'intera struttura (pavimento, strato elastico e solaio).

Nel caso di pavimenti galleggianti con massetto in calcestruzzo (c.l.s.) e frequenze comprese fra la frequenza di risonanza (f_0) e $4f_0$, è possibile impiegare la seguente relazione.

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

dove f è la frequenza considerata (Hz) e f_0 è la frequenza di risonanza ricavabile con la seguente formula.

$$f_0 = 160 \sqrt{\left(\frac{s'}{m'_1} \right)} \quad (\text{dB})$$

dove s' è la rigidità dinamica dello strato elastico (MN/m^3) e m'_1 è la massa superficiale dello strato di rivestimento (Kg/m^2).

La normativa di settore, che sarà trattata nel successivo capitolo, prende a riferimento il livello normalizzato di rumore da calpestio apparente, quindi in opera, il quale è dato dalla somma del rumore per trasmissione diretta e di quella laterale che, per ambienti adiacenti sovrapposti, è data dalla seguente relazione.

$$L'_n = 10 \log \left(10^{\frac{L_{n,d}}{10}} + \sum_{j=1}^n 10^{\frac{L_{n,ij}}{10}} \right) \text{ (dB)}$$

in cui il primo termine indica il livello normalizzato di rumore per trasmissione diretta, mentre il secondo termine indica la sommatoria dei livelli normalizzati di rumore per trasmissione laterale.

3.9 Indici di valutazione

I valori di isolamento acustico e il livello di rumore da calpestio sopra descritti sono riferiti alle singole bande di frequenza compresa nell'intervallo d'interesse, solitamente dai 100 ai 3.150 Hz. Tuttavia, qualora si intenda caratterizzare con un solo valore la prestazione acustica di uno specifico componente, è necessario ricorrere all'*indice di valutazione* (w), il quale viene ricavato sovrapponendo la curva dell'andamento in frequenza della grandezza considerata (potere fonoisolante, isolamento acustico, ecc.), in bande di ottave o di 1/3 di ottava, con una curva di riferimento definita dalla norma UNI EN ISO 717 parte 1, nel caso di rumore aerei, e parte 2, nel caso di rumore di calpestio. Tale norma sostituisce la UNI 8270-7 citata nel d.P.C.M. 5 dicembre 1997 recante "*Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici*" trattato nel successivo capitolo.

4 LA NORMATIVA DI RIFERIMENTO IN MATERIA DI ISOLAMENTO ACUSTICO

Nonostante vi sia da tempo la necessità di definire dei limiti di isolamento acustico per le abitazioni, al fine di prevenire il disturbo percepito all'interno degli ambienti abitativi per rumori provenienti dall'esterno dell'edificio, ma anche da rumori provocati all'interno dello stesso, la norma in materia di requisiti acustici passivi degli edifici compare nel panorama normativo nazionale solamente in tempi recenti. Infatti, pare univoco considerare quale riferimento assoluto nell'ambito della progettazione degli edifici di civile abitazione il d.P.C.M. 5 dicembre 1997 recante "*Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici*".

Per il vero, l'indicazione di alcuni standard minimi di isolamento acustico, da valutare nel corso della progettazione degli edifici, esiste già a partire dalla seconda metà degli anni sessanta, anche se, come vedremo nel seguito, questa si limitava unicamente alla sola edilizia pubblica (scuole, ospedali, edifici residenziali pubblici, ecc.).

Pare quindi indicativo che un importante parametro di valutazione dell'ambiente in cui viviamo o, perlomeno, nel quale trascorriamo la maggior parte del tempo della nostra vita, sia stato preso in considerazione così tardivamente, certo è che l'attenzione e la sensibilità della popolazione nei confronti del bene "casa" è, recentemente, notevolmente aumentata.

Ciò premesso, non rimane che analizzare nel dettaglio il contenuto di tali riferimenti normativi, definendo per ciascuno di essi, la relativa limitazione.

4.1 Normativa nazionale

Circolare del Ministero dei lavori pubblici n. 1769 del 30 aprile 1966

Criteria di valutazione e collaudo dei requisiti acustici nelle costruzioni edilizie

La circolare fissa le norme per la definizione e la misura dei requisiti acustici nelle costruzioni di edilizia residenziale pubblica, da inserire, in sede contrattuale, nei capitolati speciali d'appalto e da verificare successivamente in sede di collaudo.

In merito alle caratteristiche acustiche, sono definiti i parametri e le relative grandezze da misurare; in particolare:

- l'isolamento acustico per via aerea di pareti divisorie interne;
- l'isolamento acustico per via aerea di solai;
- l'isolamento acustico per via aerea di pareti esterne;
- il livello di rumore da calpestio dei solai;
- la rumorosità provocata da servizi e impianti fissi;
- la rumorosità provocata da agenti atmosferici;
- il coefficiente di assorbimento acustico;
- il tempo di riverberazione.

Circolare del Ministero dei lavori pubblici n. 3150 del 22 maggio 1967

Criteria di valutazione e collaudo dei requisiti acustici negli edifici scolastici

e il

D.M. 18 dicembre 1975

Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica, ivi compresi gli indici minimi di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica da osservarsi nell'esecuzione di opere di edilizia scolastica

Le due sopracitate norme hanno l'obiettivo di garantire, all'interno degli edifici scolastici, condizioni di abitabilità soddisfacenti per gli occupanti, in analogia con i parametri indicati nella parte I della circolare del Ministero dei LL.PP. n. 1769 del 30 aprile 1966, ad eccezione di alcune prescrizioni specifiche legate alla particolare destinazione d'uso dell'edificio. Sono infatti previste misure in opera ed in laboratorio al fine di verificare l'isolamento acustico ed i requisiti acustici richiesti, quali:

- il potere fonoisolante di strutture verticali, orizzontali, divisorie ed esterne, di infissi verso l'esterno, di griglie e prese d'aria installate verso l'esterno;
- l'isolamento acustico contro i rumori trasmessi per via aerea tra spazi adiacenti e sovrapposti ad uso didattico e nei locali comuni;
- il livello di rumore da calpestio normalizzato del solaio;
- il livello di rumore da calpestio tra due spazi sovrapposti;
- la rumorosità dei servizi e degli impianti fissi;
- il coefficiente di assorbimento dei materiali isolanti acustici.

I risultati delle misure devono essere riportati sotto forma di grafici su appositi moduli, nei quali dovranno figurare anche le indicazioni grafiche degli elementi cui si riferisce la prova (piante, masse degli elementi per unità di superficie, sezioni, ubicazione di punti di misura e descrizione delle strutture esaminate).

Legge 26 ottobre 1995, n. 447

Legge quadro sull'inquinamento acustico

La legge n. 447/95 rappresenta la norma di riferimento, in ambito nazionale, in materia di inquinamento acustico, la quale stabilisce i principi fondamentali in materia di tutela dell'ambiente esterno e dell'ambiente abitativo dall'inquinamento acustico, definito come "*introduzione di rumore nell'ambiente abitativo e nell'ambiente esterno tale da provocare fastidio o disturbo al riposo alle attività umane, pericolo per la salute umana, deterioramento dell'ecosistema, dei beni materiali, dei monumenti, dell'ambiente abitativo o dell'ambiente esterno tale da interferire con le legittime fruizioni degli ambienti stessi*".

d.P.C.M. 5 dicembre 1997

Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici

Il decreto, emanato in attuazione dell'art. 3, comma 1, lettera e) della Legge n. 447/95, stabilisce i requisiti acustici delle sorgenti sonore interne agli edifici ed i requisiti acustici passivi degli edifici e dei loro componenti in opera, allo scopo di contenere l'esposizione umana al rumore.

Il grado di protezione acustica, è differenziato asseconda della classe attribuita ai diversi ambienti abitativi, definita in relazione alla destinazione d'uso dell'immobile, come di seguito indicato.

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

Per ciascuna categoria sono indicati, per le partizioni verticali e orizzontali (pareti e solai), i valori minimi di isolamento, mentre per i servizi sono riportati i valori massimi ammissibili di rumore da non superare nell'ambiente ricevente, ossia nel locale in cui è avvertito il maggior disturbo. In particolare:

- *indice del potere fonoisolante apparente* (R'_w), riferito a elementi di separazione tra due distinte unità immobiliari;
- *indice di valutazione dell'isolamento acustico standardizzato di facciata* ($D_{2m,nT,w}$);
- *indice di valutazione del livello apparente normalizzato di rumore da calpestio di solai* ($L'_{n,w}$);
- *livello massimo di pressione sonora, ponderata A con costante di tempo "Slow"* (L_{ASmax}), per i servizi a funzionamento discontinuo;
- *livello continuo equivalente di pressione sonora, ponderata "A"* (L_{Aeq}), per i servizi a funzionamento continuo.

Categoria dell'edificio	Parametri				
	R'_w	$D_{2m,nT,w}$	$L'_{n,w}$	L_{ASmax}	L_{Aeq}
D	55	45	58	35	25
A, C	50	40	63	35	35
E	50	48	58	35	25
B, F, G	50	42	55	35	35

Il menzionato d.P.C.M. è il primo e organico riferimento normativo nazionale per la protezione contro il rumore all'interno degli edifici civili, anche se presenta alcuni elementi critici, primo fra tutti quello di non aver definito le procedure di vigilanza e controllo della normativa. Inoltre, non è specificato se i requisiti indicati riguardano anche gli edifici esistenti e non viene fatta alcuna distinzione, all'interno della stessa categoria, tra edifici situati in zone tranquille e quelli posti in aree rumorose, con la conseguenza che mentre nel primo caso i limiti sono troppo restrittivi, nell'altro sono insufficienti.

Ciò nonostante, è utile considerare che la menzionata norma rappresenta, in ogni caso, il punto di riferimento nell'ambito di un'eventuale azione civile, qualora si intenda contestare l'inadeguatezza, sotto il profilo acustico, della struttura edilizia o la sua mancata realizzazione a "regola d'arte".

4.2 Normativa europea

Considerato che il presente lavoro è centrato sulla valutazione previsionale delle proprietà acustiche dell'edificio, è stata rivolta particolare attenzione alla serie di norme europee che descrivono l'impiego di metodi di calcolo semplificati, mentre è stato fornito un semplice elenco di quelle norme che, invece, trattano le procedure per il collaudo in opera, le quali esulano dall'ambito di pertinenza del progettista, riversandosi piuttosto nell'attività del c.d. «tecnico competente» in acustica, definito ai sensi dell'art. 2, comma 6 della Legge n. 447/95.

Ciò premesso, uno dei riferimenti normativi più importanti, il quale sarà oggetto di un approfondito esame nel successivo capitolo "Modelli di calcolo", è costituito dalla serie di norme EN 12354 in materia di "Acustica degli edifici, stima delle prestazioni degli edifici in base alle caratteristiche dei prodotti che le compongono", recentemente convertite in norme UNI con la sigla UNI EN 12354.

La norma, si compone di 6 parti, di cui le prime 4 sono state definitivamente approvate:

- EN 12354-1: *isolamento del rumore per via aerea tra ambienti;*
- EN 12354-2: *isolamento acustico al calpestio tra ambienti;*
- EN 12354-3: *isolamento acustico contro il rumore proveniente dall'esterno per via aerea;*
- EN 12354-4: *trasmissione del rumore generato in ambiente interno verso l'ambiente esterno.*

Tali norme prevedono l'impiego di calcoli con grandezze dipendenti dalla frequenza (modello dettagliato) o mediante indici di valutazione (modello semplificato).

4.3 Elenco normative tecniche

METODI DI MISURA IN LABORATORIO E IN OPERA

UNI EN ISO 140-1: Acustica - Misurazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio - Requisiti per le attrezzature di laboratorio con soppressione della trasmissione laterale

UNI EN ISO 140-3: Acustica - Misurazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio - Misurazione in laboratorio dell'isolamento acustico per via aerea di elementi di edificio

UNI EN ISO 140-8: Acustica - Misurazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio - Misurazioni in laboratorio della riduzione del rumore di calpestio trasmesso da rivestimenti di pavimentazioni su un solaio pesante normalizzato

METODI DI CALCOLO DELL'INDICE DI VALUTAZIONE

UNI EN ISO 717-1: Acustica - Valutazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio - Isolamento acustico per via aerea

UNI EN ISO 717-2: Acustica - Valutazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio - Isolamento del rumore di calpestio

UNI EN ISO 11654: Acustica - Assorbitori acustici per l'edilizia - Valutazione dell'assorbimento acustico

VALUTAZIONE DELLE PROPRIETÀ DI MATERIALI UTILIZZATI PER APPLICAZIONI ACUSTICHE

- UNI EN 29052-1:** Acustica - Determinazione della rigidità dinamica - Materiali utilizzati sotto i pavimenti galleggianti;
- UNI EN 29053:** Acustica - Materiali per applicazioni acustiche - Determinazione della resistenza al flusso d'aria;

Entrare a far parte della Comunità Europea non significa solo usufruire di una moneta comune, della libertà di movimento di persone e di merci ma anche, e soprattutto, di lavorare sulla base di norme comuni, ed è proprio su queste basi che, a breve, dovrebbe essere emanata una direttiva rivolta a definire le linee politiche da seguire per il contenimento dell'inquinamento acustico.

5 MODELLI DI CALCOLO

In relazione a quanto stabilito dalla vigente normativa, di cui abbiamo trattato nel capitolo precedente, il progettista ha la necessità di disporre di un adeguato strumento di analisi previsionale utile ad avallare le scelte costruttive adottate o a soddisfare particolari esigenze dettate dal committente dell'opera. Quest'ultima condizione, se fino a qualche tempo fa era spesso ricorrente nelle opere di edilizia pubblica (per scuole, ospedali, ecc.), oggi è richiesta anche per le abitazioni, a testimonianza della sempre più crescente attenzione posta nei confronti della materia.

Disporre di metodi di calcolo semplificati che offrano, nel contempo, risultati attendibili è condizione assai difficile da ottenere, per certi versi addirittura impossibile, poiché i fenomeni che regolano la trasmissione del rumore all'interno di strutture disomogenee, quali quelle edilizie, sono complessi.

I maggiori problemi derivano dall'elaborazione di un modello matematico in grado di rappresentare sia la propagazione del rumore nel campo acustico all'interno degli ambienti sia la trasmissione del rumore attraverso le strutture dell'edificio.

Di seguito, per ciascun parametro richiesto dalla normativa di settore, nello specifico dal d.P.C.M. 5 dicembre 1997, saranno esposti due metodi di calcolo. Il primo metodo, impiega leggi empiriche, ricavate da attività di ricerca sperimentali, in relazione alla massa areica della struttura. Mentre, il secondo metodo utilizza il modello semplificato di calcolo proposto dal progetto di norma CEN e dalla normativa europea EN 12354.

5.1 Calcolo dell'indice di valutazione del potere fonoisolante (R_w)

Grazie all'acquisizione di dati provenienti da analisi di laboratorio e da informazioni assunte per mezzo di misurazioni in opera, è stato possibile definire delle relazioni di calcolo attraverso le quali stimare, in modo semplificato, le prestazioni acustiche delle principali strutture dell'edificio, quali pareti, solai e vetrate.

In letteratura sono disponibili numerose leggi empiriche di previsione basate, quasi esclusivamente, sulla massa areica del materiale impiegato. Tale semplificazione induce, inevitabilmente, ad una certa dispersione dei risultati che rendono, di fatto, tali leggi piuttosto precarie. Ciò nonostante, è comunque possibile ottenere un'indicazione, seppur approssimata, di un primo ordine di grandezza, evitando dispendiosi calcoli.

Uno dei più importanti studi in materia è certamente la ricerca svolta in collaborazione tra ANDIL-Assolaterizi e le Università di Ferrara, Padova e Trento dal tema "*Isolamento acustico di pareti in laterizio: misure sperimentali e metodi di previsione*", attraverso cui è stato tratto spunto il presente lavoro. Il citato studio è frutto dell'elaborazione dei dati sperimentali ottenuti attraverso la valutazione di ben 42 divisori diversi, ed in particolare: 19 pareti semplici, 11 pareti doppie e 12 solai.

Le relazioni che ne sono conseguite sono di seguito esposte e potranno, certamente, tornare molto utili per il calcolo dell'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente (R'_w) trattato nel successivo paragrafo.

MATERIALI IN LATERIZIO

PARETI SEMPLICI (valida per massa areica compresa fra 100 e 700 Kg/m²)

$$R_w = 15,4 \log m' + 8 \quad (\text{dB})$$

dove m' è la massa areica dei divisori in muratura (Kg/m²)

PARETI DOPPIE in laterizio

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

Nel caso in cui l'intercapedine sia almeno di 10 cm, la relazione diventa la seguente:

$$R_w = 20 \log m' + 20 \log d - 10 \quad (\text{dB})$$

dove d è la misura dell'intercapedine espressa in cm.

L'inserimento di materiale fonoassorbente nell'intercapedine determina un incremento dell'indice di valutazione R_w di circa **1÷3 dB**.

PARETI DOPPIE leggere (pareti in cartongesso)

$$R_w = 22,7 \left[\frac{(m' - 2,26) \left(1 - 0,3721 \log \frac{m'_2}{m'_1} \right)}{\log \frac{1,21}{d}} \right]^{0,268} \quad (\text{dB})$$

dove m' è la massa complessiva della parete (Kg/m²), $m'_{1,2}$ sono i valori della massa superficiale dei due strati (con $m'_2 \geq m'_1$) e d è lo spessore dell'intercapedine ($d > 0,05$ metri).

SOLAI

$$R_w = 22,4 \log m' - 6,5 \quad (\text{dB})$$

VETRATE

Le espressioni di seguito proposte, valide per vetrate con massa areica inferiore a 60 Kg/m², sono basate su dati provenienti da prove di laboratorio IEN (Brosio, 1986), le quali risultano anche in buon accordo con dati analoghi rilevati presso il CSTB francese.

VETRI MONOLITICI E VETRO-CAMERA

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

VETRI STRATIFICATI

$$R_w = 12 \log m' + 19 \quad (\text{dB})$$

VETRO-CAMERA CON UNA LASTRA STRATIFICATA

$$R_w = 12 \log m' + 20 \quad (\text{dB})$$

VETRO-CAMERA CON DUE LASTRE STRATIFICATE

$$R_w = 12 \log m' + 22 \quad (\text{dB})$$

dove m' è la massa areica globale della vetrata (Kg/m^2).

5.2 Calcolo dell'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente (R'_w)

Un metodo semplificato rispetto a quello esposto nel paragrafo 3.4 è proposto dal progetto di norma del Comitato Europeo di Normazione (CEN), il quale consente di determinare il valore dell'indice del potere fonoisolante apparente (R'_w) di una partizione a partire dall'indice del potere fonoisolante (R_w), sottraendo un termine correttivo (C), corrispondente alla somma del contributo delle trasmissioni laterali, determinato in funzione della massa superficiale delle strutture laterali e del tipo di giunto di collegamento. In particolare:

$$R'_w = R_w - C \quad (\text{dB})$$

Nel caso di partizioni aventi massa areica paragonabile a quella delle strutture laterali (ad es. fra solai e pareti perimetrali o muri portanti), il contributo della trasmissione laterale può essere desunto dalle seguenti due tabelle, valide per giunti rigidi a croce e giunti rigidi a T.

		Massa superficiale media delle strutture laterali (kg/m^2)									
		100	150	200	250	300	350	400	450	500	
Contributo globale della trasmissione laterale C in dB per giunti rigidi a croce e masse superficiali uniformemente distribuite.		100	1.5	1.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		150	3.0	1.5	1.0	0.5	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0
		200	4.5	2.5	1.5	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5
		250	5.0	3.5	2.5	1.5	1.5	1.0	0.5	0.5	0.5
		300	6.0	4.5	3.0	2.5	1.5	1.5	1.0	1.0	0.5
		350	7.0	5.0	3.5	3.0	2.0	1.5	1.5	1.0	1.0
		400	7.5	5.5	4.5	3.5	2.5	2.0	1.5	1.5	1.0
		450	8.0	6.0	5.0	4.0	3.0	2.5	2.0	1.5	1.5
		500	8.5	6.5	5.0	4.5	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5

Contributo globale della trasmissione laterale C in dB per giunti rigidi a T e masse superficiali uniformemente distribuite.



Massa superficiale della partizione (kg/m ²)	Massa superficiale media delle strutture laterali (kg/m ²)								
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
100	3.0	1.5	1.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
150	5.0	3.0	2.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5
200	6.5	4.5	3.0	2.0	1.5	1.0	1.0	0.5	0.5
250	8.0	5.5	4.0	3.0	2.0	1.5	1.5	1.0	1.0
300	9.0	6.5	5.0	4.0	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
350	10.0	7.5	6.0	4.5	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5
400	10.5	8.5	6.5	5.5	4.5	3.5	3.0	2.5	2.0
450	11.5	9.0	7.5	6.0	5.0	4.0	3.5	3.0	2.5
500	12.0	9.5	8.0	6.5	5.5	4.5	4.0	3.5	3.0

Diversamente, qualora la massa areica del divisorio appaia significativamente differente da quella delle strutture laterali, come nel caso di muri portanti o solai e tramezze laterali, il valore di C da considerare è quello delle seguenti due tabelle, valido nello specifico per rapporti fra le masse areiche pari a 1:2,3, rapporto tipico fra solai e pareti non portanti in mattoni forati.

Contributo globale della trasmissione laterale C in dB per giunti rigidi a croce e masse superficiali nel rapporto 1:2,3



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

Contributo globale della trasmissione laterale C in dB per giunti rigidi a T e masse superficiali nel rapporto 1:2,3



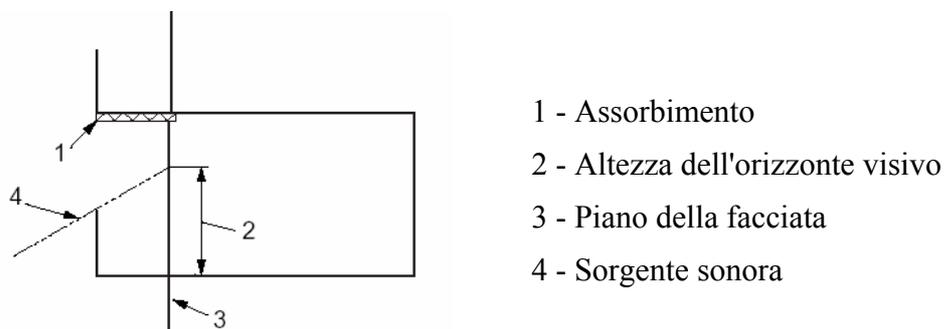
Massa superficiale della partizione (kg/m ²)	Massa superficiale media delle strutture laterali (kg/m ²)								
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
100	4.0	2.5	1.5	1.0	0.5	0.5	0.5	0.0	0.0
150	6.0	4.0	3.0	2.0	1.5	1.0	1.0	0.5	0.5
200	8.0	5.5	4.0	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	1.0
250	9.0	7.0	5.0	4.0	3.0	2.5	2.0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

5.3 Calcolo dell'isolamento acustico di facciata

Secondo la norma EN 12534-3, l'isolamento acustico di facciata può essere calcolato a partire dall'indice del potere fonoisolante apparente della facciata (R'_w), avuto riguardo sia della trasmissione diretta attraverso i vari elementi della partizione che della trasmissione laterale, con la seguente relazione.

$$D_{2m,nTw} = R'_w + \Delta L_{fs} + 10 \log \frac{V}{6T_0S} \quad (\text{dB})$$

dove S è la superficie della parete vista dall'ambiente interno (in m^2), V è il volume dell'ambiente interno (in m^3), T_0 è il tempo di riverberazione di riferimento pari a 0,5 secondi e ΔL_{fs} è la differenza di livello per forma della facciata (dB) definita dalla seguente tabella.



ΔL_{fs} dB	1 facciata piana	2 ballatoio			3 ballatoio			4 ballatoio			5 ballatoio					
Assorbimento del tetto (α_w) \Rightarrow	Non applicabile	$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$	$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$	$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$	$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$			
Orizzonte visivo sulla facciata <1,5 m	0	-1	-1	0	-1	-1	0	0	0	1	Non applicabile					
(1,5 - 2,5) m	0	Non applicabile			-1	0	2	0	1	3						
>2,5 m	0				1	1	2	2	2	3	3	4	6			
		6 balcone			7 balcone			8 balcone			9 terrazza					
Assorbimento del tetto (α_w) \Rightarrow		$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$	$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$	$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$	$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$			
Orizzonte visivo sulla facciata <1,5 m		-1	-1	0	0	0	1	1	1	2	1	1	1	3	3	3
(1,5 - 2,5) m		-1	1	3	0	2	4	1	1	2	3	4	5	5	6	7
>2,5 m		1	2	3	2	3	4	1	1	2	4	4	5	6	6	7
											Ringhiera aperta			Ringhiera chiusa		

Inoltre, il d.P.C.M. 5 dicembre 1997 prevede che il potere fonoisolante apparente di facciata (R') può essere riferito ad una sorgente sonora di rumore "rosa" con un angolo di incidenza di 45° rispetto al piano della facciata, nel qual caso il $R' \approx R'_{45} - 1$, o può essere riferito al rumore da traffico veicolare, nel qual caso $R'_{tr} \approx R'$.

Ciò premesso, è possibile determinare in prima approssimazione l'indice del potere fonoisolante apparente di facciata sulla base dell'indice del potere fonoisolante dei singoli elementi costituenti la facciata mediante la seguente relazione:

$$R'_w = -10 \log \frac{1}{S} \sum S_i 10^{\left(\frac{R_{w,i}}{10}\right)} - C_L \quad (\text{dB})$$

dove $R_{w,i}$ è l'indice del potere fonoisolante del componente i -esimo (serramento, parete, cassonetto, ecc.) di superficie S_i (in m^2), S è la superficie totale della facciata considerata dall'interno dell'ambiente (in m^2) e C_L è la correzione per il contributo globale della trasmissione laterale (può essere posta pari a 0 dB per elementi di facciata non connessi e pari a 2 dB per elementi di facciata pesanti con giunti rigidi).

5.4 Calcolo del livello di rumore da calpestio

Anche in questo caso, nella valutazione del rumore da calpestio viene impiegato un modello di calcolo semplificato indicato dalla norma EN 12354-2, valido nel caso di ambienti sovrapposti e per solai con la struttura di base omogenea.

L'indice del livello di rumore da calpestio normalizzato ($L'_{n,w}$), parametro richiesto dal d.P.C.M. 5 dicembre 1997, è calcolato mediante la seguente relazione.

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

dove $L_{n,w,eq}$ è l'indice di valutazione del livello di pressione di rumore da calpestio normalizzato equivalente relativo al solaio nudo (dB), ΔL_w è il contributo dovuto alla presenza di pavimenti galleggianti e K è il fattore di correzione che tiene conto della trasmissione laterale.

Il valore di K sopra riportato non ha nulla a che vedere con l'indice di riduzione delle vibrazioni K_{ij} visto in precedenza.

Per la maggior parte dei casi, in cui la massa areica del solaio nudo è compresa fra 100 e 600 Kg/m^2 , l'indice del livello equivalente di rumore di calpestio normalizzato ($L_{n,w,eq}$) può essere calcolato con la seguente formula.

$$L_{n,w,eq} = 164 - 35 \log \left(\frac{m'}{m'_0} \right) \quad (\text{dB})$$

dove m' è la massa areica del solaio nudo (in Kg/m^2) e m'_0 è la massa di riferimento, pari a 1 Kg/m^2 .

Sulla base di dati sperimentali, ricavati a partire dall'ipotesi che il carico esercitato dal martello della macchina da calpestio sulla superficie del pavimento (pari a 707 Kg/m^2) sia di tipo "statico" e assumendo valida la teoria classica del comportamento in frequenza del pavimento galleggiante data dalla relazione $\Delta L_n = 30 \log f/f_0$, è possibile calcolare, in prima approssimazione, il valore del contributo dovuto alla presenza di pavimenti galleggianti (ΔL_w) attraverso la seguente relazione semplificata.

$$\Delta L_w = 75 - 20 \log s' \quad (\text{dB})$$

dove s' è il valore della rigidità dinamica (MN/m^3) del materiale resiliente impiegato.

Infine, l'ultimo termine K indica il contributo in dB dovuto alla trasmissione laterale del rumore. Tale valore varia in funzione dalla massa areica del solaio e della media pesata delle masse areiche degli elementi laterali dell'ambiente ricevente, considerato che, tanto minore è la massa areica degli elementi laterali, tanto più elevato è il valore di K .

Nella tabella di seguito riportata sono indicati i termini di correzione K , ricavati da dati sperimentali, e riportati nella citata norma EN.

Massa per unità di area dell'elemento divisorio (pavimento) kg/m ²	Massa media per unità di area degli elementi laterali omogenei non ricoperti con rivestimenti supplementari kg/m ²								
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
100	1	0	0	0	0	0	0	0	0
150	1	1	0	0	0	0	0	0	0
200	2	1	1	0	0	0	0	0	0
250	2	1	1	1	0	0	0	0	0
300	3	2	1	1	1	0	0	0	0
350	3	2	1	1	1	1	0	0	0
400	4	2	2	1	1	1	1	0	0
450	4	3	2	2	1	1	1	1	1
500	4	3	2	2	1	1	1	1	1
600	5	4	3	2	2	1	1	1	1
700	5	4	3	3	2	2	1	1	1
800	6	4	4	3	2	2	2	1	1
900	6	5	4	3	3	2	2	2	2

Termine di correzione K , espresso in dB, che indica il contributo della trasmissione laterale

5.5 Livello di rumore degli impianti tecnologici

Per gli impianti tecnologici, sia il d.P.G.P. 4 agosto 1992, n. 12-65/Leg. in ambito provinciale, sia il d.P.C.M. 5 dicembre 1997, in ambito nazionale, prevedono dei livelli massimi di rumorosità da non superare, misurati negli ambienti disturbati.

Nello specifico, entrambe le norme citate classificano tali impianti, a seconda delle modalità temporali di funzionamento, in:

- *servizi a funzionamento discontinuo*: ascensori, scarichi idraulici, bagni, servizi igienici e rubinetteria;
- *servizi a funzionamento continuo*: impianti di riscaldamento, aerazione e condizionamento.

Tralasciando il contenuto della norma provinciale per la quale, come s'è visto in precedenza, tale indicazione assume carattere orientativo, il d.P.C.M. 5 dicembre 1997 stabilisce i seguenti valori:

- **35 dB(A)** di L_{ASmax} (livello massimo di rumore ponderato "A" con costante di tempo *Slow*) per i servizi a funzionamento discontinuo;

- **25 dB(A)** di L_{Aeq} (livello equivalente di rumore ponderato "A") per i servizi a funzionamento continuo.

La stima dei livelli di rumorosità prodotti dagli impianti tecnologici è estremamente problematica, poiché le variabili in gioco sono molteplici e i risultati sono spesso imprevedibili, causa la notevole difficoltà a sintetizzare aspetti quali materiali impiegati, posa in opera, caratteristiche dell'edificio. Per tale motivo è possibile soltanto definire una previsione quantitativa del fenomeno.

In mancanza di un dato previsionale, verranno descritti nel successivo capitolo alcuni consigli di "buona tecnica" utili a contenere, in relazione all'esperienza condotta in campo, il fenomeno della trasmissione del rumore per via strutturale, essendo questa la componente del rumore maggiormente significativa per quanto attiene gli impianti tecnologici.

6 MODALITÀ OPERATIVE

Durante la trattazione del presente lavoro s'è avuto modo di appurare che la conoscenza delle sole nozioni teoriche, seppur indispensabili, non è sufficiente da sola per portare a buon fine la realizzazione di un'opera; sono altresì necessarie nozioni pratiche, frutto dell'esperienza maturata in campo.

A tale scopo, si ritiene utile proporre alcuni importanti accorgimenti pratici, forniti da operatori del settore, che possono aiutare coloro che, oltre alla fase di progetto, sono impegnati a seguire anche la fase di cantiere.

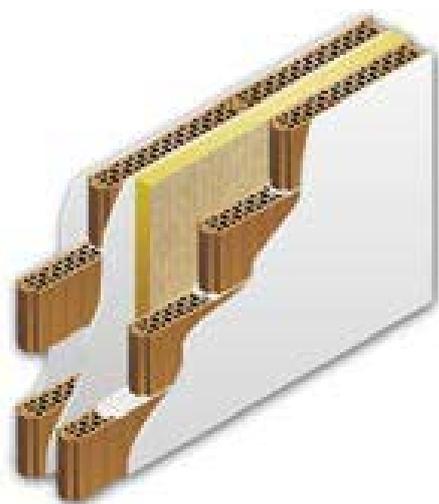
ELEMENTI ANTIVIBRANTI



Nella figura accanto, viene mostrata la corretta messa in opera di una parete divisoria fra unità abitative. Alla base della parete in laterizio è posta una striscia di materiale antivibrante, il quale riduce sensibilmente la trasmissione per via laterale del rumore.

Attraverso misure sperimentali, è stato possibile dimostrare che l'inserimento di uno strato di materiale elastico sul contorno di una delle due pareti, di una doppia parete, determina un miglioramento dell'indice di valutazione R_w di ben **3-4 dB**. Ciò significa contenere la massa areica del divisorio di quasi il 50% e, di conseguenza, anche il costo dell'intervento che, nel caso specifico, è ben inferiore a quello previsto per la messa in opera di tale accorgimento.

PARETI DIVISORIE

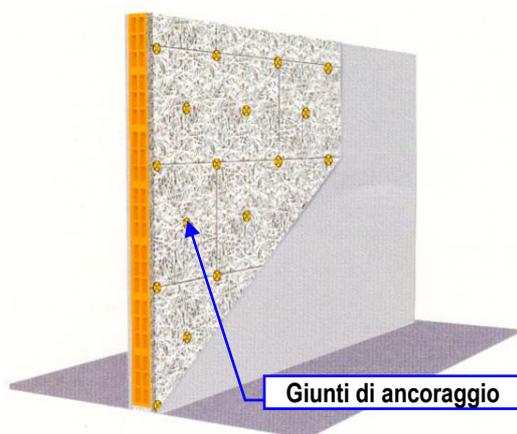


Nella figura accanto, invece, viene mostrato la corretta messa in opera di una parete divisoria fra unità abitative. Il divisorio è composto da una doppia tramezza in laterizio alleggerito dello spessore di 8 cm con intonaco su ambo i lati di 1,5 cm e 5 cm di lana di roccia, a riempimento dell'intercapedine.

Al fine di migliorare ulteriormente le prestazioni acustiche della struttura, è consigliabile costruire le due tramezze con differente spessore o, in alternativa, massa diversa, in modo da non far coincidere le due frequenze di risonanza dei rispettivi elementi.

Il divisorio così costruito garantisce un valore dell'indice del potere fonoisolante (R_w) di ben **57 dB**.

RIVESTIMENTI

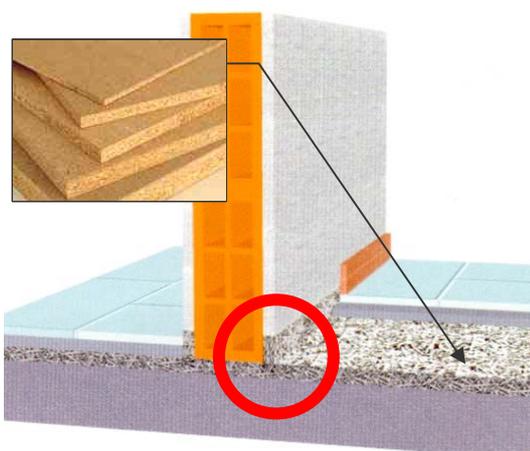


Nel caso in cui si proceda al rivestimento di una parete con materiale isolante, nella fattispecie qui considerata con pannelli di fibre di legno mineralizzate, è consigliabile utilizzare dei giunti di ancoraggio (come indicato in figura) i quali, a differenza del tradizionale incollaggio, riducono la trasmissione sonora, giacché il pannello conserva una maggiore elasticità, cui è associata una maggiore dissipazione dell'energia sonora.

Inoltre, assume particolare rilevanza la presenza dello strato di intonaco, il quale, com'è stato dimostrato attraverso misure sperimentali, fornisce un significativo contributo al potere fonoisolante della parete, specie alle alte frequenze (oltre i 1.000 Hz), grazie all'effetto

sigillante delle porosità e delle fessure presenti, in più contribuisce ad aumentare la massa areica dell'intera struttura.

PAVIMENTI GALLEGGIANTI



Il metodo più diffuso per contenere il livello di rumore da calpestio consiste nello stendere uno strato di materiale resiliente sul solaio nudo, al fine di creare una barriera di separazione fra la soletta e la caldaia.

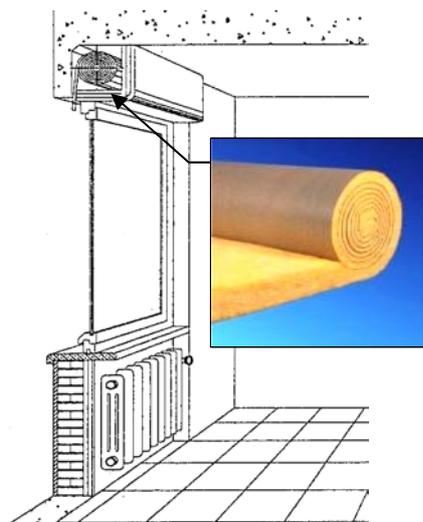
In commercio esistono numerosi materiali adatti a tale scopo, il più diffuso è senza dubbio il sughero sebbene non sia il più efficace, il cui indice di riduzione delle vibrazioni non è, di certo, ai primi posti della categoria. La gomma dura, ad esempio, è un materiale dalle caratteristiche meccaniche decisamente migliori, tuttavia è spesso accantonata per l'avversione nei confronti dei materiali sintetici.

Indice di smorzamento delle vibrazioni (η) pari a 0,2 per il sughero (20% dell'energia meccanica viene dissipata) a fronte di un valori pari a 0,9 per la gomma dura.

Un altro tipo di materiale estremamente efficace all'isolamento acustico dei pavimenti dai rumori da calpestio è la lana di vetro trattata con un speciale legante a base di resine termoindurenti. Ad esempio, un pannello di questo materiale dello spessore di 20 mm ha una rigidità dinamica pari a 8 MN/m³.

Ciò nonostante, al fine di assicurare la buona riuscita dell'intervento, è necessario assicurarsi che il materiale impiegato sia posto in opera correttamente. Spesso, infatti, sono trascurati importanti punti di trasmissione del rumore, primo fra tutti quello costituito dall'intersezione del solaio alle pareti laterali. Pertanto, allo scopo di contenere l'effetto di tali ponti acustici, è necessario che il materiale sia ripiegato anche sui fianchi, fino all'altezza del pavimento, come indicato nella figura sopra riportata.

CASSONETTI DEGLI AVVOLGIBILI



Di norma, si pone molta attenzione alla scelta del serramento, avendo premura di scegliere quello con un adeguato valore di isolamento acustico, mentre si trascura ciò che gli sta attorno e che, sovente, costituisce il vero elemento di criticità dell'intera struttura. È questo il caso dei cassonetti degli avvolgibili i quali, a causa della ridotta massa areica delle pennellature e del foro attraverso il quale scorre la tapparella, offrono una scarsa barriera di protezione al rumore proveniente dall'esterno.

A tale scopo, è necessario rivestire la parte interna del cassonetto con materiale fonoisolante o, in alternativa, utilizzare una doppia pennellatura anche se, in quest'ultimo caso, si deve prestare attenzione a non appesantire eccessivamente la struttura.

SERRAMENTI

Il processo di costruzione dei serramenti è passato da una lavorazione di tipo artigianale, nella quale l'esperienza e la bravura dell'artigiano avevano un ruolo fondamentale per la buona realizzazione del manufatto, ad un sistema di fabbricazione automatizzato che ha consentito di contenere i costi riducendo sensibilmente il divario prestazionale fra i serramenti costruiti dalle diverse aziende.

Le differenti prestazioni acustiche di un serramento esterno sono attribuite alla capacità di ottenere un'elevata tenuta all'aria. A tal fine, è necessario porre attenzione a quegli elementi che sono in grado di pregiudicare tale attributo, ossia al giunto tra telaio e parete, alle battute tra telaio fisso e quello mobile e al giunto tra telaio mobile e vetro.

Un telaio, per essere considerato di buona fattura, deve avere perlomeno il doppio battente e la doppia guarnizione, allo scopo di contenere le componenti di rumore in alta frequenza. A questo punto, l'elemento che differenzia maggiormente il valore di isolamento acustico del serramento è la superficie vetrata.

Oramai, è diventata consuetudine l'impiego di vetri a doppio strato o vetro-camera, in primo luogo per sopperire alla necessità di contenere la dispersione termica. Dal punto di vista acustico, l'elemento stratificato è un elemento complesso, in cui lo spessore della lastra e la larghezza dell'intercapedine hanno un ruolo fondamentale, basti considerare che un'intercapedine d'aria di 2-4 cm produce un miglioramento del potere fonoisolante di 4 dB, mentre un'intercapedine di 10 cm può determinare un miglioramento di anche 9 dB, a parità di massa areica.

In opera, non è possibile aumentare oltre un certo valore la larghezza dell'intercapedine, per evitare spessori del telaio troppo elevati e, pertanto, è necessario aumentare lo spessore della lastra di vetro.

Analogamente a quanto descritto per le pareti monolitiche, anche nel caso di elementi stratificati si assiste ad una diminuzione del potere fonoisolante in corrispondenza della *frequenza di risonanza* e della *frequenza di coincidenza*.

Nel primo caso, è necessario intervenire sulla larghezza dell'intercapedine, al punto che la frequenza di risonanza dell'elemento, nel suo insieme, ricada nella parte dello spettro in cui l'orecchio umano è meno sensibile.

Nel secondo caso, è importante che le due lastre di vetro abbiano spessori differenti, in modo che la caduta del potere fonoisolante, in corrispondenza della frequenza critica di una lastra, sia compensata dal mantenimento delle prestazioni acustiche dell'altra.

6.1 Servizi a funzionamento discontinuo

A seguire verranno trattati alcuni accorgimenti pratici per prevenire o, in ogni caso, ridurre la trasmissione del rumore prodotta dai servizi a funzionamento discontinuo.

In generale, è utile considerare che in tutti i casi che saranno esaminati l'obiettivo posto è quello di sconnettere le strutture dagli elementi vibranti, interponendo degli elementi resilienti o antivibranti, allo scopo di ridurre la componente di rumore più importante, ossia quella trasmessa per via solida.

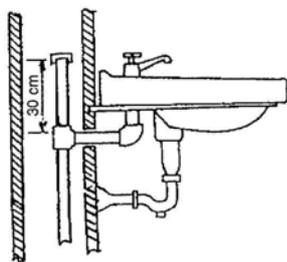
TUBAZIONI

Il rumore emesso dalle tubazioni è prodotto sia dalle vibrazioni trasmesse direttamente alle pareti, attraverso i condotti, sia dalle turbolenze del fluido che in esse scorre.

Per ridurre la trasmissione delle vibrazioni alle pareti, è necessario sconnettere il tubo dall'elemento solido (parete o solaio) attraverso la sistemazione di materiale smorzante (solitamente della gomma morbida o materiale plastico) o il fissaggio di appositi "collari", anch'essi in materiale smorzante.

Invece, per quel che riguarda le vibrazioni prodotte dall'acqua all'interno del tubo, che nella rubinetteria è causa del c.d. *rumore di cavitazione*, queste sono generate in corrispondenza di restrizioni che causano velocità di scorrimento elevate, accompagnate da pressioni molto basse. Il tipico rumore da cavitazione è contraddistinto da componenti in alta frequenza (sibili) e può, in certi casi, essere piuttosto intenso.

Poiché il rumore generato è direttamente proporzionale al salto di pressione, è opportuno installare a monte dell'impianto di ciascun appartamento, un riduttore di pressione il quale permette una maggiore apertura delle valvole. La pressione ottimale non dovrebbe superare i $0,2 \pm 0,3$ MPa, mentre la velocità di scorrimento dell'acqua nelle tubature non dovrebbe andare oltre i $1,5 \pm 2$ m/s. In alternativa, un sistema efficace e al tempo stesso economico, è quello di dotare il rubinetto di un elemento rompi-getto, il quale provoca una riduzione della pressione dell'acqua all'uscita.



Un altro rischio di disturbo è dato dal c.d. "*colpo di ariete*", fenomeno causato dalla brusca interruzione del flusso d'acqua all'interno tubo. Tipico esempio è il colpo che si avverte quando chiudiamo repentinamente il rubinetto. Tale fenomeno può essere controllato utilizzando una valvola che estingua lentamente il flusso, oppure installando una camera d'aria ad assorbimento d'urto vicino alla valvola di condotta, in modo che l'aria intrappolata nello spezzone di tubo funga da cuscinetto per assorbire l'urto.

SCARICHI

Le emissioni sonore prodotte dallo scarico sono sorgenti sonore piuttosto elevate tanto che, in assenza di adeguate precauzioni, possono produrre, all'interno degli ambienti abitativi che le generano, livelli di rumorosità prossimi ai 70 deciBel. Le cause sono imputabili essenzialmente alle turbolenze prodotte dall'aspirazione di aria attraverso l'apertura.

Gli interventi concretamente attuabili sono pochi, fra i quali:

- evitare connessioni rigide con le strutture;
- aumentare la sezione del collettore, in modo da ridurre la velocità di deflusso delle acque;
- evitare pendenze elevate del tubo di collegamento fra sifone e colonna di scarico, al fine di ridurre l'aspirazione d'aria verso il sifone che è la causa dei tipici gorgoglii.

ASCENSORI

Gli ascensori sono solitamente causa di disturbo in strutture in cui la quiete rappresenta un elemento essenziale per il loro utilizzo, quali ospedali, alberghi, ecc.. In taluni casi, possono divenire motivo di disturbo anche nelle abitazioni residenziali a causa del rumore prodotto dai meccanismi di guida della cabina, dall'apertura-chiusura delle porte, dagli apparecchi di sollevamento, ecc..

In commercio, esistono due tipi di ascensori: idraulici o oleodinamici e a fune. Dal punto di vista del minor impatto, quelli idraulici sono da preferire, poiché l'unica componente del rumore rilevante è costituita dal motore idraulico di sollevamento. Tuttavia, questi impianti, a causa della ridotta lunghezza di corsa, non possono essere impiegati in edifici con molti piani.

Per entrambe le soluzioni, il rumore generato si propaga per via strutturale ed è quindi necessario intervenire con alcuni accorgimenti basilari:

- realizzare il vano ascensore con pareti in muratura ad elevata massa areica (ad es. in c.l.s. di almeno 20 cm di spessore);
- applicare elementi elastici a ridosso dei pannelli che supportano i relais e teleruttori;
- montare i motori di sollevamento su supporti antivibranti;
- evitare l'accostamento al vano ascensore di stanze da letto o locali in cui è richiesta particolare tranquillità.

6.2 Servizi a funzionamento continuo

IMPIANTI DI CLIMATIZZAZIONE

Le unità di climatizzazione moderne a servizio delle unità abitative sono solitamente immuni da disturbi acustici interni all'edificio, poiché di piccole dimensioni e con unità di climatizzazione interna appositamente ideata per tali applicazioni.

I problemi possono tuttavia manifestarsi per quegli impianti, di generosa potenza, a servizio di più unità abitative o quando l'unità refrigerante o l'unità di raffreddamento sono poste all'esterno all'abitazione. In questo caso, i problemi che si riscontrano sono solitamente di due tipi:

- rumore aereo prodotto dai gruppi compressori e dalla ventola di raffreddamento;
- vibrazioni trasmesse all'interno dell'edificio.

Relativamente al primo punto, la maggior parte dei produttori riportano oramai da tempo, nella relativa scheda tecnica, il livello di pressione sonora (L_p) misurato ad una data distanza dall'impianto o, in alternativa, il dato di potenza sonora (L_w).

A titolo di esempio, si riportano di seguito i dati di pressione sonora di due comuni impianti di climatizzazione utilizzati negli edifici di civile abitazione.



Unità split

Livello di rumorosità unità interna 46 dB(A)
Livello di rumorosità unità esterna 52 dB(A)



Climatizzatore con unità esterna

Rumorosità max unità interna 40 dB (A)
Rumorosità max unità esterna 56 dB (A)

Attraverso questi dati, è necessario valutare il luogo ove l'impianto risulta meno impattante, avendo premura, in ogni caso, di garantire il rispetto dei livelli massimi di rumore stabiliti dal citato d.P.C.M.. A tale scopo, è necessario operare la valutazione dell'abbattimento acustico dell'elemento strutturale di separazione (parete o solaio) seguendo i metodi empirici trattati nei capitoli precedenti.

Per quanto riguarda invece l'aspetto vibrazionale, è necessario che le staffe di supporto dell'impianto siano provviste di idonei giunti antivibranti.

IMPIANTI DI RISCALDAMENTO

Per quanto attiene le centrali termiche, le principali sorgenti di rumore sono costituite dal *bruciatore* (ventilatore per l'aria comburente), dalla *fiamma* e dalla *canna fumaria*. In genere, per impianti autonomi ad uso condominiale, i rischi di disturbo acustico sono limitati al rumore di combustione, prodotto dalla fiamma, percepibile come un "rombo" con frequenze medio-basse. Il solo modo per contenere tale fenomeno è, se l'impianto è obsoleto, quello di sostituire la caldaia con una nuova ben progettata, avendo cura di privilegiare, al momento dell'acquisto, quella con un funzionamento della fiamma di tipo modulato, al fine di ridurre il c.d. "*effetto esplosivo*" tipico della fase di avviamento.

Per impianti centralizzati, è invece opportuno che la centrale termica sia collocata all'esterno dell'immobile o sotto un locale secondario o di servizio e che sia delimitata da strutture ad elevato potere fonoisolante, specie alle basse frequenze, ossia quelle tipicamente prodotte dalla combustione. La caldaia dovrà, inoltre, essere montata su supporti antivibranti, per interrompere le vie di propagazione delle vibrazioni prodotte dal bruciatore.

Infine, la canna fumaria, la quale può indurre effetti di risonanza alle basse frequenze, soprattutto in caldaie di grosse dimensioni, tipiche di impianti centralizzati. In tal caso, è consigliabile inserire un elemento elastico di collegamento alla caldaia e l'impiego di canne fumarie coibentate in acciaio, ancorate con supporti antivibranti alle pareti.

POMPE DI CIRCOLAZIONE

Nel caso di impianti a circolazione forzata, quali quelli di riscaldamento, le principali vie di propagazione del rumore, prodotto dalle pompe di circolazione, sono individuate nelle tubazioni e nei radiatori. A tal fine, le tubazioni devono essere dotate di giunti elastici e ancoraggi flessibili, oltre che opportunamente dimensionate, al fine di evitare elevate velocità di circolazione dell'acqua.

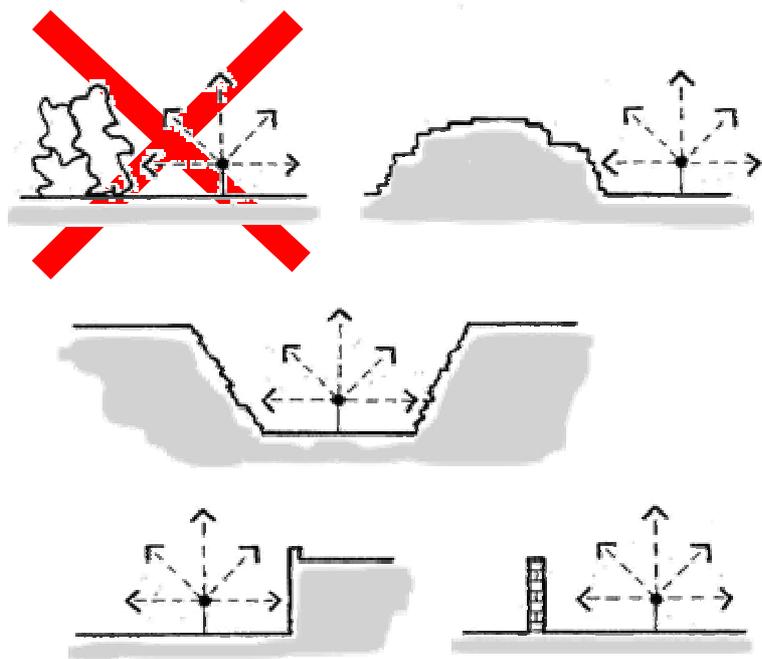
Anche gli elementi termo-radianti possono diventare un'importante sorgente di rumore, specialmente nel momento in cui le tubature non siano state opportunamente isolate. In tal caso, è necessario inserire un collegamento elastico con la tubatura o, in alternativa, un supporto elastico per l'ancoraggio alla parete o al solaio.

7 INTERVENTI PASSIVI DI CONTENIMENTO DEL RUMORE

Quanto descritto nei precedenti capitoli ha avuto lo scopo di definire i criteri per una corretta protezione contro il rumore a partire dalle caratteristiche acustiche dei materiali, prodotti e componenti edilizi, aspetti essenziali al fine di creare un ambiente confortevole e acusticamente isolato. Tuttavia, non è possibile che la lotta contro il rumore sia centrata avvalendosi unicamente di tali accorgimenti, poiché se ciò può essere considerato adeguato in aree tranquille, non altrettanto si può dire nel caso in cui i livelli di rumore esterni all'abitazione siano elevati, ad esempio, per la presenza di una strada trafficata. Di conseguenza, è necessario intervenire attraverso un'adeguata progettazione dell'involucro dell'edificio e su ciò che ci sta attorno.

In questo capitolo, andremo quindi a definire alcuni semplici ma fondamentali elementi circa una corretta progettazione ambientale passiva, con l'obiettivo di ridurre l'esposizione al rumore prima che questo entri nelle nostre case.

L'approccio utilizzato è quello di seguire un criterio di progettazione per comparti concentrici, partendo dall'esterno, ossia dalla scelta delle aree edificabili, e procedendo via via verso l'interno fino ad arrivare alla corretta disposizione degli ambienti abitativi.



Tralasciando la valutazione degli elementi di compatibilità circa la destinazione d'uso delle aree edificabili, è opportuno definire, in primo luogo, quegli elementi plano-altimetrici che consentano di porre ostacolo alla propagazione del rumore.

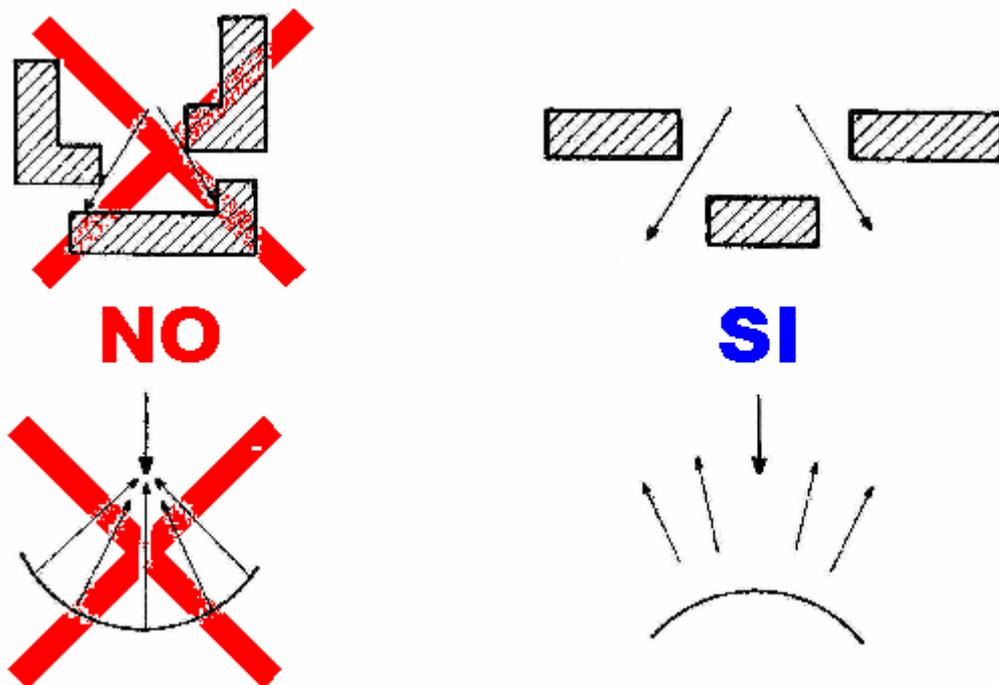
Nella figura a fianco, sono riportati alcuni schermi protettivi realizzabili con costi relativamente contenuti o, comunque, decisamente inferiori alla somma degli oneri derivanti dalla perdita di valore dell'immobile e agli eventuali sistemi di contenimento da realizzare una volta che l'edificio è terminato.

Spesso v'è la convinzione che frapporre fra la sorgente e il ricettore un filare alberato o della vegetazione sia un valido sistema di protezione contro il rumore; nulla di più sbagliato, il grado di mitigazione offerto dalle fronde degli alberi è contenuto entro un valore massimo di 2-3 dB, con attenuazioni centrate su frequenze medio-alte, fuori dal campo di interesse di sorgenti quali il traffico veicolare.

In tutti gli altri casi sopra esposti, l'elemento in comune è costituito dalla necessità di interrompere o deviare il fascio di onde sonore che collega, in linea retta, la sorgente al ricettore (edificio), costringendo il rumore a compiere un percorso più lungo, perdendo così di intensità.

Alle volte, un semplice rilevato in terra, un muro di cinta (in legno, laterizio, c.l.s. rivestito, ecc.), una scarpata erbosa, sono accorgimenti sufficienti per ridurre in maniera sensibile i livelli di rumorosità in facciata ad un edificio esposto alla rumorosità di una strada.

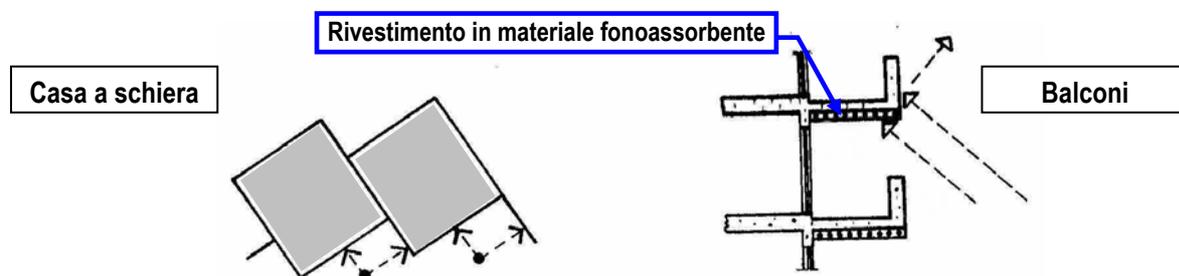
Successivamente, si andrà a definire la distribuzione planimetrica degli edifici e i rapporti in altezza tra i volumi delle strutture edilizie. Ad esempio, la realizzazione di comparti edilizi chiusi può favorire riflessioni sonore multiple con conseguente aumento dei livelli di rumorosità in facciata agli edifici esposti, mentre edifici ben distanziati assicurano un livello di pressione acustica omogeneamente distribuito.



Analogamente, nel caso di edifici con facciate curvilinee, il lato rivolto verso la sorgente di rumore (strada, ferrovia, attività produttiva, ecc.) dovrà avere una forma convessa allo scopo di favorire la dispersione delle onde sonore.

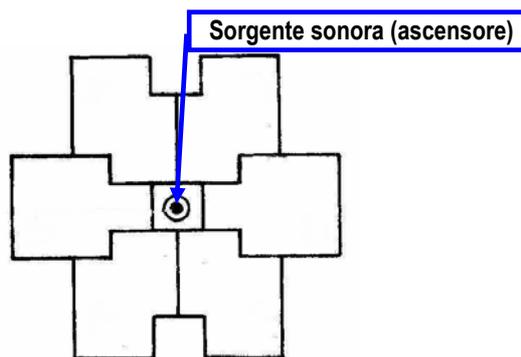
Nel caso invece di corpi abitativi concatenati, quali le case a schiera, è utile introdurre uno sfalsamento dei corpi di fabbrica, il quale può costituire un ulteriore ostacolo alla propagazione del rumore.

Inoltre, nel caso in cui, sul lato sorgente, siano previsti dei poggioli, è consigliato il rivestimento della parte superiore della loggia con materiale fonoassorbente, oltre che realizzare parapetti monolitici i quali offrono una buona schermatura al rumore per gli ambienti retrostanti.



Un'efficace politica di prevenzione passiva contro il rumore non si limita a definire ciò che sta fuori l'edificio ma si estende anche al suo interno.

La corretta e razionale sistemazione degli spazi interni limita la propagazione dei rumori. Il principio da seguire è quello di concentrare il più possibile gli spazi di collegamento verticale ed orizzontale, al fine di contenere le superfici di contatto fra le diverse unità abitative.



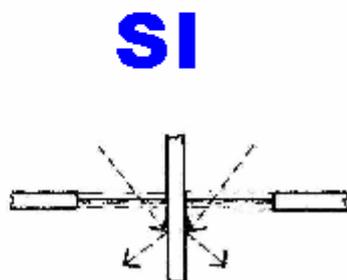
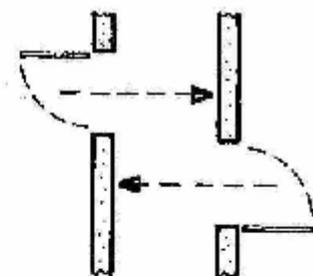
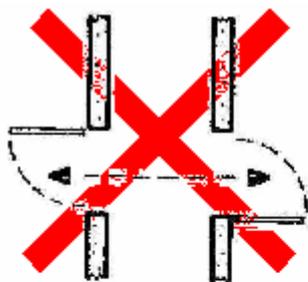
Oltre agli scarichi, un'altra sorgente di rumore particolarmente rilevante all'interno di un edificio è, certamente, il vano ascensore.

Nell'esempio riportato a fianco, preme far notare che la scelta adottata consente di ottenere delle superfici a contatto con le sei unità abitative estremamente ridotte. In tal modo, la propagazione del rumore attraverso le partizioni verticali e orizzontali è ridotta al minimo.

Anche le pareti di separazione fra i diversi appartamenti hanno una superficie di irradiazione

limitata, condizione che aiuta a migliorare l'isolamento acustico fra le diverse unità abitative.

Lo schema riportato in figura rappresenta uno dei migliori esempi di utilizzo degli spazi in edifici di tipo condominiale.



L'affinamento del progetto può estendersi alla corretta sistemazione degli spazi interni all'appartamento.

Ad esempio, la disposizione non speculare delle aperture impedisce un'immissione diretta del rumore da una stanza all'altra, in quanto le pareti interne fungono da ostacolo.

Un altro caso, riguarda la propagazione per via aerea del rumore fra due stanze, o fra due unità abitative. Il problema, può essere risolto protrando la parete divisoria fin oltre il filo della facciata, in modo che il rumore in uscita dagli ambienti abitativi venga deviato.

Tuttavia, è necessario considerare che la lunghezza dell'appendice è proporzionale alla larghezza dell'apertura finestrata; per questo motivo, la superficie finestrata deve essere limitata, allo scopo di evitare grandi appendici antiestetiche.

Quanto sopra descritto è la chiara dimostrazione che costruire un ambiente acusticamente isolato non significa necessariamente dover sostenere costi elevati, anzi, nella maggior parte dei casi la spesa è di modesta entità, se non addirittura nulla.

8 GIURISPRUDENZA

Il crescente aumento del valore immobiliare ma, soprattutto, la maggiore sensibilità generale della popolazione hanno contribuito a far maturare l'attenzione nei confronti del bene "casa", accorta, non solo alla qualità costruttiva, ma anche ad aspetti meno "visibili", quali il comfort abitativo. Oramai, il mercato pone attenzione a temi che, fino a pochi anni or sono, rappresentavano un'ideale, fra cui appunto un'adeguata insonorizzazione acustica.

Spesso l'offerta si trova impreparata nel rispondere appieno a tali esigenze, concentrata com'è a trarre, da quel bene, il massimo profitto. Di qui le ragioni per cui, di fronte a situazioni di sofferenza ed in mancanza di un'adeguata tutela del disturbato, da parte delle vigenti norme amministrative, è cresciuto il numero dei contenziosi in sede civile, fra l'acquirente dell'immobile e il progettista o l'impresa di costruzioni, allo scopo di far cessare le cause del disturbo e per ottenere il risarcimento dei danni subiti.

Nell'ampia casistica delle vertenze giudiziarie, le rivendicazioni sono centrate principalmente su tre aspetti:

- la valutazione delle emissioni sonore in relazione al criterio giurisprudenziale della *normale tollerabilità*, ai sensi dell'art. 844 c.c.;
- la valutazione dei requisiti acustici passivi dell'edificio, in relazione ai quali verificare il soddisfacimento del c.d. criterio di "buona tecnica";
- la quantificazione della svalutazione dell'immobile.

Il principio generale, su cui si fonda lo stesso d.P.C.M. 5 dicembre 1997 recante "*Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici*", è stato definito dal documento interpretativo numero 5 del 1994 recante "*Protezione contro il rumore*", in ottemperanza alla direttiva europea n. 89/106 del 1988, nel quale è richiesto che "*l'opera deve essere concepita e costruita in modo che il rumore, cui sono sottoposti gli occupanti della stessa e le persone situate in prossimità, si mantenga a livelli che non nuocciano alla loro salute e tali da consentire loro soddisfacenti condizioni di sonno, riposo e lavoro*". Su tale principio fondamentale si sono centrate e sviluppate le disposizioni legislative regolamentari e amministrative degli Stati membri concernenti i prodotti da costruzione.

Tale requisito, può riguardare tutte le opere, nella misura in cui la salute delle persone può essere influenzata dal livello dei rumori ai quali sono esposte, in relazione alla nozione di "benessere", applicabile al sonno, al riposo e alle attività lavorative.

Tuttavia, mettere in correlazione il giudizio legato alla percezione sonora del soggetto disturbato con un dato tecnico di verifica in campo, attraverso cui definire la quantificazione dell'eventuale danno subito, è cosa assai complessa, prova ne sono le differenti interpretazioni giurisprudenziali in materia.

Intraprendere un'azione civile significa voler rivendicare, di fronte al Giudice, il danno subito da un soggetto a seguito di un'accertata menomazione, sia essa di carattere patrimoniale che fisico.

La casistica giurisprudenziale ha individuato tre grandi categorie di danno: *danno patrimoniale*, *danno biologico* e *danno morale*.

Il danno patrimoniale, comprende qualsiasi pregiudizio che incida sulla sfera dei beni di un dato soggetto e che sia suscettibile di valutazione economica.

Il danno biologico, interessa la sfera del diritto all'integrità psicofisica di una persona, comprendendo aspetti quali lo stress, una malattia che determini un'invalidità permanente o anche solo temporanea, fino a giungere ad una diminuzione della vita di relazione.

Infine, il danno morale, ossia il danno che subisce il soggetto a seguito di dolore psichico, qui citato a titolo puramente informativo, giacché applicato solo quando derivi da reato.

Al danno corrisponde la sanzione del risarcimento che può avvenire in *forma specifica* (art. 2058 c.c.), attraverso il ripristino dello *status quo ante*, o per *equivalente monetario* (art. 2056 c.c.) corrispondente alla liquidazione di una somma di denaro commisurata al danno patito.

Nel campo immobiliare, il danno che il bene subisce è principalmente attribuibile ad una diminuzione del suo valore commerciale, considerato che, noto il vizio del bene oggetto di contratto, lo stesso diviene meno appetibile ed il suo prezzo conseguentemente cala. Inoltre, il valore di un immobile deve essere considerato non solo come *valore di vendita* ma anche come *valore d'uso*. È questo il caso sicuramente più frequente, poiché la contestazione è avanzata da coloro che quel bene lo hanno in godimento e, proprio per questo, non vogliono cederlo.

Fra le cause responsabili della perdita di valore dell'immobile v'è la considerazione che, "*...in presenza di immissioni di rumore intollerabili, che ostacolano il pieno godimento del bene, queste incidono sulla personale libertà di condurre una vita domestica secondo le convenienti condizioni di quiete.*" (Cass.Civ. Sez. Un. 15 ottobre 1998, n. 10186). Tale principio sancisce il diritto di poter fruire liberamente, e quindi anche silenziosamente, della propria abitazione.

Tuttavia, al fine di mettere in relazione la valutazione tecnica, attraverso verifiche sperimentali dei limiti di immissione sonora e requisiti acustici passivi degli edifici, con il profilo giurisprudenziale, inerente la valutazione del danno subito, è necessario verificare se l'opera è stata eseguita a "regola d'arte", ossia rispettando i tradizionali canoni di buona tecnica. Tale valutazione può essere estesa anche alla relazione tecnica redatta dal progettista, qualora la stessa risulti incompleta o difforme a quanto imposto dalla specifica normativa di settore.

La relazione tecnica del progettista diviene, in questo caso, un atto di *obbligazione contrattuale* nei confronti dell'acquirente o committente dell'opera ma anche dell'impresa di costruzioni, poiché la stessa è conseguenza di una specifica norma (d.P.C.M. 5 dicembre 1997) e come tale soggetta alla valutazione del comportamento soggettivo di cui all'art. 1176 c.c. (*Diligenza nell'adempimento*), con riferimento alla natura dell'attività esercitata. Infatti, il contenuto dell'obbligazione consiste nelle tecniche proprie dell'attività specializzata e del grado di diligenza del progettista o dell'impresa, esperti entrambi in un'attività professionale, i quali dovranno operare in riferimento al risultato specifico che ha comportato l'obbligazione assunta, ossia all'individuazione delle necessarie opere di contenimento delle immissioni sonore, per il primo, e alla corretta esecuzione dei lavori, per il secondo.

L'adempimento della prestazione secondo la regola d'arte, costituisce un'*obbligazione di risultato* che è rilevante per:

- stabilire, ai sensi dell'articolo 1218 c.c., la responsabilità del progettista o dell'impresa di costruzioni, i quali sono tenuti al risarcimento del danno se non hanno eseguito esattamente la prestazione dovuta, fatta eccezione nel caso in cui tale inadempimento sia derivato da cause a loro non imputabili;
- stabilire, da parte dell'acquirente o del committente, secondo quanto previsto dall'articolo 2224 c.c., un congruo termine entro il quale il progettista o l'impresa di costruzioni devono conformarsi alle condizioni di contratto e a regola d'arte; trascorso inutilmente tale termine, è data facoltà di recedere dal contratto, salvo il diritto al risarcimento del danno.

La verifica può essere estesa anche in relazione a quanto stabilito dall'art. 134 del d.P.R. 6 giugno 2001, n. 380 recante "*Testo unico sull'edilizia*", il quale prevede che "*...qualora l'acquirente o il conduttore dell'immobile riscontra difformità dalle norme del presente testo unico, anche se non emerse da eventuali precedenti verifiche, deve farne denuncia al comune entro un anno dalla*

constatazione, a pena di decadenza dal diritto di risarcimento del danno da parte del committente o del proprietario“.

Nei casi in cui sia disposto il risarcimento monetario a favore del proprietario, tale somma può risultare elevata, nell'ordine del 15-20% del valore dell'immobile, se non addirittura superiore. Tuttavia, tale somma dipende da numerosi fattori, quali: posizione, valore dell'immobile, entità del disturbo, ecc., che rendono la valutazione differente da caso a caso.

A questo punto, è inevitabile rilevare il notevole divario creatosi fra la rivendicazione assunta in ambito amministrativo, per la quale, qualora ne sia accertata la violazione della norma, è prevista l'irrogazione di una sanzione, senza peraltro l'obbligo di ripristino dell'opera, ed un eventuale contenzioso in ambito civile.

Siffatta disparità di trattamento, pone, chi lamenta una grave deficienza strutturale, nella condizione di dover contestare al progettista/costruttore il danno patito esclusivamente davanti al Giudice, in relazione al principio istituito dalla citata direttiva europea n. 89/106 del 1988. Tuttavia, anche questa via non è certo priva di controindicazioni, fra le quali spiccano i lunghi tempi in capo all'ordinamento italiano e, in ogni caso, consapevoli che il risultato è, spesso, incerto.

Pare pertanto auspicabile un sollecito intervento del legislatore nazionale al fine di porre chiarezza a questa iniqua situazione. Tale intervento garantirebbe una maggior tutela nei confronti dell'acquirente e, nel contempo, offrirebbe la dovuta garanzia ai due principali soggetti attivi nella realizzazione dell'opera, ossia il progettista e l'impresa di costruzioni.

9 CONCLUSIONE

In questo lavoro ho cercato di esporre in maniera semplice ma diretta gli aspetti più importanti in merito alla valutazione degli elementi strutturali degli edifici, ponendo particolare attenzione alle indicazioni espresse dalla normativa di settore. Lo scopo non è stato, quindi, quello di definire nel dettaglio ciascun argomento trattato ma, piuttosto, quello di voler fornire degli utili strumenti di lavoro da impiegare nell'attività pratica di tutti i giorni, specie nei confronti di chi ha avuto, fino ad oggi, un approccio alla materia piuttosto marginale.

Certamente, non basta seguire le presenti indicazioni per potersi fregiare del titolo di "esperto in acustica", anche se sono convinto che grazie all'esperienza personale, che ognuno di voi potrà sviluppare in campo, affiancando al calcolo previsionale la sperimentazione con specifiche misurazioni fonometriche, potrete acquisire importanti elementi per migliorare la vostra attività o, semplicemente, per risolvere delle specifiche problematiche richieste dal committente.

Nel prossimo futuro sono previste importanti novità, fra cui la proposta di certificazione del "prodotto casa", nell'ottica di fornire una maggiore tutela del consumatore, senza distogliere l'attenzione dall'obiettivo principale, ossia di prevenire il disturbo all'interno delle abitazioni. Inoltre, si auspica che l'isolamento acustico di un edificio sia valutato non solo in relazione alla sua destinazione d'uso ma sia anche commisurato al luogo ove questo è posto; avendo premura di considerare che un edificio situato in aperta campagna necessita di una protezione differente rispetto ad uno che è vicino ad una ferrovia, al fine di evitare che l'isolazione acustica risulti eccessiva e, quindi, inutilmente onerosa o magari del tutto insufficiente.

Il percorso che ci attende è senz'altro lungo e non privo di difficoltà, tipici dei nuovi cambiamenti, specie quando questi ci espongono a maggiori costi e a maggiori responsabilità. Tuttavia, sono altrettanto convinto che i benefici acquisiti potranno essere apprezzati da tutti, considerato che tutti noi siamo o potremmo essere dei potenziali acquirenti.

10 BIBLIOGRAFIA

Gerola F., Mattevi L., 1996, *Controllo della rumorosità da traffico veicolare*, Provincia Autonoma di Trento, Agenzia Provinciale per la Protezione dell'Ambiente, Trento, 1997.

Ambrogetti.F, 2002, *Edilizia residenziale: progettazione e verifica in campo del comportamento acustico*, tesi di laurea, anno accademico 2001-2002, Università degli studi di Trento, Facoltà di Ingegneria.

Gigante R., 1996, *Rumore ed isolamento acustico*, Manuale di progettazione con guida all'applicazione della Legge quadro sull'inquinamento acustico, Dario Flaccovio Editore, 1996.

Toni M., 1997, *Interventi, materiali e strumenti per l'isolamento acustico degli edifici*, Maggioli Editore, Rimini, 1997.

Campolongo G., 2000, *Influenza del rumore sul valore immobiliare*, Atti del convegno, Milano, 2000.

Garai M., Secchi S., Semprini G., *Isolamento acustico degli edifici*, Metodi di calcolo a partire dalle prestazioni dei componenti, Maggioli Editore, 2000.

Albatici R., Di Bella A., Di Cesare G., Fausti P., Frattari A., Pompoli R., Righetti G., Secchi S., Zanarini G., Zecchin R., 2000, *Isolamento acustico di pareti in laterizio: misure sperimentali e metodi di previsione*, Convegno l'acustica applicata all'edilizia, Verona, 2000.

Spagnolo R., *Manuale di acustica applicata*, Utet Libreria, 2001.

Fertonani D., *Misure acustiche e relative normative*, 2001.

Novo M., Novo S., *Requisiti acustici, inquinamento da rumore e valore immobiliare*, Laboratorio di acustica applicata, Limbiate (MI).

Elia G., Geppetti G., *Progettazione acustica di edifici civili e industriali*, La Nuova Italia Scientifica, 1994;

Converso A., *Il danno patrimoniale sugli immobili*, Atti del convegno Influenza del rumore sul valore immobiliare, Milano, 2000;

Benedetti G., *La definizione giuridica di regola d'arte e di norma tecnica della sicurezza degli impianti*.

APPENDICE

Materiale	densità ρ (kg/m ³)	Modulo di Young E (N/m ²)	Coeffi- ciente di Poisson ν	Velocità longitudi- nale del suono c_L (m/s)	Smorza- mento interno η	Prodotto $m'f_c$ (kg Hz/m ²)	Riferi- menti
Materiali strutturali							
Calcestruzzo denso gettato	1900÷3400	25÷26x 10 ⁹	≈ 0,2	3100÷3500	0,004÷0,02	43000	(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7)
Calcestruzzo alleggerito	1300	0,38x10 ¹⁰	≈ 0,2	1700	0,015	44200	(3) (4) (5) (7)
Calcestruzzo aerato da autoclave	600÷650	0,2x10 ¹⁰	≈ 0,2	1400÷1700	0,01	21450	(3) (4) (5) (7)
Mattoni	1900÷2300	1,6x10 ¹⁰	≈ 0,2	2500÷3000	0,01÷0,02	34700÷ 58600	(1) (2) (3) (4)
Blocchi per muratura	750		≈ 0,2		0,005÷0,02	23200	(1) (4)
Parete in mattoni forati da 12 cm inton.	1250		≈ 0,2	2068			(4) (8) (9)
Intonaco	1700	0,44x10 ¹⁰		1600	0,005÷0,05	24500	(1) (2) (3)
Lastra di gesso spessa 1.25÷5 cm	650 880	16x10 ⁹		6800 4300	0,01÷0,03	20000	(1) (6) (10)
Altri materiali edili							
Acciaio	7700÷7800	19,5÷21x 10 ¹⁰	0,28÷0,31	5050÷6100	0,0001÷0,01	96100÷ 99300	(1) (2) (3) (5) (6)
Alluminio	2700	70÷72x10 ⁹	0,33÷0,34	5000÷6300	0,0001÷0,01	32400÷ 34700	(1) (2) (3) (5) (6) (10)
Asfalto	1800÷2300	0,77x10 ¹⁰		1900	0,38		(3)
Gomma dura	1100	0,2÷0,23x 10 ¹⁰	0,4	1450÷2400	1	49610	(3) (6)
Gomma morbida	950	0,0005x 10 ¹⁰		1050		59090	(6)
Legno di abete	400÷700	1÷5x10 ¹⁰		2500÷3800	0,008÷0,04	4880	(1) (3)
Legno compensato	600	6÷12x10 ⁹		3200÷4500			(10)
Piombo	11000÷ 11300	1,58÷1,7x 10 ¹⁰	0,43÷0,44	1200÷2050	0,01÷0,015	605000÷ 615850	(1) (2) (3) (6)
Metacrilato di metile (Plexiglas ®)	1150÷1190	3,73÷5,6x10 ⁹	0,4	1800÷2200	0,02÷0,04	35400	(1) (2) (3)
Sabbia asciutta	1500	≈0,003x 10 ¹⁰		100÷170	0,06÷0,12		(3)
Sughero	120÷250	0,0025÷ 0,003x10 ¹⁰	0,4	430÷500	0,13÷0,17	32675	(3) (4) (6)
Vetro	2300÷2600	60÷70 x10 ⁹	0,24	4900÷5600	0,001÷0,01	30500÷ 38000	(1) (2) (3) (5) (6) (10)

Proprietà fisiche di alcune dei principali materiali impiegati nelle costruzioni edilizie