



POLITECNICO DI MILANO

*Prima Scuola di Architettura*

*Corso di Architettura - MI*

# RISTRUTTURAZIONI ACUSTICHE

*Soluzioni tecnologiche ed analisi di un caso studio*

Andrea Bergomi      matricola 177133

*Relatore:*      Prof. Paolo Oliaro

*Correlatore:*      Matteo Borghi

---

*Anno Accademico 2013/2014*

# INDICE

<b>Cap.1</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>pag. 7</b>
<b>Cap.2</b>	<b>ACUSTICA EDILIZIA Concetti generali</b>	<b>pag. 9</b>
2.1	Come si propagano i suoni negli edifici	pag. 9
2.1.1	<i>Il suono e la sua percezione</i>	
2.1.2	<i>Propagazione del suono all'interno degli edifici</i>	
2.1.3	<i>Il tempo di riverberazione</i>	
2.2	Fonoassorbimento e fonoisolamento	pag. 12
2.3	Isolamento acustico e potere fonoisolante	pag. 13
2.4	Il livello di rumore da calpestio	pag. 15
2.5	Indici di valutazione	pag. 16
2.6	Descrittori acustici	pag. 18
2.6.1	<i>Grandezze apparenti</i>	
2.6.2	<i>Curve di ponderazione</i>	
2.6.3	<i>Livello sonoro equivalente e costanti di tempo</i>	
2.6.4	<i>Definizioni dei descrittori</i>	
<b>Cap.3</b>	<b>LEGISLAZIONE E NORME TECNICHE DI RIFERIMENTO</b>	<b>pag. 22</b>
3.1	Legislazione nazionale	pag. 22
3.1.1	<i>Legge 447 del 26-10-1995</i>	
3.1.2	<i>D.P.C.M. 5-12-1997</i>	
3.1.3	<i>Leggi comunitarie 2008-2009</i>	
3.2	Legislazione regionale	pag. 28
3.3	Norme per la progettazione dei requisiti acustici passivi	pag. 29
3.4	Norme per la misura in opera dei requisiti acuitici passivi	pag. 31
3.5	Classificazione acustica degli edifici	pag. 32
3.5.1	<i>La vigente normativa</i>	
3.5.2	<i>UNI 11367</i>	
3.5.3	<i>UNI 11444</i>	

<b>Cap.4</b>	<b><i>METODI DI CALCOLO PREVISIONALE</i></b>	<b>pag. 37</b>
4.1	- Premessa	pag. 37
4.2	- Calcolo dell'indice di potere fonoisolante apparente	pag. 38
4.3	- Calcolo dell'indice di livello di isolamento acustico di facciata	pag. 44
4.4	- Calcolo dell'indice del livello di rumore da calpestio	pag. 47
<b>Cap.5</b>	<b><i>TECNICHE DI MISURA IN OPERA</i></b>	<b>pag. 50</b>
5.1	- Considerazioni iniziali	pag. 50
5.2	- Potere fonoisolante apparente	pag. 52
5.3	- Isolamento dai rumori provenienti dall'esterno	pag. 55
5.4	- Livello di rumore di calpestio	pag. 57
<b>Cap.6</b>	<b><i>SOLUZIONI TECNOLOGICHE PER LE RISTRUTTURAZIONI ED INDICAZIONI DI POSA IN OPERA</i></b>	<b>pag. 59</b>
6.1	- Premessa	pag. 59
6.2	- Materiali isolanti e posa in opera	pag. 60
6.2.1	- <i>Materiali utilizzati nei sistemi per l'isolamento acustico</i>	
6.2.2	- <i>Materiali isolanti in intercapedine</i>	
6.3	- Isolamento ai rumori aerei	pag. 62
6.3.1	- <i>Pareti in laterizio</i>	
6.3.2	- <i>Pareti realizzate a secco</i>	
6.3.3	- <i>Sistemi misti</i>	
6.4	- Isolamento rispetto ai rumori esterni	pag. 66
6.4.1	- <i>Indicazioni generali</i>	
6.4.2	- <i>Serramenti ed indicazioni di posa in opera</i>	
6.4.3	- <i>Bocchette di areazione e sistemi di ricambio d'aria</i>	
6.5	- Isolamento ai rumori di calpestio	pag. 68
6.5.1	- <i>Indicazioni generali</i>	
6.5.2	- <i>Massetti galleggianti</i>	
6.5.3	- <i>Sottofondi a secco</i>	
6.5.4	- <i>Materiale elastico sottopavimento</i>	
6.5.5	- <i>Controsoffitti</i>	

<b>Cap.7 ANALISI DEL CASO STUDIO</b>	pag. 75
7.1 - <b>Descrizione dell'immobile</b>	pag. 75
7.1.1 - <i>Localizzazione dell'edificio</i>	
7.1.2 - <i>Caratteristiche dimensionali e funzionali</i>	
7.1.3 - <i>Descrizione elementi strutturali</i>	
7.2 - <b>Interventi realizzati</b>	pag. 81
7.2.1 - <i>La ristrutturazione</i>	
7.2.2 - <i>Controparete a secco</i>	
7.2.3 - <i>Controsoffitti</i>	
7.3 - <b>Requisiti acustici passivi dell'immobile</b>	pag. 87
7.3.1 - <i>Modalità e strumentazione</i>	
7.3.2 - <i>Risultati ante operam</i>	
7.3.3 - <i>Risultati post operam</i>	
7.3.4 - <i>Analisi e confronti</i>	
7.3.5 - <i>Calcoli previsionali</i>	
<b>Cap.8 CONCLUSIONI</b>	pag. 103

# INDICE DELLE FIGURE

Fig.1 - Diffusione del suono nelle abitazioni	pag. 10
Fig.2 - I percorsi di diffusione del suono	pag. 38
Fig.3-4 - Posizionamento edificio	pag. 75
Fig.5 - Estratto catastale dell'edificio	pag. 76
Fig.6 - Fotografia dell'immobile	pag. 77
Fig.7-8-9 - Planimetria, sezione, prospetto	pag. 78
Fig.10-11 - Pianta piano rialzato, pianta piano tipo	pag. 79
Fig.12 - Suddivisione unità immobiliari tipo	pag. 80
Fig.13 - Pianta quarto piano con suddivisione delle unità immobiliari originali	pag. 81
Fig.14 - Pianta quarto piano con suddivisione dopo la ristrutturazione	pag. 82
Fig.15 - Pianta appartamento A	pag. 82
Fig.16 - Prospetti e sezioni appartamento A	pag. 83
Fig.17 - Controparete a secco	pag. 84
Fig.18 - Pianta piano terzo	pag. 85
Fig.19 - Posizionamento dei controsoffitti	pag. 86

# INDICE DELLE TABELLE

Tab.1 - Valori limite DPCM 05-12-97	pag. 24
Tab.2 - Valori limite UNI 11367	pag. 34
Tab.3 - Classi acustiche UNI 11368	pag. 35
Tab.4 - Classi acustiche UNI 11369	pag. 35
Tab.5 - Valore dell'indice K	pag. 48
Tab.6 - Potere fonoisolante apparente parete	pag. 95
Tab.7 - Potere fonoisolante apparente controsoffitti	pag. 97
Tab.8 - Isolamento rumore di calpestio	pag. 99
Tab.9 - Tabelle riassuntive degli interventi	pag. 101
Tab.10 - Calcoli previsionali potere fonoisolante apparente	pag. 102
Tab.11 - Calcoli previsionali isolamento rumore di calpestio	pag. 102

# INDICE DEI GRAFICI

Grf.1 - Indice di potere fonoisolante apparente	pag. 16
Grf.2-3 - Indice di potere fonoisolante apparente	pag. 88
Grf.4-5 - Indice di potere fonoisolante apparente	pag. 89
Grf.6-7-8 - Isolamento rumore di calpestio	pag. 90
Grf.9 - Isolamento rumore di calpestio	pag. 91
Grf.10 - Indice di potere fonoisolante apparente	pag. 91
Grf.11-12-13 - Indice di potere fonoisolante apparente	pag. 92
Grf.14-15-16 - Isolamento rumore di calpestio	pag. 93
Grf.17 - Isolamento rumore di calpestio	pag. 94
Grf.18 - Parete divisoria appartamenti A-B	pag. 94
Grf.19 - Solaio camera appartamento C	pag. 95
Grf.20 - Solaio salotto appartamento C	pag. 96
Grf.21 - Solaio cucina appartamento C	pag. 96
Grf.22 - Solaio camera appartamento C	pag. 97
Grf.23 - Solaio salotto appartamento C	pag. 98
Grf.24 - Solaio cucina appartamento C	pag. 98
Grf.25 - Confronto solai ante operam	pag. 99
Grf.26 - Confronto solai post operam	pag. 100

# ABSTRACT

Le ristrutturazioni edilizie sono un campo in notevole sviluppo ad oggi in Italia, dove si presentano numerosi problemi legati alle soluzioni tecnologiche da adottare per raggiungere un risultato di riqualificazione delle unità immobiliari.

Questa tesi ha affrontato il tema delle ristrutturazioni dal punto di vista acustico volendo evidenziare come gli interventi di isolamento acustico su edifici esistenti sono in molti casi concretamente realizzabili determinando un sensibile miglioramento del benessere abitativo nell'edificio.

Definiti i parametri e le grandezze che ci permettono di analizzare la propagazione dei suoni negli edifici, sono stati introdotti gli strumenti a nostra disposizione per affrontare queste tematiche. Dal punto di vista legislativo il riferimento principale è il DPCM 05-12-97. Le norme tecniche di riferimento definiscono invece i parametri operativi per rilevare ed analizzare i dati, introducendo metodi di calcolo previsionale e modalità di misura in opera dei vari descrittori acustici. Particolare attenzione è stata dedicata alla norma UNI 11367 che introduce la classificazione acustica delle unità immobiliari, fornendo interessanti spunti per gli sviluppi futuri.

Affrontando un caso studio di ristrutturazione si è potuto confrontare i risultati in opera di alcune tra le soluzioni tecnologiche più diffuse.

## CAP.1 INTRODUZIONE

Lo sviluppo urbanistico degli ultimi decenni ha prodotto un'incessante espansione delle aree abitate ed un notevole aumento della densità abitativa. Non molto spesso questo sviluppo è stato accompagnato da un'attenta ed adeguata politica legata ai temi dell'acustica edilizia portando ad evidenziare il disagio dovuto alla percezione del rumore nelle abitazioni. Considerando poi che il numero di interventi di ristrutturazione è diventato preponderante nell'ambito del mercato immobiliare ci si confronta sempre più spesso con situazioni dove questi aspetti sono stati trascurati.

Se si analizza il problema del disturbo dovuto al rumore all'interno di nuove costruzioni e di ristrutturazioni ci si rende conto di come rientrino all'interno dell'analisi sia fattori esterni, quali il traffico veicolare e le attività produttive, ma anche altri rumori che sono percepiti e generati all'interno degli stessi edifici, prodotti dall'attività dei vicini o dal funzionamento di impianti tecnologici: 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 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. Troppo spesso si pensa che, per ottenere un buon isolamento ai rumori, basti prevedere in fase progettuale l'inserimento in stratigrafia di un generico "materiale isolante acustico", in realtà non è così. L'isolamento acustico deve essere progettato accuratamente, scegliendo i materiali adatti in funzione della stratigrafia nella quale verranno inseriti. Per ottenere il risultato in opera bisognerà avere l'accortezza di posare l'intero sistema costruttivo nella maniera corretta, di certo non è sufficiente il solo materiale anche se di elevata qualità.

L'analisi dello strumento legislativo che abbiamo a disposizione oggi in Italia, un documento che definisce i limiti di isolamento dai rumori che devono possedere gli edifici di nuova costruzione, non può essere un metodo esaustivo per affrontare queste delicate tematiche. Questo è in attesa oramai da qualche anno di essere sostituito da un nuovo documento che comprenda anche la classificazione acustica degli edifici, secondo i criteri già proposti dall'UNI, portandoci al livello dei paesi più attenti a queste tematiche della comunità europea e creando in questo modo un nuovo forte interesse, per questioni tecniche e commerciali, su questi argomenti come è successo per la classificazione energetica delle abitazioni.

Inserendosi in questo delicato contesto dell'acustica edilizia questo lavoro parte da un'analisi che illustra quali sono i parametri e le grandezze che ci permettono di definire la propagazione dei suoni negli edifici, delle leggi e delle norme tecniche di riferimento, dei metodi di calcolo previsionale, delle soluzioni tecnologiche e delle modalità di misura in opera dei vari descrittori.



Un primo obiettivo è, dopo aver introdotto i criteri generali con un'approccio tecnico, di evidenziare quali sono i pregi e difetti delle più diffuse soluzioni tecnologiche usate nelle ristrutturazioni e quali sono le criticità che riguardano la loro messa in opera. Vuole quindi essere uno strumento per i progettisti che intendono esaminare i problemi di controllo dei rumori, visto che ad oggi la legislazione non indica come necessaria, tranne in alcuni casi, una relazione di un tecnico competente abilitato, ma il numero di vertenze legate a questa tematica consiglia di non sottovalutare questo aspetto.

Un secondo obiettivo di questo lavoro è un'analisi critica dei risultati dei calcoli previsionali e dei valori in opera. Avendo adottato alcune soluzioni tecnologiche su un caso studio, dove si è potuto analizzare i dati in opera prima e dopo gli interventi, sono stati ricavati dati molto interessanti sul comportamento reale delle soluzioni adottate. Si è anche potuto verificare la differenza tra il calcolo previsionale, basato sui dati forniti dai produttori dei materiali definiti con analisi di laboratorio, ed il risultato in opera, comprendente le trasmissioni laterali legate alla tipologia di struttura che nel calcolo previsionale possono essere solo approssimate.

Il clima acustico, la differenza tra fonoisolamento e fonoassorbimento, le pareti "a secco" tanto diffuse all'estero sono solo alcuni degli argomenti affrontati in queste pagine che possono completare il bagaglio di un progettista che voglia affrontare consapevolmente i problemi legati al rumore e trovarsi preparato all'uscita di un nuovo documento legislativo che porterà queste tematiche all'ordine del giorno a partire dalle piccole ristrutturazioni fino ai grandi progetti di edilizia residenziale.

## CAP.2 ACUSTICA EDILIZIA *Concetti generali*

### 2.1 - COME SI PROPAGANO I SUONI NEGLI EDIFICI

#### 2.1.1 - *Il suono e la sua percezione*

Il suono che noi percepiamo è una minuscola fluttuazione di pressione dell'aria che ci circonda. Tali fluttuazioni sono generate da corpi in oscillazione e si possono propagare attraverso un mezzo elastico (gas, liquido, solido) mediante la comunicazione sequenziale tra le varie particelle che compongono il mezzo stesso.

Per quantificare il tipo di risposta umana all'energia sonora, in termini di sonorità, di disturbo e di rischio, si rileva il livello di pressione sonora, cioè la variazione di pressione attorno al valore della pressione atmosferica. Tale parametro è definito come dieci volte il logaritmo in base dieci del rapporto tra pressione sonora e pressione di riferimento elevati al quadrato. L'unità di misura di tale grandezza è il decibel (dB).

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2}$$

Come tutti i fenomeni ondulatori anche le onde sonore sono definite da frequenza (f), misurabile in Hertz [Hz], periodo (T) [s], e lunghezza d'onda ( $\lambda$ ) [m]. In particolare i suoni possono essere caratterizzati da un'unica frequenza (toni puri) o, più generalmente, essere composti da più frequenze di diverso livello (toni complessi). L'analisi in frequenza di un suono è quindi un utile strumento per visualizzarne la "qualità". Tale analisi viene eseguita suddividendo il contenuto di energia sonora in specifici intervalli tra frequenze (bande) ed analizzandone i singoli livelli.

Per questo motivo, 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. Si utilizzano perciò curve di ponderazione che simulano tale risposta, la più utilizzata è la 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. I risultati di tale sperimentazione sono riportati nella famiglia di curve isofoniche normalizzate dalla ISO 226.

## 2.1.2 - Propagazione del suono all'interno degli edifici

La trasmissione del suono avviene secondo due distinti meccanismi di propagazione all'interno degli edifici: per via aerea e 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 coinvolge differenti percorsi. Questi ultimi possono essere suddivisi in:

**Percorso di trasmissione diretta:** riguarda la trasmissione del rumore attraverso il solo elemento strutturale in esame (parete divisoria o solaio)

**Percorsi di trasmissione laterale:** riguardano le trasmissioni del rumore che coinvolgono anche gli elementi strutturali adiacenti a quello considerato.

Se consideriamo quindi la propagazione del suono tra due locali confinanti possiamo individuare tredici percorsi di trasmissione di cui uno diretto (attraverso il divisorio in esame) e dodici di trasmissione laterale (tre per ogni lato della parete).

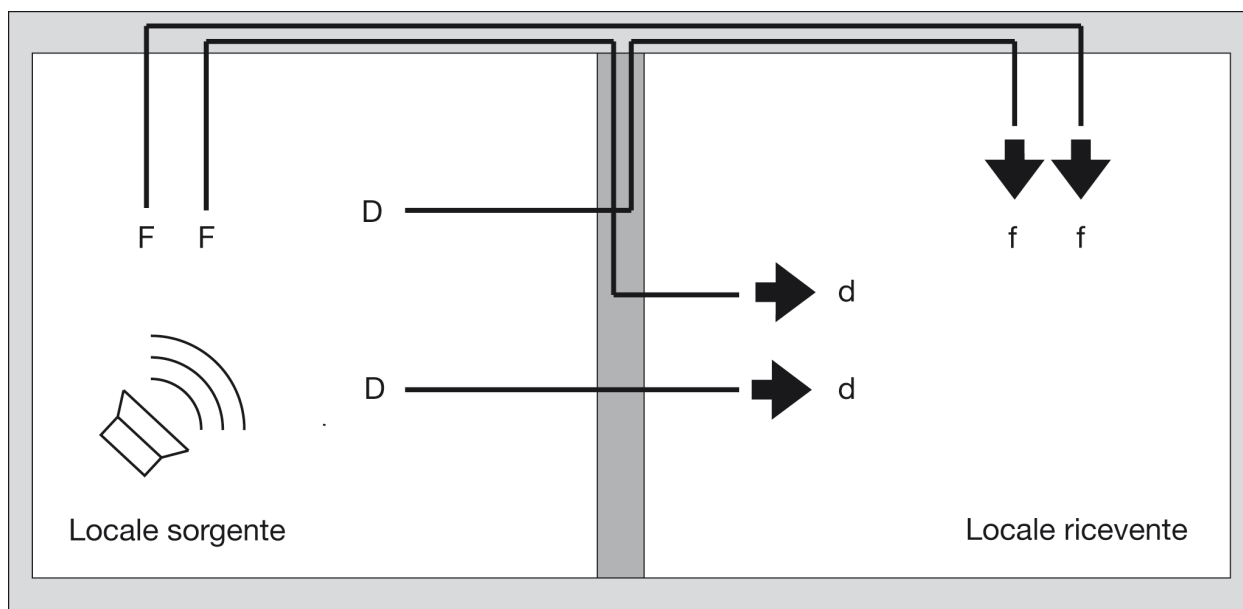
Nella figura seguente vengono raffigurati il percorso diretto (Dd) e i tre percorsi laterali (Ff, Fd, Df):

D elemento divisorio lato locale sorgente

d elemento divisorio lato locale ricevente

F struttura laterale lato locale sorgente

f struttura laterale lato locale ricevente



Le misure delle caratteristiche acustiche di un elemento divisorio in laboratorio vengono realizzate posizionando la partizione tra due camere disaccoppiate tra loro per eliminare completamente le trasmissioni del rumore per via laterale e non inficiare la misura dalle "caratteristiche acustiche" delle pareti del laboratorio. 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 superiore a quello ottenibile in opera, a causa della mancanza di trasmissione laterale del rumore attraverso i diversi percorsi presenti all'interno di un edificio.

Anche i rumori di origine impattiva (calpestio, spostamento di mobili, ecc.) si propagano all'interno delle strutture seguendo differenti percorsi di trasmissione sonora.

### ***2.1.3 - Il tempo di riverberazione***

In generale il campo sonoro che viene a stabilirsi all'interno di un ambiente è formato dalla sovrapposizione di un campo sonoro diretto ed un campo sonoro riflesso o riverberato. L'entità dei contributi riflessi che pervengono all'orecchio di un ascoltatore (ed anche il loro più o meno grande ritardo temporale rispetto al suono diretto) risultano molto importanti, al fine di definire il comportamento acustico di un ambiente. Questi effetti dipendono dalle caratteristiche geometriche dell'ambiente e dai fattori di riflessione che caratterizzano le varie superfici affacciate all'ambiente.

Se consideriamo una sorgente che inizia ad emettere onde sonore in ambiente; poco dopo l'inizio dell'emissione sonora si verificheranno una serie di riflessioni multiple delle onde che determinano il comportamento acustico dell'ambiente.

La capacità di un ambiente di risultare più o meno riverberante dipende principalmente dalle sue dimensioni, dalla sua forma e dalla capacità delle superfici e degli elementi al suo interno di assorbire o meno i suoni. Visto che le superfici assorbono i suoni alle varie frequenze in maniera differente, il tempo di riverberazione di un locale cambia in base alla frequenza considerata.

In termini approssimati il tempo di riverberazione può essere definito come quel tempo, a partire dall'istante di spegnimento della sorgente sonora, necessario perché il suono divenga impercettibile. Come ordine di grandezza i tempi di riverberazione alla frequenza di 1000 Hz misurati in ambienti residenziali normalmente arredati variano usualmente tra 0,3 e 0,6 s.

La più o meno grande rapidità con cui la densità sonora decade nel tempo o riverberazione acustica, esercita una notevole influenza sulla comprensibilità delle parole e sulla qualità dei suoni musicali. Una riverberazione del suono troppo lunga, che avvenga in una sala, non consente una chiara percezione delle singole sillabe del parlato e può portare a confondere i suoni emessi ad un certo istante con le ultime riflessioni dei suoni precedenti. D'altra parte una riverberazione del suono insufficiente non consente di rinforzare adeguatamente le onde dirette con contributi riflessi.

## 2.2 - FONOASSORBIMENTO E FONOISOLAMENTO

Uno dei principi fondamentali della fisica, che vale anche per l'acustica, è quello della impossibilità di distruggere l'energia che può soltanto essere trasformata. L'assorbimento acustico o fonoassorbimento è la capacità di un materiale di dissipare l'energia sonora convertendola in calore. Dal punto di vista acustico quindi, una parte dell'energia che colpisce un corpo viene riflessa ma una parte viene assorbita dal materiale e convertita in calore.

Il coefficiente di assorbimento  $\alpha$  (alfa) è il rapporto tra l'energia assorbita e l'energia incidente sulla superficie di un materiale, ne consegue che  $0 \leq \alpha \leq 1$ : più alto è il valore che ne deriva, maggiore sarà la capacità fonoassorbente del materiale ossia il suo potere fonoassorbente.

Il coefficiente di assorbimento varia, e anche sensibilmente, al variare dell'angolo di incidenza dell'onda sonora e a seconda della frequenza del suono. Per ragioni tecnico pratiche nella risoluzione delle problematiche di acustica ambientale e architettonica è importante calcolare il coefficiente di assorbimento in campo diffuso tenendo conto quindi di una incidenza casuale del flusso sonoro.

Le parole fonoisolamento e fonoassorbimento definiscono concetti molto diversi tra loro. Spesso, purtroppo, i due termini vengono confusi e erroneamente considerati sinonimi.

Gli interventi di fonoisolamento hanno lo scopo di minimizzare la trasmissione del rumore tra due ambienti e quindi fare in modo che il rumore prodotto in un locale non disturbi il locale adiacente.

Gli interventi di fonoassorbimento invece hanno lo scopo di controllare la riflessione dei suoni sulle pareti di un locale e quindi di adattare, in base alle proprie esigenze, il riverbero all'interno dell'ambiente in cui si genera il rumore

Generalmente ad un alta capacità fonoassorbente dei materiali può corrispondere una blanda capacità fonoisolante degli stessi, visto il loro basso peso specifico. Pertanto un buon materiale fonoassorbente può avere uno scarso potere fonoisolante e viceversa. Generalmente i materiali fonoassorbenti grazie alle loro caratteristiche intrinseche in linea tendenziale possono avere anche delle buone prestazioni di isolamento termico.

## 2.3 - ISOLAMENTO ACUSTICO E POTERE FONOSOLANTE

Per descrivere l'effetto di riduzione del livello sonoro determinato da una parete o da un divisorio interposto tra ambienti diversi adiacenti si definisce isolamento acustico (D) la differenza tra il livello sonoro L1 esistente nell'ambiente in cui è posta la sorgente acustica (ambiente emittente) e quello L2 misurabile nell'ambiente ricevente oltre il divisorio (ambiente ricevente).

La grandezza D dipende dalle caratteristiche acustiche delle stanze dove vengono effettuate le misure. Infatti una camera ricevente molto riverberante determinerà un livello L2 più alto rispetto ad una stanza delle medesime dimensioni ma con superfici fonoassorbenti.

Il potere fonoisolante (R), invece, è una proprietà intrinseca della parete che è indipendente rispetto alle caratteristiche acustiche delle stanze dove vengono effettuate le rilevazioni.

La relazione seguente correla isolamento acustico e potere fonoisolante:

$$L1 - L2 = R - 10 \log \left( \frac{S}{A} \right)$$

Dove:

*A* è l'assorbimento dell'ambiente ricevente.

Pertanto, si vede come l'isolamento acustico, inteso come riduzione complessiva del livello sonoro tra i due ambienti, dipenda dal potere fonoisolante del divisorio e dalle caratteristiche del divisorio (superficie S) e dell'ambiente ricevente (assorbimento globale A).

Il termine "A" si calcola misurando il tempo di riverberazione del locale ricevente:

$$A = \frac{0,16V}{T}$$

Dove:

*V* è il volume dell'ambiente ricevente [mc]

*T* è il tempo di riverberazione dell'ambiente ricevente [s]

Al fine di caratterizzare il comportamento acustico del divisorio, svincolando la misura dalle caratteristiche dell'ambiente ricevente (ad esempio l'arredamento), in luogo dell'isolamento acustico L1 - L2 ci si può riferire all'isolamento acustico normalizzato (Dn). È possibile normalizzare rispetto al tempo di riverberazione oppure rispetto all'assorbimento acustico del locale ricevente.

Di seguito si riportano le relazioni matematiche:

***Isolamento acustico normalizzato rispetto all'assorbimento equivalente Dn***

$$D_n = D - 10 \log \left( \frac{A}{A_0} \right)$$

Dove:

A è l'area di assorbimento equivalente dell'ambiente ricevente, in m<sup>2</sup>;

A<sub>0</sub> è l'area di assorbimento equivalente di riferimento pari a 10 m<sup>2</sup>

***Isolamento acustico normalizzato rispetto al tempo di riverberazione DnT***

$$D_{nT} = D - 10 \log \left( \frac{T}{T_0} \right)$$

Dove:

T è il tempo di riverberazione nell'ambiente ricevente, in secondi;

T<sub>0</sub> è il tempo di riverberazione di riferimento, pari a 0,5 s.

## 2.4 - IL LIVELLO DI RUMORE DA CALPESTIO

Il livello di rumore di calpestio ( $L$ ) è una grandezza che caratterizza invece la capacità di un solaio di limitare la trasmissione dei rumori da impatto. Si determina in sostanza rilevando nell'ambiente disturbato il livello di rumore generato da una macchina per il calpestio posizionata sul solaio in esame.

Come l'isolamento acustico ( $D$ ) anche il livello di rumore di calpestio è un parametro che dipende dalle caratteristiche acustiche della stanza dove vengono effettuate le misure.

Di seguito si riporta la relazione matematica:

***Livello di pressione sonora di calpestio normalizzato  $L_n$***

$$L_n = L_i + 10 \log \frac{A}{A_0}$$

*Dove:*

$L_i$  è il livello di pressione sonora di calpestio nell'ambiente ricevente, utilizzando un generatore di rumore di calpestio normalizzato in conformità alla EN ISO 140-7

$A$  è l'area di assorbimento equivalente nell'ambiente ricevente, in metri quadri

$A_0$  è l'area di assorbimento equivalente di riferimento con  $A_0 = 10 \text{ m}^2$



## 2.5 - INDICI DI VALUTAZIONE

Tutti i parametri che definiscono le proprietà acustiche di una partizione (D, R, L) vengono misurati nelle bande di frequenza di terzo d'ottava, da 100 a 3150 Hz. Una parete, ad esempio, è caratterizzata da differenti valori di potere fonoisolante in base alla frequenza che si sceglie di considerare.

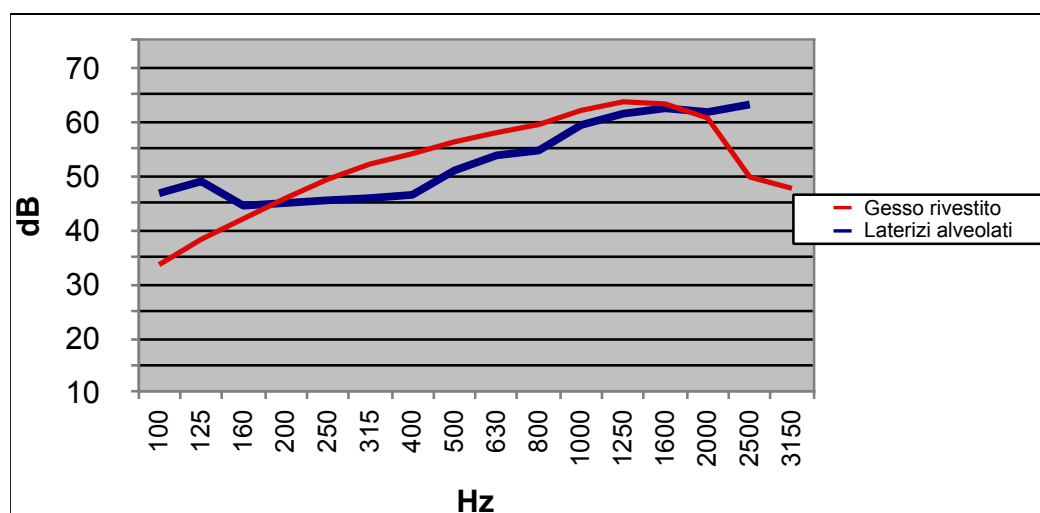
Per classificare gli elementi divisorii (pareti perimetrali, elementi di separazione tra unità immobiliari), anziché riferirsi al potere fonoisolante R alle varie bande di ottava o a terzi d'ottava, si usa fare riferimento ad opportuni “valori medi” di tali proprietà detti indici. Questi indici consentono di caratterizzare con un solo numero le proprietà degli elementi divisorii consentendo di confrontare facilmente elementi diversi.

Il criterio seguito prevede un confronto grafico tra i valori misurati e curve di riferimento. Le curve di riferimento vengono traslate sul diagramma fino a soddisfare alcune condizioni relative alla media degli scarti sfavorevoli e favorevoli. Una volta che tale condizione sia stata realizzata l'indice di valutazione desiderato corrisponde al valore letto in corrispondenza alla curva di riferimento ad una particolare frequenza (in genere 500 [Hz]). Il pedice “w” (dall'inglese *weighted* cioè pesato) che viene aggiunto indica che la grandezza è espressa con un indice di valutazione.

I metodi per calcolare gli indici di valutazione partendo dai valori “per frequenza” sono descritti nelle norme UNI EN ISO 717 – 1, per le misure di isolamento ai rumori aerei, e UNI EN ISO 717 – 2, per le misure di isolamento ai rumori da calpestio. Ad oggi queste norme, seppur ancora utilizzate, sono in corso di revisione.

Di seguito, a titolo di esempio, si riportano i grafici di due partizioni differenti che forniscono il medesimo indice di potere fonoisolante ( $R_w = 56$  dB)

- Parete singola in gesso rivestito (isolante in lana di roccia da 8 cm, 40 kg/mc)
- Parete doppia in laterizi alveolati (isolante in lana di roccia da 5 cm, 40 kg/mc)



Come si può notare se si caratterizza il potere fonoisolante o il livello di rumore da calpestio di una partizione con il solo indice di valutazione si perdono tutte le informazioni in merito all'andamento in frequenza della grandezza. Per limitare questa problematica sono stati introdotti alcuni coefficienti (termini di adattamento allo spettro), ricavabili dall'andamento in frequenza della prestazione in esame, che consentono di ottenere informazioni aggiuntive al solo indice di valutazione. I termini di adattamento allo spettro sono: C e C<sub>tr</sub> per l'isolamento ai rumori aerei, C<sub>i</sub> per il livello di rumore da calpestio.

I metodi per calcolare questi coefficienti sono descritti nelle norme UNI EN ISO 717 – 1 (C e C<sub>tr</sub>) e UNI EN ISO 717 – 2 (C<sub>i</sub>). I termini vengono riportati nei certificati di prova accanto al valore dell'indice di valutazione.

I termini C e C<sub>tr</sub> sommati all'indice di valutazione permettono di stimare l'isolamento effettivo della partizione in esame rispetto a determinate tipologie di rumori. In particolare il termine C si utilizza per caratterizzare l'isolamento rispetto a rumori ad alta frequenza quali: attività umane (conversazione, musica, radio), bambini che giocano, traffico ferroviario a velocità media e elevata, traffico autostradale > 80 km/h, aereo a reazione a breve distanza, fabbriche (rumore a frequenza media e alta)

Il termine C<sub>tr</sub> invece caratterizza l'isolamento rispetto a rumori a bassa frequenza quali: traffico stradale urbano, traffico ferroviario a basse velocità, elivolo a elica, aereo a reazione a lunga distanza, musica da discoteca, fabbriche (rumore a frequenza bassa e media).

I coefficienti C e C<sub>tr</sub> hanno generalmente valore negativo, quindi sommarli all'indice di valutazione significa diminuire la prestazione della partizione in esame.

Il termine C<sub>i</sub> per i rumori da impatto invece è stato definito in maniera tale per cui per i solai con sistemi di isolamento al calpestio efficaci il suo valore sia circa zero. Per i solai senza isolamento al calpestio o sistemi di isolamento poco efficaci esso avrà valore negativo compreso tra -15 dB e 0 dB.

## 2.6 - DESCRITTORI ACUSTICI

### 2.6.1 - *Grandezze apparenti*

La misurazione delle caratteristiche acustiche di un elemento divisorio posto in opera forniscono risultati sensibilmente differenti rispetto alle misurazioni in laboratorio. Le misure di laboratorio infatti vengono realizzate posizionando la partizione tra due camere disaccoppiate tra loro. In questo modo vengono eliminate completamente le trasmissioni del rumore per via laterale e la misura non è inficiata dalle “caratteristiche acustiche” delle pareti del laboratorio.

Questo comporta che una partizione posta in opera presenti in generale un potere fonoisolante decisamente inferiore rispetto alla stessa struttura misurata in laboratorio.

Per differenziare questi due tipi di misure viene utilizzato un apice e le grandezze relative alle misurazioni in opera vengono definite con il termine “apparente”, ad esempio:

$R_w$  = indice del potere fonoisolante di un elemento (misurato in laboratorio)

$R'_w$  = indice del potere fonoisolante apparente di un elemento (misurato in opera)

$$R_w > R'_w$$

### 2.6.2 - *Curve di ponderazione*

Per rilevare i livelli di pressione sonora si utilizzano i fonometri, questi però rilevano i livelli alle varie frequenze con sensibilità differente rispetto all'orecchio umano. Un suono alla frequenza di 1000 Hz con livello di pressione sonora misurato pari a 50 dB viene percepito dal nostro orecchio come più intenso e disturbante rispetto ad un suono a 100 Hz sempre di livello 50 dB.

Per analizzare questa problematica sono state condotte una serie di prove di laboratorio su un vasto numero di individui dalle quali sono stati elaborati grafici (audiogramma normale) che indicano come gli esseri umani percepiscono i rumori alle varie frequenze.

Per tenere in considerazione la sensibilità dell'orecchio umano alle diverse frequenze anche durante i rilievi strumentali, le misure fonometriche possono venire “modificate” con termini correttivi elaborati a partire dalle curve isophoniche.

In tal senso sono state definite alcune “curve di ponderazione” che riportano, a ogni frequenza, i valori da sottrarre o sommare alla misura per ricavare un dato che meglio approssimi quanto percepito dall'apparato uditivo.

La curva A approssima la curva isophonica 40 phon ed è utilizzabile per suoni di livello medio basso (ad esempio misurazioni in edifici di civile abitazione). La curva B approssima la curva isophonica 70 phon ed è utilizzabile per suoni di livello medio alto. La curva C approssima la curva isophonica 100 phon ed è utilizzabile per suoni di livello molto elevato.

Adottando i termini correttivi definiti dalle varie curve si ricavano quindi misure ponderate in dB(A), dB(B), dB(C). Impostando il tipo di misura desiderata la ponderazione viene automaticamente effettuata dal fonometro.

Per differenziare tra loro le misure vengono utilizzati i pedici A, B e C. Ad esempio una misura del livello di pressione sonora, con curva di ponderazione A, viene indicata dalla sigla:

$$L_A$$

### 2.6.3 - Livello sonoro equivalente e costanti di tempo

- Il livello sonoro equivalente ( $L_{eq}$ ) è il livello di un ipotetico rumore costante che, se sostituito al rumore misurato, variabile nel tempo, genererebbe la medesima quantità di energia sonora. Lo scopo di tale descrittore è quindi quello di caratterizzare con un unico valore un rumore variabile nel tempo.

Il livello equivalente è definito dalla seguente relazione matematica

$$L_{eq} = 10 \log \left[ \frac{1}{T} \int_0^T \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \right]$$

Dove:

$T$  è il tempo totale di misurazione.

$p_0$  è la pressione sonora di riferimento ( $2 \times 10^{-5}$  Pa)

$p(t)$  è la pressione sonora misurata all'istante "t" dal fonometro

Il livello equivalente è quindi un descrittore che ben caratterizza i rumori costanti nel tempo. Ad esempio, nella legislazione italiana, viene utilizzato per definire il livello di rumorosità generato dagli impianti a funzionamento continuo.

Per differenziare le misure di livello equivalente dalle misure istantanee viene utilizzato il pedice "eq". Ad esempio una misura del livello equivalente di pressione sonora, con curva di ponderazione A, viene indicata dalla sigla:

$$L_{Aeq}$$

Il segnale sonoro può essere campionato dal fonometro utilizzando differenti intervalli di tempo. Per valutare un rumore fluttuante nel tempo sono stati definiti dalle norme IEC 60651 e IEC 61672 tre tipi di risposte istantanee. Una rapida (FAST) che simula la risposta dell'orecchio umano, una lenta (SLOW) che fornisce un livello sonoro abbastanza stabile anche nel caso di rumori variabili, ed una costante di tempo molto veloce (IMPULSE) per valutare i rumori impulsivi.

La misura con costante di tempo SLOW, più "lenta" nell'acquisire i dati, fornisce valori di picco inferiori rispetto alle altre grandezze.

Per differenziare tra loro le misure vengono utilizzati i pedici F, S ed I.

Ad esempio una misura del livello massimo di pressione sonora, con curva di ponderazione A, con costante di tempo slow viene indicata dalla sigla:

$$L_{ASmax}$$

#### 2.6.4 - *Definizioni dei descrittori*

Di seguito si riporta un elenco delle definizioni dei descrittori dei requisiti acustici passivi maggiormente utilizzati in Italia.

- **R'w** Indice di valutazione del potere fonoisolante apparente: dieci volte il logaritmo in base dieci del rapporto tra la potenza sonora  $W_1$  incidente sul provino e la potenza sonora totale trasmessa nell'ambiente ricevente se, in aggiunta alla potenza sonora  $W_2$  trasmessa attraverso il provino, la potenza sonora  $W_3$  trasmessa dagli elementi laterali o da altri componenti è significativa:

$$R' = 10 \log \left( \frac{W_1}{W_2} + W_3 \right)$$

- **D<sub>2m,nT</sub>** Indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverberazione: differenza, in decibel, tra il livello di pressione sonora all'esterno alla distanza di 2 m davanti alla facciata,  $L_{1,2m}$ , e la media spazio-temporale del livello di pressione sonora,  $L_2$ , nell'ambiente ricevente, normalizzata con il valore di riferimento del tempo di riverberazione nell'ambiente ricevente:

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

Dove  $T_0 = 0,5 \text{sec}$

- $L'_{nw}$  indice di valutazione del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato rispetto all'ambiente acustico: livello medio di pressione sonora nell'ambiente ricevente quando il solaio sottoposto a prova è eccitato dal generatore di calpestio normalizzato,  $L_i$ , normalizzato con il termine dieci volte il logaritmo in base dieci del rapporto tra l'area di assorbimento equivalente misurata,  $A$ , dell'ambiente ricevente e l'area di assorbimento equivalente di riferimento,  $A_0$ :

$$L'_n = L_i + 10 \log \left( \frac{A}{A_0} \right)$$

*Dove  $A_0 = 10 \text{ m}^2$*

- $L_{Amax}$  livello di pressione sonora massimo ponderato A misurato con costante di tempo slow: livello di pressione sonora massimo ponderato A in un ambiente, dovuto al rumore prodotto da impianti o macchine a funzionamento discontinuo.
- $L_{Aeq}$  livello di pressione sonora continua equivalente ponderato A: livello di pressione sonora equivalente ponderato A in un ambiente, dovuto al rumore prodotto da impianti o macchine a funzionamento continuo.

## CAP.3 LEGISLAZIONE E NORME TECNICHE DI RIFERIMENTO

### 3.1 - LEGISLAZIONE NAZIONALE

#### 3.1.1 - *Legge 447 del 26-10-1995*

Alla fine di ottobre del 1995 viene pubblicata sulla gazzetta ufficiale la Legge quadro sull'inquinamento acustico con la finalità di *stabilire i principi fondamentali in materia di tutela dell'ambiente esterno e dell'ambiente abitativo dall'inquinamento acustico, ai sensi e per gli effetti dell'articolo 117 della Costituzione.*

Non indica in sostanza limiti da rispettare ma vengono analizzate tutte le tematiche riguardanti il rumore, i soggetti volti ad analizzarle e le competenze di Stato, Regioni, Province e Comuni.

All'art. 2 vengono introdotte alcune definizioni che ritorneranno nelle analisi successive:

**Inquinamento acustico:** *l'introduzione di rumore nell'ambiente abitativo o nell'ambiente esterno tale da provocare fastidio o disturbo al riposo ed alle attività umane, pericolo per la salute umana, deterioramento degli ecosistemi, dei beni materiali, dei monumenti, dell'ambiente abitativo o dell'ambiente esterno o tale da interferire con le legittime fruizioni degli ambienti stessi.*

**Ambiente abitativo:** *ogni ambiente interno ad un edificio destinato alla permanenza di persone o di comunità ed utilizzato per le diverse attività umane, fatta eccezione per gli ambienti destinati ad attività produttive per i quali resta ferma la disciplina di cui al D.Lgs. 15 agosto 1991, n. 277 (2), salvo per quanto concerne l'immissione di rumore da sorgenti sonore esterne ai locali in cui si svolgono le attività produttive.*

All'art. 3 comma 1 par. e) viene indicato che è competenza dello Stato la determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici e dei loro componenti. In relazione a questo articolo è stato emanato il DPCM 5-12-1997.

All'art. 8 viene riportato l'obbligo di redigere valutazioni di *impatto acustico* nel caso si debbano realizzare opere potenzialmente rumorose. Tali verifiche consistono nel prevedere quanto rumore potrà generare una nuova opera e se tale rumore potrà disturbare eventuali ricettori sensibili.

Sempre all'articolo 8 (comma 3) viene richiamato l'obbligo di redigere verifiche di *clima acustico*. Queste relazioni hanno lo scopo di determinare la rumorosità presente in un'area prima di realizzare un edificio. Servono quindi per valutare se l'area è compatibile con la costruzione e prevedere eventuali opere di mitigazione dei rumori.

### 3.1.2 - *D.P.C.M. 5-12-1997*

Il D.P.C.M. 5-12-1997, “Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici”, è il documento di riferimento nella normativa italiana per l’acustica in edilizia. Vengono specificati i requisiti acustici prestazionali di componenti edilizi (partizioni verticali di facciata e di separazione tra unità immobiliari, solai e coperture) e di parti impiantistiche (impianti tecnologici a funzionamento continuo e discontinuo) in funzione della categoria stessa dell’edificio.

Il Decreto definisce le prestazioni che devono possedere gli edifici in merito a:

- *Isolamento dai rumori tra differenti unità immobiliari*
- *Isolamento dai rumori esterni*
- *Isolamento dai rumori di calpestio*
- *Isolamento dai rumori di impianti a funzionamento continuo e discontinuo*
- *Tempo di riverberazione nelle scuole*

Le prestazioni devono essere verificate in opera, ad edificio ultimato.

Il Decreto definisce le seguenti categorie di edifici:

*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.*

Non vengono considerati gli edifici destinati ad attività industriali o artigianali. Per queste categorie i limiti sono comunque applicabili nel caso al loro interno siano presenti attività assimilabili a quelle descritte nel Decreto (ad esempio uffici all’interno di un capannone artigianale).



I valori limite da rispettare riguardano i descrittori indicati di seguito (già analizzati nel precedente capitolo):

**R'w** (*Indice di potere fonoisolante apparente*) è il valore minimo di isolamento ai rumori aerei tra differenti unità immobiliari

**D2mnTw** (*Indice di isolamento acustico di facciate*) è il valore minimo di isolamento dai rumori provenienti dall'esterno

**L'nw** (*Indice di livello di rumore di calpestio di solai*) è il valore massimo di rumore di calpestio percepito.

**LASmax** (*Livello massimo di pressione sonora*) è il valore massimo di rumore per gli impianti a funzionamento discontinuo (ascensori, scarichi idraulici, bagni, servizi igienici e rubinetteria).

**LAeq** (*Livello equivalente di pressione sonora*) è il valore massimo di rumore per gli impianti a funzionamento continuo (riscaldamento, aerazione e condizionamento)

La tabella che segue specifica i valori limite da rispettare ad edificio concluso:

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

Il D.P.C.M. 5-12-1997 è un documento di poche pagine contenente errori, imprecisioni e indicazioni di difficile interpretazione.

Il parametro R'w deve essere valutato tra differenti "unità immobiliari". Le altre grandezze invece vanno considerate all'interno di "ambienti abitativi". Abbiamo prima definito cosa si intende per "ambienti abitativi", per definire invece il significato di "unità immobiliari" possiamo rifarci al D. M. LL. PP. 14 giugno 1989, n. 236. (NB precedente al DPCM 5-12-1997) Art. 2 comma c):

*Per unità immobiliare si intende una unità ambientale suscettibile di autonomo godimento ovvero un insieme di unità ambientali funzionalmente connesse, suscettibile di autonomo godimento.*

Ed al D.M. 2 gennaio 1998, n° 28 (NB successivo al DPCM 5-12-1997) Art. 2:

*L'unità immobiliare è costituita da una porzione di fabbricato, o da un fabbricato, o da un insieme di fabbricati ovvero da un'area, che, nello stato in cui si trova e secondo l'uso locale, presenta potenzialità di autonomia funzionale e reddituale.*

Considerate le definizioni sopra riportate resta non chiara l'applicabilità dei valori di  $R'w$  riportati nel Decreto sui muri divisorii tra due differenti aule scolastiche o tra due differenti camere di ospedale. Sarebbe stato più opportuno prevedere differenti livelli di isolamento in funzione della destinazione d'uso dei singoli locali piuttosto che degli edifici, ed in base alle sorgenti di rumore presenti negli ambienti confinanti.

Per quanto riguarda la verifica dell'isolamento acustico di facciata le misurazioni devono essere eseguite per i singoli ambienti abitativi (sala, camera da letto, ecc.).

In merito ai rumori di calpestio le misurazioni devono essere eseguite tra differenti ambienti abitativi. Non è definito nel DPCM se gli ambienti abitativi in cui effettuare le misure debbano appartenere a differenti unità immobiliari o meno. Si segnala però che la misurazione in opera del livello di rumore di calpestio all'interno della medesima unità immobiliare può risultare in alcuni casi particolarmente complicato a causa del fatto che gli ambienti possono essere tra loro collegati da vani scale o altri "ponti acustici".

Anche per i rumori da impianti non è definito nel DPCM se gli ambienti abitativi in cui effettuare le misure debbano appartenere a differenti unità immobiliari o meno. Il rispetto dei requisiti acustici all'interno della medesima unità immobiliare in alcuni casi risulta particolarmente complicato se non impossibile (ad esempio se si considera un bagno di pertinenza di una camera da letto).

Il Decreto non impone la realizzazione di prove acustiche in opera o la redazione di relazioni tecniche progettuali (richieste che peraltro possono essere eseguite dalle amministrazioni locali). Richiede unicamente che, ad opera ultimata, i requisiti acustici siano rispettati.

Ovviamente però, considerate le tecnologie costruttive attualmente adottate nel nostro Paese e soprattutto la loro realizzazione in cantiere, per garantire il rispetto di tali requisiti la redazione di calcoli previsionali e l'effettuazione di prove acustiche in corso d'opera ed a fine lavori diventano condizione necessaria per verificare i requisiti prescritti per legge.

Il DPCM si applica agli edifici di nuova costruzione, per quanto riguarda le ristrutturazioni una circolare ministeriale datata 09-03-1999 indica che i limiti del decreto devono essere rispettati in caso di ristrutturazione totale e nell'installazione o sostituzione di impianti tecnologici esistenti.

### 3.1.3 - *Leggi comunitarie 2008-2009*

Le Leggi Comunitarie 2008 (Legge 7 luglio 2009 , n. 88) e 2009 (Legge 4 giugno 2010, n. 96) hanno apportato importanti modifiche alla legislazione nazionale sull'acustica ed in particolare al DPCM 5-12-1997. Sono leggi che fanno recepire all'Italia le direttive europee contenute nella direttiva 2002/49/CE e nella Comunitaria 2008.

La Direttiva 2002/49/CE specifica che tutti i Paesi della Comunità Europea devono misurare, ordinare e presentare i dati di rumore in ambiente esterno secondo criteri confrontabili, adottando i medesimi descrittori. La Direttiva però tratta solo *“il rumore ambientale cui è esposto l'essere umano”* e *“non riguarda il rumore generato dalle attività domestiche o dal vicinato”* (cfr. art. 2 Ambito di applicazione). Nonostante ciò lo Stato italiano ha deciso di estendere le richieste delle Direttiva includendo anche i decreti sui requisiti acustici passivi.

In particolare il comma 5 dell'articolo 11 della Legge Comunitaria riporta che:

*“In attesa del riordino della materia, la disciplina relativa ai requisiti acustici passivi degli edifici e dei loro componenti di cui all'articolo 3, comma 1, lettera e), della legge 26 ottobre 1995, n. 447, non trova applicazione nei rapporti tra privati e, in particolare, nei rapporti tra costruttori-venditori e acquirenti di alloggi sorti successivamente alla data di entrata in vigore della presente legge.”*

Tale comma ha generato forte confusione tra gli operatori del settore ed alcuni hanno ipotizzato una conseguente totale inefficacia del DPCM 5-12-1997. In realtà, analizzando il contenuto, risulta che il DPCM 5-12-1997 non è stato abrogato e che vengono considerati solo i rapporti tra privati. Niente viene specificato in merito ai rapporti tra costruttori e pubblica amministrazione. In tal senso i Comuni devono continuare a richiedere il rispetto dei limiti di legge al titolare del permesso di costruire.

Il comma 5 è stato poi modificato come segue dalla Legge Comunitaria 2009:

*“In attesa dell'emanazione dei decreti legislativi di cui al comma 1, l'articolo 3, comma 1, lettera e), della legge 26 ottobre 1995, n. 447, si interpreta nel senso che la disciplina relativa ai requisiti acustici passivi degli edifici e dei loro componenti non trova applicazione nei rapporti tra privati e, in particolare, nei rapporti tra costruttori-venditori e acquirenti di alloggi, fermi restando gli effetti derivanti da pronunce giudiziali passate in giudicato e la corretta esecuzione dei lavori a regola d'arte asseverata da un tecnico abilitato.”*

Le principali differenze tra il “vecchio” e il “nuovo” comma 5 riguardano la parte finale. Nella comunitaria 2008 veniva indicato che le prescrizioni del DPCM 5-12-1997 non trovavano applicazione *“nei rapporti tra privati [...] sorti successivamente alla data di entrata in vigore della presente legge”*. Ora invece la disciplina relativa ai requisiti acustici passivi *“non trova applicazione nei rapporti tra privati [...] fermi restando gli effetti*

derivanti da pronunce giudiziali passate in giudicato e la corretta esecuzione dei lavori a regola d'arte asseverata da un tecnico abilitato". È stato quindi cancellato il riferimento alla data di entrata in vigore della legge e sembrerebbe che la "non applicazione" risulta valida per qualsiasi edificio esistente. In aggiunta, ed è forse la parte più significativa, viene richiamata una asseverazione da parte di un generico tecnico abilitato che attesti l'esecuzione dei lavori a regola d'arte. Questa frase può prestarsi a molteplici interpretazioni. Ci si limita a sottolineare che la "regola d'arte" citata, considerato l'argomento trattato dal comma 5, deve essere ragionevolmente riferita all'esecuzione di interventi volti al conseguimento delle prescrizioni di isolamento acustico specificate nel DPCM 5-12-1997. Inoltre il termine "esecuzione dei lavori" può essere esteso all'intero processo costruttivo e non alla sola posa dei materiali. Pertanto può includere, oltre alla costruzione dell'immobile, anche la progettazione acustica previsionale, il controllo di posa in corso d'opera e le verifiche fonometriche conclusive.

Le Leggi Comunitarie hanno quindi creato i presupposti per riscrivere la legislazione nazionale di acustica edilizia e, nei mesi successivi alla loro pubblicazione, si sono attivati diversi gruppi di lavoro sull'argomento.

Con la sentenza 103/2013 la Corte Costituzionale ha dichiarato costituzionalmente illegittimo l'art. 15, comma 1, lettera c), della legge 4 giugno 2010, n. 96 sostitutivo dell'art. 11, comma 5, della legge 7 luglio 2009, n. 88 .

La Corte Costituzionale nel dichiarare illegittimo l'art. 15 comma 1 lett. c) della l. 4 giugno 2010 n.96 (Comunitaria 2009), lo disapplica. Tuttavia, rivive e rimane quindi in vigore il testo originario dell'art. 11 comma 5 della l. 7 luglio 2009 n. 98 (Comunitaria 2008) ferme restando le considerazioni espresse dalla Corte Costituzionale in merito alla norma sostituita e la decorrenza dei termini della delega al governo per effettuare il "riordino della materia".

Ad oggi però non è stato ancora emanato nessun nuovo documento legislativo.

## 3.2 - LEGISLAZIONE REGIONALE

Alcune regioni hanno preso in considerazione l'analisi dei requisiti acustici passivi degli edifici con dei documenti regionali, nel caso della Lombardia si fa riferimento alla Legge Regionale n°13 del 10 agosto 2001 "Norme in materia di inquinamento acustico".

La Legge Regionale stabilisce innanzitutto le procedure ed i criteri fondamentali che i Comuni devono seguire per approvare la classificazione del territorio comunale. Vengono normati aspetti riguardanti l'inquinamento acustico derivante da aviosuperfici, da attività temporanee e dai locali di pubblico spettacolo, da traffico stradale e dai mezzi, impianti ed attrezzature utilizzati per i servizi pubblici di trasporto ed inoltre le procedure di dettaglio per l'attuazione dei piani di risanamento acustico relativi alle infrastrutture di trasporto e per la definizione dei piani di risanamento comunale e del piano regionale triennale.

L'articolo 7 della Legge Regionale va a definire le modalità di applicazione del D.P.C.M. del 5-12-1997 obbligando ad allegare ad ogni progetto relativo ad un'intervento che vada a modificare le caratteristiche acustiche di un'edificio esistente una dichiarazione del progettista che attesti il rispetto dei requisiti acustici stabiliti dal D.P.C.M.

In attesa dell'emanazione del decreto ministeriale previsto dall'art.3, comma 1, lettera f) della legge 447/1995, la regione ha definito un periodo di sperimentazione per individuare i criteri in base ai quali verranno stabiliti i parametri acustici per ristrutturazioni e nuove costruzioni. Al termine di questo periodo di sperimentazione i progetti relativi a nuove costruzioni dovranno essere corredati da valutazione e dichiarazione di un tecnico competente in acustica ambientale che attesti il rispetto dei requisiti. Anche per la realizzazione di nuovi edifici produttivi e di nuovi impianti viene richiesta una relazione che attesti le caratteristiche acustiche delle tecnologie e dei materiali utilizzati per l'insonorizzazione e l'isolamento acustico.

Viene lasciata invece al Regolamento Locale di igiene la definizione delle modalità operative per la verifica della conformità delle opere al progetto approvato.

### 3.3 - NORME PER LA PROGETTAZIONE DEI REQUISITI ACUSTICI PASSIVI

Con l'emanazione del DPCM 5/12/1997 sono stati definiti i requisiti acustici delle sorgenti sonore all'interno degli edifici e i requisiti di fonoisolamento che i componenti di un edificio (facciate, partizioni interne, solai, coperture) devono necessariamente avere, dando seguito all'art. 3 comma e) della Legge Quadro n. 447/1995.

Ad oggi non è stato ancora emanato il decreto inerente le modalità per la progettazione acustica degli edifici, come invece prevede l'art. 3 comma f) della Legge Quadro n. 447/1995. Questa lacuna normativa potrebbe formalmente ostacolare la corretta progettazione acustica degli edifici.

E' tuttavia possibile progettare correttamente un edificio e valutare in via previsionale i relativi requisiti acustici passivi applicando una serie di norme tecniche contenenti degli specifici metodi di calcolo. Per la progettazione si fa quindi riferimento alle norme EN 12354 in materia di "Acustica degli edifici, stima delle prestazioni degli edifici in base alle caratteristiche dei prodotti che le compongono", convertite in norme UNI con la sigla UNI EN 12354.

Queste norme consentono di calcolare analiticamente le prestazioni di isolamento acustico previste in opera per gli edifici di nuova costruzione. Conoscendo le prestazioni dei prodotti e dei sistemi edilizi che si andranno ad utilizzare le norme consentono di determinare i parametri indicati nel DPCM 5-12-1997 e altre grandezze.

Le norme si compongono di 6 parti:

**Parte 1** *Isolamento del rumore per via aerea tra ambienti;*

**Parte 2** *Isolamento acustico al calpestio tra ambienti;*

**Parte 3** *Isolamento acustico contro il rumore proveniente dall'esterno per via aerea;*

**Parte 4** *Trasmissione del rumore interno verso l'esterno.*

**Parte 5** *Livelli sonori dovuti agli impianti tecnici*

**Parte 6** *Assorbimento acustico in ambienti chiusi*

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

L'ente che in Italia svolge attività normativa e commercializza le norme è UNI, Ente Nazionale Italiano di Unificazione ([www.uni.com](http://www.uni.com)). Si segnala che le norme sono soggette a revisione e attualmente sono attivi in UNI vari gruppi di lavoro per l'elaborazione di nuove norme tecniche sul tema.

Un altro documento importante per la progettazione è il Rapporto Tecnico UNI TR 11175: “Acustica in edilizia. Guida alle norme serie UNI EN 12354 per la previsione delle prestazioni acustiche degli edifici. Applicazione alla tipologia costruttiva nazionale”

Tra le UNI EN 12354 ed il Rapporto Tecnico UNI esistono alcune sostanziali differenze. Le UNI EN 12354 sono state elaborate in sede CEN, si riferiscono a tipologie costruttive tipiche del Nord Europa ed i modelli di calcoli descritti richiedono dati di ingresso difficilmente reperibili. Il Rapporto Tecnico UNI invece, che si basa sul metodo di calcolo semplificato proposto nelle UNI EN 12354, è stato elaborato considerando le tecnologie edilizie tipiche del nostro Paese e soprattutto presenta in appendice un’ampia banca dati contenente le prestazioni acustiche di strutture edilizie “nazionali”.

Si evidenzia inoltre che la norma UNI EN 12354-5 per il rumore degli impianti è complessa e in molti casi difficilmente applicabile, non disponendo dei dati da inserire nel modello di calcolo. Ad oggi, per isolare tale tipologia di rumori, ci si basa principalmente su indicazioni di corretta posa in opera dei sistemi costruttivi.

### 3.4 - NORME PER LA MISURA IN OPERA DEI REQUISITI ACUSTICI PASSIVI

Nelle norme UNI EN ISO 140 “Acustica - Misura dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio” vengono descritte le procedure operative per misurare in opera i requisiti acustici passivi.

Alcune parti si riferiscono alle misurazioni di elementi di edificio effettuate in laboratorio, mentre le seguenti stabiliscono la metodologia di rilievo effettuato in opera:

**Parte 4** *Misurazioni in opera dell'isolamento acustico per via aerea tra ambienti*

**Parte 5** *Misurazioni in opera dell'isolamento acustico per via aerea degli elementi di facciata e delle facciate*

**Parte 7** *Misurazioni in opera dell'isolamento dal rumore di calpestio di solai*

**Parte 14** *Linee guida per situazioni particolari in opera*

Le norme relative alle misure di isolamento in opera sono in via di revisione e verranno a breve completamente sostituite dalle norme serie UNI EN ISO 16283. In particolare ad aprile 2014 è stata pubblicata la UNI EN ISO 16283-1 che va a sostituire la UNI EN ISO 140-4.

Il metodo di prova è identico al precedente e di conseguenza i dati ottenuti sono ancora validi. La nuova famiglia di norme non è altro che una ristrutturazione organica di tutta la materia con particolare riguardo ad alcuni aspetti emersi in questi anni nell'applicazione della varie parti delle norme serie UNI EN ISO 140.



## 3.5 - CLASSIFICAZIONE ACUSTICA DEGLI EDIFICI

### 3.5.1 - *La vigente normativa*

Nel mese di luglio 2010 è stata emanata la norma tecnica UNI 11367 dal titolo “Classificazione acustica delle unità immobiliari – Procedura di valutazione e verifica in opera”. Il documento spiega come determinare la classe acustica di una unità immobiliare esistente sulla base dei risultati di misure fonometriche eseguite sull’edificio.

Successivamente la norma Norma UNI 11444, pubblicata nel 2012, ha fornito ulteriori indicazioni per la classificazione acustica delle unità immobiliari in edifici con caratteristiche non seriali.

Attualmente la UNI 11367 e la UNI 11444 non sono richiamate in alcun documento legislativo. Pertanto l’applicazione delle classi acustiche è volontaria. Il rispetto di una specifica classe acustica diventa obbligatorio solo se previsto dalle condizioni contrattuali. Già ora questo è un documento importante ed, in futuro, probabilmente potrà essere la base per la nuova legislazione sui requisiti acustici passivi che andrà a sostituire il DPCM 5-12-1997.

Meriti della UNI 11367 sono l’aver corretto i molti errori del DPCM 5-12-1997 e l’introduzione del concetto di errore di misura. Di particolare rilevanza è anche la premessa al documento, nella quale si evidenzia l’importanza del progetto acustico, della direzione lavori e della corretta posa, per ottenere i risultati attesi al termine dell’opera. D’altro canto però la procedura di classificazione, basata su valori medi, risulta complicata da applicare nei cantieri a causa dell’elevato numero di misure richiesto.

Anche per questo motivo è stata elaborata la UNI 11444 che fornisce alcune indicazioni per individuare quali possono essere le unità immobiliari caratterizzate da prestazioni acustiche peggiori in un immobile per poter valutare l’opportunità di classificare solo le unità immobiliari peggiori per poi estendere il dato “a favore di sicurezza” anche alle altre unità immobiliari.

### 3.5.2 - *UNI 11367*

La norma UNI 11367 “Classificazione acustica delle unità immobiliari – Procedura di valutazione e verifica in opera” descrive la procedura di classificazione acustica delle unità immobiliari. Analizzando la norma si evidenziano immediatamente due caratteristiche:

- *La classificazione si basa sui risultati delle misurazioni fonometriche eseguite sull’unità immobiliare in esame.*

- *La classificazione viene applicata alla singola unità immobiliare la quale, generalmente, non corrisponde all'intero edificio. Pertanto, nel caso ad esempio di una palazzina con più appartamenti al suo interno, ogni alloggio sarà caratterizzato da una propria classe acustica.*

La classificazione acustica si prefigge di evidenziare, mediante alcuni indicatori, la prestazione di isolamento dell'unità immobiliare esaminata. Vengono considerati i "livelli di isolamento" rispetto ai rumori provenienti dall'esterno, ai rumori aerei e da calpestio provenienti da altre unità immobiliari, ai rumori di impianti di pertinenza dell'intero edificio o di altre unità immobiliari.

La norma propone quattro classi acustiche (I, II, III e IV). La classe I è la migliore, la IV la peggiore.

Visto che la classificazione si esegue mediante misure fonometriche l'unità immobiliare deve essere esistente, ma non necessariamente di nuova costruzione.

È opportuno inoltre evidenziare che la procedura descritta nella norma permette di indicare solo quanto l'unità immobiliare oggetto di prova è isolata rispetto ai rumori che provengono da altre unità e dall'esterno. Non vengono presi in considerazione i rumori generati (e percepiti) all'interno dell'unità immobiliare stessa ed il disturbo che gli utilizzatori della unità immobiliare esaminata possono arrecare ad altre unità limitrofe.

La procedura di classificazione può essere applicata solo agli immobili con le seguenti destinazioni d'uso:

- *residenziale*
- *direzionale e ufficio*
- *ricettiva (alberghi, pensioni e simili)*
- *ricreativa*
- *di culto*
- *commerciale*

Per edifici con destinazione d'uso ospedaliera o scolastica non è stata definita alcuna procedura. La norma tecnica però, nell'Appendice A, riporta una tabella indicante alcuni valori limite che è opportuno rispettare per ottenere immobili caratterizzati da prestazioni acustiche "di base" o "superiori".

Il certificato di classificazione di una unità immobiliare resta valido fintanto che non vengono realizzate delle modifiche all'immobile che ne possono modificare i requisiti acustici. Una sostituzione di serramenti, ad esempio, comporterebbe la necessità di eseguire nuovamente le valutazioni inerenti l'isolamento acustico di facciata.

La UNI 11347 non specifica quali tecnologie utilizzare per ottenere una determinata classe acustica, si limita a sottolineare che il progetto acustico deve descrivere dettagliatamente “i particolari costruttivi e le modalità di corretta esecuzione dei lavori”. La norma segnala anche che “è opportuno che la progettazione dei requisiti acustici, i controlli in corso d’opera e le misure strumentali vengano eseguiti da tecnici con adeguata competenza in acustica edilizia”. Il tecnico che si occupa di questi aspetti deve quindi avere adeguata preparazione sia nel campo dell’isolamento ai rumori che in quello delle costruzioni.

La classificazione acustica richiede la misura in opera delle prestazioni di isolamento ai rumori dei sistemi costruttivi e dei livelli di rumore degli impianti significativi per l’unità immobiliare in esame. Pertanto l’attestato di classificazione ha validità solo per le condizioni di finitura riscontrate all’atto delle rilevazioni. Nel caso vengano apportate delle modifiche, quali ad esempio sostituzione della pavimentazione o differente regolazione degli impianti tecnologici, l’attestato perde di efficacia e deve essere nuovamente redatto.

Le caratteristiche degli ambienti esaminati e le regolazioni sugli impianti devono essere specificate nella relazione di classificazione.

La norma UNI 11367 indica i seguenti valori limite per le classi acustiche.

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

La Classe I evidenzia le prestazioni migliori. La Classe IV le peggiori. Il gruppo UNI ha deciso di adottare i numeri romani (I, II, III, IV) al posto delle lettere (A, B, C, D, ecc.) per differenziare l’attestato di classificazione acustica dell’immobile da quello di certificazione energetica.

Ogni descrittore viene definito da una specifica classe. Pertanto una singola unità immobiliare, sulla base delle misure fonometriche eseguite, potrà essere caratterizzata da differenti classi acustiche (ad esempio: isolamento di facciata in classe I, isolamento ai rumori da calpestio in classe III, isolamento ai rumori aerei in classe II, ecc.)

Al termine del documento è riportata un'appendice informativa (Appendice L) con alcune indicazioni inerenti la "Qualità acustica attesa" negli edifici classificati. Si indica che, ipotizzando una normale sensibilità al rumore dei soggetti interessati e livelli sonori disturbanti di media intensità, le classi acustiche possono essere interpretate come riportato nelle due tabelle seguenti. La prima valida per i rumori interni alle unità immobiliari ( $R'w$ ,  $L'_{nw}$ , Lic, Lid), la seconda per l'isolamento acustico di facciata ( $D_{2m,nt,w}$ ).

<b>Classe acustica</b>	<b>Prestazioni acustiche attese (<math>R'w</math>, <math>L'_{nw}</math>, Lic, Lid)</b>
<b>I</b>	Molto buone
<b>II</b>	Buone
<b>III</b>	Di base
<b>IV</b>	Modeste

<b>Tipologia di area</b>	<b>Classe di isolamento acustico di facciata (<math>D_{2m,nt,w}</math>)</b>			
	<b>IV</b>	<b>III</b>	<b>II</b>	<b>I</b>
<b>Molto silenziosa</b>	Di base	Buone	Molto buone	Molto buone
<b>Abbastanza silenziosa</b>	Modeste	Di base	Buone	Molto buone
<b>Mediamente rumorosa</b>	Modeste	Modeste	Di base	Buone
<b>Molto rumorosa</b>	Modeste	Modeste	Modeste	Di base

Analizzando queste tabelle si deduce come la norma metta in condizione il progettista di adottare le classi III come livello minimo di isolamento ai rumori provenienti da altre unità immobiliari e di definire l'isolamento acustico di facciata minimo in base al livello di rumore esterno all'immobile.

Nella seconda tabella la "Tipologia di area" è stata volutamente definita in modo molto qualitativo in quanto si è ritenuto che i livelli di rumore delle aree dovranno essere specificati dal legislatore.

### 3.5.3 - *UNI 11444*

La recente pubblicazione della norma UNI 11444 Acustica in edilizia “Classificazione acustica delle unità immobiliari – Linee guida per la selezione delle unità immobiliari in edifici con caratteristiche non seriali” va a colmare il vuoto della classificazione acustica degli edifici “non seriali”, che non sono considerati nella norma UNI 11367.

La nuova norma offre un approccio semplificato attraverso la scelta di alcune unità immobiliari dell’edificio, più critiche sotto il profilo delle prestazioni acustiche di suoi elementi tecnici, nelle quali effettuare le misurazioni previste dalla UNI 11367. In tal modo il responsabile della classificazione acustica può utilizzare i risultati di tale valutazione per classificare le restanti unità immobiliari dell’edificio.

La Norma UNI 11367, infatti, pur rappresentando un utile strumento in mano ai professionisti tecnici e alla committenza per informare sulle caratteristiche acustiche degli edifici e tutelare i vari soggetti che intervengono nel processo edilizio (progettisti, produttori di materiali da costruzione, costruttori, venditori, ecc.) da possibili successive contestazioni, presentava alcune difficoltà nel valutare i requisiti acustici degli edifici con caratteristiche “non seriali”.

A differenza degli “edifici seriali” strutturati in modo tale che ci siano elementi che si ripetono uguali secondo schemi che dipendono da caratteristiche distributive, organizzative e funzionali (ad esempio alberghi, ospedali, scuole, ed edifici assimilabili) che rendono quindi più semplice, meno costosa la classificazione acustica, gli edifici “non seriali” presentano unità immobiliari aventi elementi costruttivi anche molto diversi tra loro e quindi con maggiori problemi di classificazione.

Sulla base delle indicazioni contenute nella nuova UNI 11444 il tecnico che esegue le prove stabilisce la casistica e il numero delle unità immobiliari da sottoporre a misurazione. Per la selezione delle unità immobiliari maggiormente penalizzanti, devono essere prese in considerazione tutte le criticità degli elementi edilizi e degli impianti all’interno dell’edificio.

La norma considera infatti gli elementi più problematici per l’isolamento acustico di facciata (ad esempio i serramenti), delle partizioni interne verticali (pareti divisorie) e orizzontali (pavimenti), per il livello di rumore da calpestio e per il rumore degli impianti a funzionamento continuo e discontinuo.

La norma può essere applicata solo a edifici “con caratteristiche non seriali”. In caso di edifici con tipologia seriale, cioè con elementi tecnici che si ripetono, si devono adottare le procedure di campionamento indicate nelle appendici G e H della UNI 11367.

## CAP.4 METODI DI CALCOLO PREVISIONALE

### 4.1 - PREMESSA

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. Ad esempio i dati sulla rumorosità degli impianti non sono affrontati perché è ancora molto complicato ottenere tutti i parametri richiesti dal modello di calcolo della norma UNI.

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.

Per ciascuno dei parametri che vengono studiati in questi modelli, nello specifico l'indice del potere fonoisolante apparente, l'indice di livello di isolamento acustico di facciata e l'indice del livello di rumore di calpestio, sarà esposto il metodo che utilizza il modello semplificato delle norme UNI EN 12354 parti 1, 2 e 3 e del rapporto tecnico UNI TR 11175.

## 4.2 - CALCOLO DELL'INDICE DI POTERE FONOISOLANTE APPARENTE

Il primo parametro che prendiamo in considerazione è l'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente ( $R'w$ ), questo caratterizza la capacità di un elemento divisorio (parete o solaio), posto in opera tra due locali, di abbattere il rumore. Tale indice tiene conto, oltre che delle caratteristiche di fonoisolamento intrinseche della partizione, anche di tutti i percorsi di trasmissione sonora laterale.

Nelle situazioni più ricorrenti, i percorsi di trasmissione sono tredici, di cui uno diretto (attraverso il divisorio in esame) e dodici di trasmissione laterale (tre per ogni lato della parete).

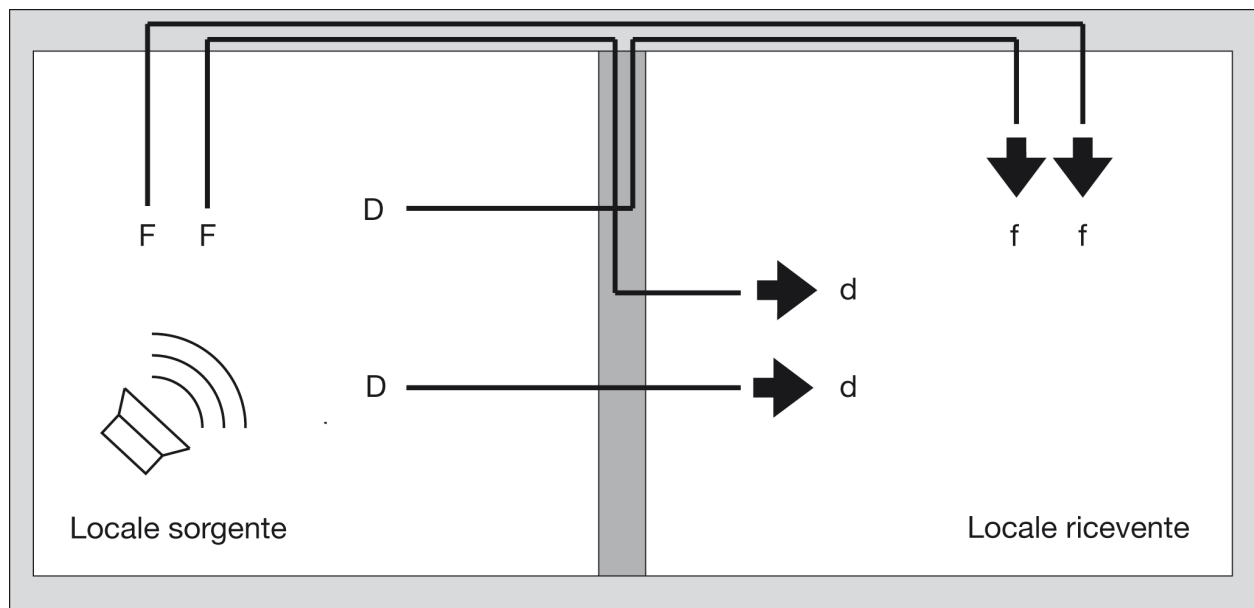
Nelle figura seguente vengono raffigurati il percorso diretto (Dd) e i tre percorsi laterali per uno dei quattro lati dell'elemento divisorio (Ff, Fd, Df) dove:

D indica l'elemento divisorio lato locale sorgente

d indica l'elemento divisorio lato locale ricevente

F indica la struttura laterale lato locale sorgente

f indica la struttura laterale lato locale ricevente



### Calcolo di R'w

L'indice di potere fonoisolante apparente (R'w) di una partizione che separa due ambienti adiacenti può essere calcolato "combinando" tra loro i tredici percorsi di rumore con la seguente relazione matematica:

$$R'_w = -10 \log \left( 10^{\frac{-R_{wDd}}{10}} + \sum_{F=f=1}^n 10^{\frac{-R_{wFf}}{10}} + \sum_{f=1}^n 10^{\frac{-R_{wDf}}{10}} + \sum_{f=1}^n 10^{\frac{-R_{wFd}}{10}} \right)$$

Dove:

$R_{w,ij}$  è l'indice di valutazione del potere fonoisolante caratterizzante il percorso ij

$n$  è il numero di lati dell'elemento divisorio (generalmente quattro)

### Calcolo di R<sub>w,ij</sub>

Ogni singolo percorso di trasmissione sonora "ij", che parte dalla partizione "i" e termina alla partizione "j", viene determinato con la relazione:

$$R_{w,ij} = \frac{R_{w,j} + R_{w,i}}{2} + \Delta R_{w,ij} + K_{ij} + 10 \log \frac{S}{l_0 l_{ij}}$$

Dove:

$R_{w,i}$  è l'indice di valutazione di potere fonoisolante della struttura "i" priva di elementi di rivestimento (pavimenti galleggianti, contropareti, controsoffitti) (dB)

$R_{w,j}$  è l'indice di valutazione di potere fonoisolante della struttura "j" priva di elementi di rivestimento (pavimenti galleggianti, contropareti, controsoffitti) (dB)

$\Delta R_{w,ij}$  è l'incremento dell'indice di valutazione di potere fonoisolante dovuto all'apposizione di strati di rivestimento lungo il percorso i-j (pavimenti galleggianti, contropareti, controsoffitti)

$K_{ij}$  è l'indice di riduzione delle vibrazioni del percorso i-j (dB)

$S$  è la superficie della partizione (m<sup>2</sup>)

$l_0$  è la lunghezza di riferimento pari a 1 m.

$l_{ij}$  è la lunghezza del giunto tra le strutture ij considerate



Nel caso si stia analizzando il percorso diretto (Dd) la formula si riduce a:

$$R_{w,Dd} = R_{w,D} + \Delta R_{w,Dd}$$

Di seguito si riportano una serie di indicazioni in merito ai vari termini che compongono le relazioni matematiche.

### Calcolo di $R_w$

L'indice di valutazione del potere fonoisolante ( $R_w$ ) di una struttura può essere determinato basandosi sui dati di laboratorio, devono essere utilizzate informazioni riportate in rapporti di prova ottenuti mediante misurazioni conformi alla norme tecniche di riferimento (norma UNI EN ISO 140-3 o più recenti norme serie UNI EN ISO 10140).

Se non ci sono prove di laboratorio specifiche sulla struttura che dobbiamo analizzare si utilizzano prove effettuate su partizioni aventi caratteristiche morfologiche analoghe a quella in esame.

Come ultima possibilità si può fare riferimento ad algoritmi matematici, in funzione della massa frontale della struttura ( $m'$ ) (Kg/mq) (definita come il prodotto tra la densità e lo spessore dell'elemento), ed eventualmente di altri parametri, si ricava il valore di  $R_w$  dell'elemento divisorio mediante una apposita equazione.

Esistono molte formule sviluppate da differenti laboratori, con provenienze diverse e con altrettanto diversi limiti di validità.

I laboratori italiani basandosi sul rapporto tecnico UNI TR 11175 hanno proposto:

$$R_w = 20 \log (m') - 2$$

Tale formula è valida per partizioni orizzontali e verticali (singole o doppie) con  $m' > 80$  kg/mq. Nel caso di pareti doppie l'intercapedine deve essere priva di materiale fonoassorbente e di spessore uguale o minore di 5 cm.

La formula proposta dal CEN è invece:

$$R_w = 37,5 \log (m') - 44$$

Tale formula è valida per strutture di base monolitiche con  $m' > 150$  kg/mq.

Nota: alle due relazioni sopra descritte è stato aggiunto il fattore cautelativo pari a  $- 2$  dB indicato in UNI TR 11175

### Calcolo di $\Delta R_{w,ij}$

$\Delta R_{w,ij}$  si calcola mediante la relazione:

$$\Delta R_{w,ij} = \Delta R_{w,i} + \frac{\Delta R_{w,j}}{2}$$

se  $DR_{wi} < DR_{wj}$

oppure

$$\Delta R_{w,ij} = \Delta R_{w,j} + \frac{\Delta R_{w,i}}{2}$$

se  $DR_{wi} > DR_{wj}$

Dove:

$\Delta R_{wi}$             incremento di  $R_w$  dovuto allo strato di rivestimento sul lato  $i$

$\Delta R_{wj}$             incremento di  $R_w$  dovuto allo strato di rivestimento sul lato  $j$

Ovviamente nel caso non sia presente alcuno strato di rivestimento  $DR_w = 0$

Gli strati di rivestimento da considerarsi nel calcolo di  $\Delta R_{w,ij}$  sono solo quelli che effettivamente vengono attraversati dal percorso del rumore preso in esame. Quindi, ad esempio, nel caso si stiano considerando i percorsi che attraversano i solai a soffitto, soprastanti la parete in esame, i pavimenti galleggianti del piano superiore non andranno considerati in quanto non influenti.

### Calcolo di $\Delta R_w$

L'incremento di potere fonoisolante  $\Delta R_w$ , caratteristico di una determinata struttura di rivestimento, può essere ricavato da prove di laboratorio oppure si calcola in funzione della frequenza di risonanza ( $f_0$ ) del sistema "struttura di base-rivestimento".

Nel caso si stiano analizzando strati addizionali il cui strato resiliente è direttamente fissato alla struttura di base senza montanti o correnti (ad es. pavimenti galleggianti):

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

Dove:

$s'$  è la rigidità dinamica dello strato resiliente interposto ottenuta secondo prove di laboratorio conformi alla UNI EN 29052-1; 1993 [MN/m<sup>3</sup>]

$m'_1$  è la massa per unità di superficie della struttura di base in kg/m<sup>2</sup> (ad. es. il solaio portante)

$m'_2$  è la massa per unità di superficie della struttura di rivestimento in kg/m<sup>2</sup> (ad. es. il massetto galleggiante)

Nel caso si stiano analizzando strati addizionali non direttamente collegati alla struttura di base, realizzati con montanti e correnti e con la cavità riempita con materiale poroso avente resistenza al flusso dell'aria > 5 kPas/m<sup>2</sup>:

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

Dove:

$d$  è lo spessore della cavità [m] (distanza tra parete esistente e controparete priva di materiale isolante)

$m'_1$  è la massa per unità di superficie della struttura di base in kg/m<sup>2</sup>

$m'_2$  è la massa per unità di superficie della struttura di rivestimento in kg/m<sup>2</sup>

In funzione di  $f_0$  e del potere fonoisolante ( $R_w$ ) della struttura di base dalla tabella seguente si ricava il valore di  $\Delta R_w$

Frequenza di risonanza $f_0$	$\Delta R_w$
$f_0 < 80$	$35 - \frac{R_w}{2}$
$80 < f_0 < 125$	$32 - \frac{R_w}{2}$
$125 < f_0 < 200$	$28 - \frac{R_w}{2}$
$200 < f_0 < 250$	-2
$250 < f_0 < 315$	-4
$315 < f_0 < 400$	-6
$400 < f_0 < 500$	-8
$500 < f_0 < 1600$	-10
$f_0 > 1600$	-5

## Calcolo di Kij

L'indice di riduzione delle vibrazioni Kij, caratteristico del percorso i-j, può essere determinato conoscendo il tipo di collegamento tra parete divisoria e strutture laterali e le masse per unità di superficie delle strutture coinvolte.

Kij dipende dal parametro M definito come:

$$M = \log \frac{m'_{ij}}{m_i}$$

Dove:

$m'_{ij}$  è la massa superficiale dell'elemento "i" nel percorso laterale i-j (kg/m<sup>2</sup>)

$m_i$  è la massa superficiale dell'elemento perpendicolare all'elemento "i", ad esso collegato nel giunto considerato (kg/m<sup>2</sup>)

L'influenza data dalla tecnica costruttiva viene considerata tramite delle specifiche relazioni per calcolare Kij in base al tipo di giunto ed al tipo di percorso considerati.

Il valore dell'indice Kij deve in ogni caso essere superiore o uguale ad un valore minimo dato dalla relazione:

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

Dove:

$S_i$  è la superficie dell'elemento i nell'ambiente sorgente [mq]

$S_j$  è la superficie dell'elemento j nell'ambiente ricevente [mq]

$l_{ij}$  è la lunghezza del giunto ij [m]

$l_0$  è la lunghezza di riferimento pari a 1 m

### 4.3 - CALCOLO DELL'INDICE DI LIVELLO DI ISOLAMENTO ACUSTICO DI FACCIATA

Un secondo parametro che prendiamo in considerazione è invece l'indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata, normalizzato rispetto al tempo di riverberazione e misurato a 2 metri di distanza dalla parete ( $D_{2m,nTw}$ ). Questo caratterizza la capacità della facciata, di una specifica stanza, di abbattere il rumore proveniente dall'esterno.

Tale indice dipende dal potere fonoisolante apparente della facciata, dalla presenza o meno di elementi schermanti esterni e dalle dimensioni della stanza in esame.

#### Calcolo di $D_{2m,nTw}$

L'indice  $D_{2m,nTw}$  viene calcolato con la seguente relazione

$$D_{2m,nTw} = R'_w + \Delta L_{fs} + 10 \log \left( \frac{V}{6T_0 S_{tot}} \right)$$

Dove:

$R'_w$  è l'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente della facciata [dB]

$\Delta L_{fs}$  è il termine correttivo che quantifica l'influenza di eventuali elementi schermanti [dB]

$V$  è il volume del locale considerato [m<sup>3</sup>]

$T_0$  è il tempo di riverberazione di riferimento, assunto pari a 0,5 s

$S_{tot}$  è la superficie di facciata vista dall'interno [m<sup>2</sup>]

#### Calcolo di $R'_w$

Sulla base dei valori dell'indice di valutazione del potere fonoisolante ( $R_w$ ) degli elementi che la costituiscono la facciata (elementi opachi e serramenti) e sulla base degli indici di isolamento acustico ( $D_{newi}$ ) dei piccoli elementi presenti su di essa viene calcolato l'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente ( $R'_w$ ).

Per piccoli elementi si intendono gli elementi di edificio, con l'eccezione di porte e finestre, con area minore di 1 m<sup>2</sup> (ad es. bocchette di ventilazione, ingressi d'aria, cassonetti delle tapparelle).

$$R'_w = -10 \log \left( \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{S_{tot}} 10^{\frac{-R_{iw}}{10}} + \frac{A_0}{S_{tot}} \sum_{i=1}^p 10^{\frac{-D_{n,ew,i}}{10}} \right) - K$$

Dove:

$R_{iw}$  è l'indice di valutazione del potere fonoisolante dell'elemento  $i$ -esimo costituente la facciata [dB]

$S_i$  è la superficie dell'elemento  $i$ -esimo di facciata visto dall'interno del locale [m<sup>2</sup>]

$S_{tot}$  è la superficie complessiva della facciata vista dall'interno del locale [m<sup>2</sup>]

$A_0$  sono le unità di assorbimento di riferimento, pari a 10 m<sup>2</sup>

$D_{n,ew,i}$  è l'indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato del piccolo elemento  $i$ -esimo [dB]

$K$  è la correzione relativa al contributo della trasmissione laterale

### Calcolo di $D_{newi}$

L'indice di isolamento acustico proprio dei piccoli elementi può essere ricavato da certificati di prove di laboratorio.

Per le prese d'aria non insonorizzate, come i fori di aerazione tradizionali degli ambienti cucina, il termine  $D_{newi}$  può essere ricavato da:

$$D_{newi} = -10 \log \frac{S_{open}}{10}$$

Dove:  $S_{open}$  è la superficie dell'apertura [m<sup>2</sup>]

### Calcolo di $K$

Il contributo della trasmissione laterale è solitamente trascurabile. Se però elementi di facciata rigidi e pesanti (quali calcestruzzo o mattoni) sono collegati rigidamente ad altri elementi rigidi all'interno dell'ambiente ricevente, come pavimenti o pareti divisorie, la trasmissione laterale può contribuire alla trasmissione sonora totale. Ciò potrebbe diventare rilevante se sono richiesti elevati requisiti di isolamento dal rumore. Di conseguenza, a favore di sicurezza, nei casi che comportano la presenza di elementi rigidi si può considerare la trasmissione laterale in maniera "globale" diminuendo il potere fonoisolante di 2 dB. ( $K = 2$  dB). Altrimenti  $K = 0$

## Calcolo di $R_{wi}$

Nel capitolo precedente abbiamo introdotto il calcolo del potere fonoisolante “di laboratorio”  $R_{wi}$ , per i singoli elementi costituenti la facciata valgono le stesse indicazioni.

Il potere fonoisolante ( $R_w$ ) di un serramento, invece, deve essere preferibilmente definito sulla base di risultati di prove di laboratorio, nel caso non si disponga di tali prove l'indice  $R_w$  può essere determinato se si conoscono: le caratteristiche del vetrocamera, la posizione delle guarnizioni, la dimensione e la forma del telaio, la classe di tenuta all'aria del serramento.

Il potere fonoisolante di progetto,  $R_w$ ,  $R_{finestra}$ , può quindi essere calcolato adottando la seguente relazione:

$$R_{w \text{ finestra}} = R_w + K_P + K_{RA} + K_{DS} + K_{FG} + K_{F1,5} + K_{F,3} + K_{GB} \text{ (dB)}$$

Dove:

$R_w$  è l'indice di potere fonoisolante del serramento

$K_P$  è un coefficiente che considera la tipologia di serramento.  
( $K_P$  finestre = -2 dB;  $K_P$  porte = -5 dB)

$K_{RA}$  è un coefficiente da aggiungere se il telaio ha superficie <30% rispetto alla superficie totale del serramento

$K_{DS}$  è un coefficiente da aggiungere nel caso si considerino serramenti con doppio telaio mobile e senza montante centrale

$K_{FG}$  è un coefficiente da aggiungere nel caso si considerino serramenti con telaio non in vista e con maggiore superficie trasparente

$K_{F1,5}$  è un coefficiente da aggiungere nel caso si considerino serramenti con superficie <1,5 m<sup>2</sup>

$K_{F,3}$  è un coefficiente da aggiungere nel caso si considerino serramenti con lastre di vetro >3 m<sup>2</sup>:  $K_{F,3} = -2$  dB;

$K_{GB}$  è un coefficiente da aggiungere nel caso si considerino serramenti a nastro

I valori di  $R_w$  e dei coefficienti  $K_{RA}$ ,  $K_{DS}$ ,  $K_{FG}$ ,  $K_{F1,5}$  e  $K_{GB}$  vengono ricavati da tabelle.

## 4.4 - CALCOLO DELL'INDICE DEL LIVELLO DI RUMORE DA CALPESTIO

L'indice di valutazione del livello di rumore di calpestio apparente di un solaio ( $L'_{nw}$ ) caratterizza il rumore percepito al piano sottostante una volta che viene attivata la macchina per il calpestio sul solaio in esame. Tale indice è quindi da intendersi come un valore "massimo" nel senso che più basso è, maggiore sarà la capacità del solaio di attenuare il rumore.

### Calcolo di $L'_{nw}$

L'indice  $L'_{nw}$  viene calcolato con la seguente relazione

$$L'_{nw} = L_{nweq} - \Delta L_w + K$$

Dove:

$L_{nweq}$  è il livello di rumore da calpestio equivalente riferito al solaio "nudo", privo dello strato di pavimento galleggiante [dB]

$\Delta L_w$  è l'indice di valutazione relativo alla riduzione dei rumori di calpestio dovuto alla presenza di pavimento galleggiante o rivestimento resiliente [dB]

$K$  è la correzione da apportare per la presenza di trasmissione laterale di rumore. Il suo valore dipende dalla massa superficiale del solaio "nudo" e dalla massa superficiale delle strutture laterali [dB]

### Calcolo di $L_{nweq}$

Il valore di  $L_{nweq}$ , relativo alla struttura priva di pavimento galleggiante, può essere ricavato da prove di laboratorio oppure calcolato con la seguente relazione (proposta da UNI EN 12354-2 e UNI TR 11175)

$$L_{nweq} = 164 - 35 \log \frac{m'}{m'_0}$$

Dove:

$m'$  è la massa superficiale degli strati di solaio al di sotto del massetto galleggiante (kg/m<sup>2</sup>)

$m'_0$  è la massa di riferimento pari a 1 kg/m<sup>2</sup>

Secondo quanto prescritto dalla normativa UNI EN 12354-2; 2002, tale formula è utilizzabile per solai di tipo "omogeneo" aventi massa per unità di area ( $m'$ ) compresa tra 100 e 600 kg/m<sup>2</sup>.



I solai che vengono considerati come “omogenei” dalla normativa sono:

- Solai in calcestruzzo pieno gettati in opera
- Solai in calcestruzzo cellulare pieno, autoclavato
- Solai realizzati con mattoni forati
- Solai realizzati con “travetti e alveoli”
- Solai realizzati con “lastroni in calcestruzzo”
- Solai realizzati con travetti in calcestruzzo

Per i solai di tipo laterocemento è stata recentemente proposta da ricercatori italiani la seguente relazione matematica che risulta essere a favore di sicurezza rispetto alla relazione riportata nella normativa internazionale.

$$L_{nveq} = 164 - 30 \log \frac{m'}{m'_0}$$

Dove:

$m'$  è la massa superficiale degli strati di solaio al di sotto del massetto galleggiante (kg/m<sup>2</sup>)

$m'_0$  è la massa di riferimento pari a 1 kg/m<sup>2</sup>

### Calcolo di $\Delta L_w$

L'indice  $\Delta L_w$  di rivestimenti resilienti (moquette) e di massetti galleggianti può essere ricavato da certificati di laboratorio conformi alla normativa UNI EN ISO 140-8.

In alternativa per i massetti galleggianti l'indice può anche essere ricavato analiticamente mediante le relazioni:

$$\Delta L_w = 30 \log \frac{f}{f_0} + 3 \quad (\text{per massetti galleggianti realizzati in calcestruzzo})$$

$$\Delta L_w = 40 \log \frac{f}{f_0} - 3 \quad (\text{per massetti galleggianti realizzati a secco})$$

Dove:

$f$  è la frequenza di riferimento pari a 500 Hz

$f_0$  è la frequenza di risonanza del sistema massetto+strato resiliente, calcolata in base alla seguente relazione:

$$f_0 = 160 \sqrt{\frac{s'}{m'}}$$

Dove:

$s'$  è la rigidità dinamica dello strato resiliente interposto ottenuta secondo prove di laboratorio conformi alla UNI EN 29052-1; 1993 [MN/m<sup>3</sup>]

$m'$  è la massa superficiale del massetto soprastante lo strato resiliente [kg/m<sup>2</sup>]

### Calcolo di K

Il valore dell'indice K è ricavabile dalla seguente tabella. Esso dipende dalla massa superficiale del solaio portante (strati di solaio al di sotto del materiale resiliente) e dalla massa superficiale media delle pareti laterali.

Nel calcolo della massa superficiale media delle pareti laterali non si considerano le pareti rivestite con uno strato isolante avente frequenza di risonanza inferiore a 125 Hz (ad esempio contropareti in cartongesso).

m' solaio portante [kg/mq]	m' media pareti laterali [kg/mq]								
	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

## CAP.5 TECNICHE DI MISURA IN OPERA

### 5.1 - CONSIDERAZIONI INIZIALI

Per determinare l'effettiva prestazione di isolamento ai rumori di un edificio è necessario realizzare delle misurazioni fonometriche in opera, anche il DPCM 5-12-1997 impone limiti da rispettare ad edificio ultimato rendendo di fatto obbligatoria l'esecuzione di questi rilievi.

Le norme tecniche che definiscono chiaramente i procedimenti di misura e la tipologia di sorgenti sonore e di strumenti da utilizzare sono le UNI EN ISO 140 anche se, essendo in via di revisione, in questa fase si aprono diversi scenari, soprattutto per quanto riguarda la validità dei riferimenti normativi in ambito legislativo e contrattuale.

Il fatto che precedenti prescrizioni di legge (DPCM 5-12-1997) differiscano rispetto ai procedimenti di misura indicati nelle norme tecniche di più recente approvazione ci pone di fronte ad una prima criticità: definire chiaramente quale tecnica di misura adottare e a quali valori limite riferirsi.

Il Decreto infatti in alcuni casi indica riferimenti normativi ad oggi ritirati, in altri si riferisce a norme palesemente errate, in altri ancora, come ad esempio per la misura dell'isolamento acustico di facciata, definisce in maniera autonoma le procedure di misura da adottare.

Il riferimento più attendibile, al quale attualmente fa riferimento la maggioranza dei tecnici che eseguono misurazioni fonometriche, sono le indicazioni riportate nelle norme tecniche più recenti.

Bisogna però anche considerare una possibile posizione differente. Alcuni tecnici ritengono che, se si escludono i riferimenti sbagliati, i limiti indicati nel DPCM sono stati elaborati riferendosi ai procedimenti di misura ed alle norme tecniche indicate nel Decreto stesso. Pertanto, ad eccezione degli errori, quelli sono i riferimenti da considerare.

Entrambe le posizioni possono essere considerate ragionevoli. Solo un nuovo documento di legge potrà far chiarezza sull'argomento.

In merito ai valori limite da confrontare con i risultati dei rilievi si segnala che, oltre ai limiti del DPCM 5-12-1997, in alcuni casi si dovranno considerare anche eventuali prescrizioni riportate in regolamenti locali (ad es. Regolamenti Edilizi Comunali) o nei capitoli delle opere.

Il 3 aprile scorso è entrata in vigore la norma UNI EN ISO 16283-1 dal titolo “Acustica – Misure in opera dell’isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio – Parte 1: Isolamento acustico per via aerea”.

Questa norma sostituisce la UNI EN ISO 140-4, la cui versione italiana risaliva al 2000 e che faceva riferimento all’edizione ISO del 1998.

Essa fa parte dell’opera di rinnovamento delle norme tecniche in materia di determinazione delle proprietà acustiche di elementi di edificio, iniziata oltre un decennio fa attraverso un percorso di riorganizzazione e profonda ristrutturazione delle norme della famiglia ISO 140, che includeva sia le indicazioni per le misure in laboratorio, sia le descrizioni per la valutazione in opera.

Nel 2010 la nuova serie ISO 10140 per la misurazione in laboratorio dell’isolamento acustico di edifici e di elementi di edificio ha sostituito le corrispondenti norme della serie ISO 140, successivamente con l’occasione della revisione quinquennale delle parti 4, 5, 7 e 14 della norma ISO 140 si è quindi proceduto alla riscrittura dell’intero sistema di riferimento per le misure di acustica edilizia in opera, che ha portato, appunto, alla nuova serie ISO 16283.

La prima parte di questa norma si occupa della determinazione dell’isolamento acustico per via aerea tra due ambienti di un edificio mediante misure di pressione sonora. Le procedure che vengono descritte possono essere applicate ad ambienti con volume compreso tra 10 e 250 m<sup>3</sup> in presenza di campo sonoro anche solo parzialmente diffuso e permettono l’estensione delle misure a bassa frequenza fino a 50 Hz.

Numerose sono le novità introdotte nel nuovo sistema normativo, come, ad esempio, le tecniche di campionamento spaziale, dove un microfono viene spostato continuamente dall’operatore presente in ambiente o viene mantenuto costantemente in posizioni fisse in diverse parti della stanza per incrementare la ripetibilità e riproducibilità delle misure in ambienti con volume minore di 25 m<sup>3</sup> o per frequenze inferiori a 100 Hz.

Sono attualmente in corso di preparazione le parti 2 e 3 della norma ISO 16283 relative, rispettivamente, alla determinazione dell’isolamento da rumori impattivi, anche con nuove tipologie di sorgenti normalizzate, ed alla valutazione dell’isolamento di facciata.

La seconda parte della norma ISO 16283 è attualmente in fase di inchiesta e votazione da parte dei comitati tecnici nazionali, mentre la terza è in corso di preparazione e la sua pubblicazione è attesa per la fine del 2015.

## 5.2 - POTERE FONOLISOLANTE APPARENTE

Il procedimento di misura in opera delle prestazioni di isolamento ai rumori aerei delle partizioni che separano ambienti è descritto nella norma tecnica UNI EN ISO 16283-1 “Acustica – Misure in opera dell’isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio – Parte 1: Isolamento acustico per via aerea”

La norma specifica metodi per la misurazione in opera delle proprietà di isolamento al rumore aereo di pareti interne, pavimenti e porte, tra due ambienti in condizioni di campo acustico diffuso e per la determinazione della protezione fornita agli occupanti dell’edificio.

I metodi forniscono valori di isolamento al rumore aereo in funzione della frequenza. Essi possono essere trasformati in un unico valore caratterizzante le proprietà acustiche applicando la ISO 717-1.

La norma definisce innanzitutto la tipologia di apparecchiatura da utilizzare sia per la misurazione del livello sonoro (quindi sistema di misurazione, microfono e calibrazione acustica) che per la strumentazione necessaria a generare il suono.

In particolare il suono generato nell'ambiente emittente deve essere costante ed avere uno spettro continuo nella gamma di frequenza considerata, a tale scopo viene in genere utilizzata una sorgente di rumore bianco o rumore rosa. La sorgente deve essere posizionata in modo tale da generare un suono che sia il più diffuso possibile.

Inoltre stabilisce quelle che sono le condizioni di prova necessarie ed il numero di misurazioni da effettuare nel caso si utilizzi un microfono fisso *“devono essere impiegate almeno cinque posizioni di microfono fisse in ciascun ambiente; esse devono essere uniformemente distribuite entro lo spazio ammesso in ciascun ambiente”* o un microfono mobile *“la traiettoria deve avere un raggio di almeno 0,7 m. Il piano della traiettoria deve essere inclinato in modo da coprire una vasta area dello spazio disponibile dell'ambiente e non deve trovarsi in un piano che crei un angolo di meno di 10° con qualsiasi superficie dell'ambiente (parete, pavimento, soffitto). La durata del periodo di traiettoria non deve essere minore di 15 s”*. Vengono anche riportate indicazioni per le misure eseguite spostando manualmente il fonometro.

Prima di effettuare i rilievi dei livelli di rumore nella stanza sorgente ed in quella ricevente deve essere effettuata la misura del livello di rumore di fondo, questa ha lo scopo di verificare che le misure non siano falsate da rumori già presenti nell’ambiente.

In particolare è preferibile che la sorgente di rumore generi nella stanza ricevente livelli di pressione sonora superiori di almeno 10 dB rispetto al rumore di fondo in qualsiasi banda di frequenza. Se ciò non è ottenibile dovranno essere applicate opportune correzioni.

Le misure vengono realizzate considerando almeno le bande di frequenza comprese tra 100 Hz e 3150 Hz. Dai rilievi eseguiti in più punti si ricavano i “valori medi” di L1, L2, T, alle varie bande di frequenza. “L medio” si ricava mediante la relazione:

$$L_{medio} = 10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{\frac{L_j}{10}} \right)$$

L'area equivalente di assorbimento acustico viene valutato a partire dal tempo di riverberazione misurato utilizzando la formula di Sabine:

$$A = \frac{0,16V}{T}$$

*Dove:*

*A* è l'area equivalente di assorbimento acustico, in metri quadri

*V* è il volume dell'ambiente ricevente, in metri cubi

*T* è il tempo di riverberazione dell'ambiente ricevente, in secondi

Il numero minimo di misurazioni di decadimento richieste per ciascuna banda di frequenza è sei. Devono essere impiegati almeno una posizione di altoparlante e tre posizioni di microfono con due letture in ciascun caso.

E' quindi possibile valutare il potere fonoisolante apparente con la formula

$$R' = D + 10 \log \frac{S}{A}$$

*Dove:*

*D* è l'isolamento acustico

*S* è l'area dell'elemento divisorio

*A* è l'area equivalente di assorbimento acustico nella camera ricevente

Unendo le ultime due formule otteniamo

$$R' = L_{1\text{medio}} - L_{2\text{medio}} + 10 \log \frac{S \cdot T_{\text{medio}}}{0,16V}$$

*Dove:*

*S* è l'area dell'elemento divisorio

*V* è il volume dell'ambiente ricevente

Il DPCM 5-12-1997 definisce i limiti di isolamento ai rumori aerei tra unità immobiliari adottando il descrittore  $R'w$ .

Il Decreto richiama erroneamente come norma di riferimento la EN ISO 140-5: 1996. Tale norma riguarda la misura in opera dell'isolamento acustico di facciata.

Per il calcolo dell'indice di valutazione il DPCM richiede di adottare il metodo di calcolo della UNI 8270 parte 7 par. 5.1. La norma, ad oggi ritirata e sostituita dalla UNI EN ISO 717-1, indica un metodo di calcolo dell'indice di valutazione del tutto simile a quello del documento più recente ad eccezione di un'unica significativa differenza. La curva di riferimento viene traslata per passi di 0,5 dB anziché per passi di 1 dB. Pertanto è possibile ricavare valori di  $R'w$  arrotondati a 0,5 dB anziché a numeri interi.

### 5.3 - ISOLAMENTO DAI RUMORI PROVENIENTI DALL'ESTERNO

Il procedimento di misura in opera delle prestazioni di isolamento ai rumori aerei provenienti dall'esterno (isolamento acustico di facciata) è descritto nella norma tecnica UNI EN ISO 140.

**Parte 5** - Misurazioni in opera dell'isolamento acustico per via aerea degli elementi di facciata e delle facciate;

La norma fornisce indicazioni in merito alle sorgenti di rumore da utilizzare, ai punti di rilievo ed alle caratteristiche degli strumenti di misura, in particolare vengono descritte tecniche di misura che adottano sorgenti sonore esterne esistenti, quali il traffico stradale, aereo o ferroviario, oppure una sorgente sonora artificiale.

Vengono inoltre definiti due metodi di misura: metodo degli elementi e metodo globale. Il metodo degli elementi ha lo scopo di valutare le prestazioni di isolamento di uno specifico elemento costituente la facciata, come ad esempio una finestra. Il metodo globale permette invece di valutare le caratteristiche dell'intera facciata dell'ambiente in esame.

Il livello di pressione sonora esterno viene misurato a metà della larghezza della facciata ed a 2 metri dal piano della stessa, o 1 metro da un'eventuale balaustra o altre sporgenze. L'altezza del microfono deve essere 1,5 metri al di sopra del pavimento dell'ambiente ricevente. Se la facciata è una costruzione in pendenza, come un tetto, la posizione esterna di misura deve essere scelta ad una distanza non minore della proiezione della parte verticale della facciata. La sorgente deve essere posizionata in modo tale da minimizzare possibili variazioni di pressione sonora sulla facciata. L'angolo di incidenza del suono deve essere di 45° e, se si considera il metodo globale, la distanza tra la sorgente sonora e il centro della facciata deve essere di almeno 7 metri.

Anche in questo caso il rilievo del livello di rumore di fondo, prima di attivare la sorgente, ha lo scopo di verificare che le misure non siano falsate da rumori già presenti nell'ambiente. Se la sorgente non è in grado di immettere nella stanza ricevente livelli di pressione sonora superiori di almeno 10 dB rispetto al rumore di fondo dovranno essere applicate opportune correzioni.

Le misure vengono realizzate considerando almeno le bande di frequenza comprese tra 100 Hz e 3150 Hz. Dai rilievi eseguiti in più punti si ricavano i "valori medi" di L<sub>2</sub> e T, alle varie bande di frequenza, come indicato al paragrafo precedente.

Isolamento acustico normalizzato rispetto al tempo di riverberazione:

$$D_{2m,nT} = L_{1,2} - L_{2medio} + 10 \log \frac{T_{medio}}{T_0}$$



Dove:

$T_0$  è il tempo di riverberazione di riferimento (per le abitazioni  $T_0 = 0,5$  s)

Isolamento acustico normalizzato rispetto all'assorbimento acustico:

$$D_{2m,n} = L_{1,2m} - L_{2medio} - 10 \log \frac{0,16V}{T_{medio} \cdot A_0}$$

Dove:

$V$  è il volume dell'ambiente ricevente

$A_0$  è l'area equivalente di assorbimento acustico di riferimento (per ambienti in abitazioni o ambienti di dimensioni confrontabili:  $A_0 = 10$  m<sup>2</sup>)

Dai valori di  $D_{2m,nT}$  o  $D_{2m,n}$ , misurati alle varie frequenze, si potranno poi determinare gli indici di valutazione  $D_{2m,nTw}$  o  $D_{2m,nw}$  mediante il metodo di calcolo descritto nella norma UNI EN ISO 717 - 1.

Il DPCM 5-12-1997 definisce i limiti di isolamento ai rumori aerei provenienti dall'esterno adottando il descrittore  $D_{2mnTw}$ .

Il Decreto indica inoltre, in maniera autonoma, la procedura di misura senza riferirsi a norme tecniche, le indicazioni che fornisce sono in sostanza simili a quelle della norma tecnica questa però ha il pregio di fornire molte più informazioni rispetto al documento di legge.

L'unica differenza significativa riguarda il numero di misure da eseguire nell'ambiente interno. Solo il DPCM fornisce indicazioni su come calcolare il numero di posizioni di misura.

## 5.4 - LIVELLO DI RUMORE DI CALPESTIO

Il procedimento di misura in opera del livello di rumore di calpestio è descritto nelle norme tecniche UNI EN ISO 140:

*Parte 7 - Misurazioni in opera dell'isolamento dal rumore di calpestio dei solai*

*Parte 14 - Linee guida per situazioni particolari in opera*

La parte 7 della ISO 140 descrive un metodo in opera per la misurazione dell'isolamento dai rumori di calpestio di solai utilizzando il generatore normalizzato di calpestio. La parte 14 riporta ulteriori informazioni tra cui indicazioni per rilievi da eseguirsi su strutture con particolari conformazioni geometriche (ambienti sfalsati, ecc).

Il rumore di calpestio deve essere prodotto dal generatore di calpestio normalizzato. Le caratteristiche del generatore di calpestio sono definiti nell'appendice A della UNI EN ISO 140-7. In particolare il generatore deve essere provvisto di cinque martelli, posti in linea retta, ognuno di massa pari a  $500 \pm 12$

La norma ci indica come il generatore di calpestio deve essere disposto: *“in almeno quattro posizioni diverse scelte a caso sul pavimento sottoposto a prova, la distanza minima fra la macchina e il bordo del pavimento deve essere di 0,5 m. Nel caso di strutture portanti non omogenee (solai nervati, misti, ecc.) possono rendersi necessarie più posizioni. La linea congiungente i martelli dovrebbe essere orientata a 45° rispetto all'asse delle travi”*.

Viene anche indicato il numero di misurazioni da effettuare nel caso si utilizzi un microfono fisso *“devono essere impiegate almeno quattro posizioni di microfono fisso; esse devono essere uniformemente distribuite entro lo spazio ammesso in ciascun ambiente”* o un microfono mobile *“la traiettoria deve avere un raggio di almeno 0,7 m. Il piano della traiettoria deve essere inclinato in modo da coprire una vasta area dello spazio disponibile dell'ambiente e non deve trovarsi in un piano che crei un angolo di meno di 10° con qualsiasi superficie dell'ambiente (parete, pavimento, soffitto). La durata del periodo di traiettoria non deve essere minore di 15 s”*

Viene rilevato anche il rilievo del rumore di fondo che serve per correggere la misura da eventuali disturbi esterni. La sorgente di rumore ha però caratteristiche tali da riuscire, nella maggioranza dei casi, a generare livelli di pressione sonora ben superiori rispetto al rumore di fondo. In genere può verificarsi la necessità di correggere i dati solo in caso di solai molto isolati rispetto ai rumori da calpestio.

Le misure vengono realizzate considerando almeno le bande di frequenza comprese tra 100 Hz e 3150 Hz. Dai rilievi eseguiti in più punti si ricavano i “valori medi” di L1, e T alle varie bande di frequenza.

Dai dati rilevati è possibile determinare differenti grandezze: il livello di rumore da calpestio normalizzato rispetto all'assorbimento acustico:

$$L'_n = L_{1medio} + 10 \log \frac{0,16V}{T_{medio} \cdot A_0}$$

Dove:

$V$  è il volume dell'ambiente ricevente

$A_0$  è l'area equivalente di assorbimento acustico di riferimento (per ambienti in abitazioni o ambienti di dimensioni confrontabili:  $A_0 = 10 \text{ m}^2$ )

Ed il livello di rumore da calpestio normalizzato rispetto al tempo di riverberazione:

$$L'_{nT} = L_{1medio} - 10 \log \frac{T_{medio}}{T_0}$$

Dove:

$T_0$  è il tempo di riverberazione di riferimento (per le abitazioni  $T_0 = 0,5 \text{ s}$ ).

Dai valori di  $L'_n$  o  $L'_{nT}$ , misurati alle varie frequenze, si potranno poi determinare gli indici di valutazione  $L'_{nw}$  o  $L'_{nTw}$  mediante il metodo di calcolo descritto nella norma UNI EN ISO 717 - 2.

Il DPCM 5-12-1997 definisce i limiti di livello di rumore da calpestio adottando il descrittore  $L'_{nw}$ .

Il Decreto inoltre indica come riferimento per il rumore di calpestio la norma EN ISO 140-6:1996. Tale norma però descrive la procedura per misurare in laboratorio l'isolamento dal rumore di calpestio di solai, pertanto non può essere di fatto utilizzata per i rilievi in opera.

Per il calcolo dell'indice di valutazione il DPCM richiede di adottare il metodo di calcolo della UNI 8270 parte 7 par. 5.2. Anche in questo caso valgono in sostanza le medesime considerazioni del capitolo precedente sul raffronto tra UNI 8270 UNI EN ISO 717.

## CAP.6 SOLUZIONI TECNOLOGICHE PER LE RISTRUTTURAZIONI ED INDICAZIONI DI POSA IN OPERA

### 6.1 - INTRODUZIONE

La norma UNI 11367 per la classificazione acustica delle unità immobiliari offre l'opportunità, a chi costruisce un nuovo edificio, di impostare la progettazione e la scelta dei sistemi costruttivi per raggiungere le classi acustiche più elevate. Con la sensibilizzazione del mercato su questo argomento anche i proprietari di edifici esistenti tendono a valutare la possibilità di migliorare le prestazioni dei propri immobili per ottenere miglior comfort acustico e conseguente maggiore valore economico per la loro abitazione. In aggiunta a ciò i provvedimenti legislativi sui ben noti incentivi fiscali hanno attivato un ampio mercato di interventi volti al miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici. Ma quali sono i sistemi costruttivi che consentono di "risanare" energeticamente e acusticamente gli edifici esistenti? È possibile raggiungere le classi elevate indicate nella norma UNI 11367? E soprattutto, interventi di isolamento termico come incidono sulle prestazioni di isolamento acustico?

In questo capitolo si espongono alcune considerazioni per le soluzioni tecnologiche attualmente presenti sul mercato. Vengono indicate per ogni tipologia di intervento le criticità di applicazione e la possibilità di ottenere risultati significativi.

## 6.2 - MATERIALI ISOLANTI E POSA IN OPERA

Mentre l'isolamento termico di una struttura è determinato principalmente dalle caratteristiche del materiale isolante inserito in stratigrafia (conduttività termica e spessore), l'isolamento acustico è invece definito dall'intero sistema costruttivo. Risultano quindi fondamentali la scelta dei materiali con le corrette caratteristiche ma, soprattutto, l'attenzione alla corretta posa in opera.

Se si considera ad esempio una parete doppia in laterizi, la scelta del materiale isolante da inserire in intercapedine sarà fondamentale per incrementare il potere fonoisolante della struttura. Ciononostante il solo materiale non basta. L'isolamento ai rumori aerei, in questo caso, è determinato in gran parte anche dalla massa e dalla corretta posa in opera degli elementi in laterizio.

### 6.2.1 - *Materiali utilizzati nei sistemi per l'isolamento acustico*

Nei sistemi per l'isolamento acustico si utilizzano quei materiali caratterizzati dalla proprietà di non entrare in vibrazione sotto l'effetto delle onde sonore (non divenendo a loro volta, sorgenti sonore). La funzione tali prodotti è quella di impedire il propagarsi dell'energia sonora attraverso una struttura. Questo tipo di isolamento si realizza con l'utilizzo di barriere o materiali di massa in cui la caratteristica fondamentale è il peso specifico.

In base alla provenienza, i materiali per l'isolamento acustico sono classificati in naturali, artificiali e sintetici. Sono naturali quando vengono utilizzati così come si trovano in natura; si dicono artificiali se sono ricavati attraverso la lavorazione di sostanze naturali; se non esistono in natura, ma vengono prodotti per sintesi su scala industriale, si parla di materiali sintetici. In base all'utilizzo poi si differenziano in: portanti, leganti e accessori. Sono portanti quando costituiscono l'intelaiatura di una struttura e hanno dunque funzione statica (pietra, legno, laterizi). Sono detti leganti quando hanno la funzione di tenere unite nel tempo le diverse parti di una costruzione (gesso, calce e cemento). Si dicono accessori quando vengono usati per scopi funzionali o estetici di varia natura (per esempio isolare, decorare).

In primissima approssimazione il livello di isolamento di un materiale o di una parete dipende principalmente dalla sua massa per metro quadrato. La Legge di Massa infatti stabilisce che duplicando la massa di una superficie l'isolamento aumenta di 6dB. Non solo, la Legge di Massa stabilisce anche che l'isolamento acustico di un materiale aumenta di 6dB se raddoppiamo la frequenza del suono incidente. Per questo più alta sarà la frequenza incidente, maggiore sarà il livello di isolamento acustico. In ogni caso questa è una approssimazione teorica ed è valida principalmente nelle frequenze medie e medio alte, nella realtà ci sono molti altri fattori in gioco.

Uno di questi fattori è la frequenza di coincidenza, questa può essere definita come quella frequenza alla quale la velocità di propagazione della vibrazione acustica nel materiale fonoisolante è uguale alla velocità di propagazione del suono nell'aria. A questa frequenza il materiale smette di essere fonoisolante violando i principi della Legge di Massa. Avremo un vero e proprio "buco" nello spettro in frequenza dell'isolamento ( di solito alle frequenze medio-alte) che può essere anche -10dB rispetto al comportamento previsto dalla legge di massa. La frequenza di coincidenza di un materiale varia in modo proporzionale alla radice quadrata del rapporto tra massa e rigidità.

Come abbiamo detto questa deviazione dalla legge di massa si trova a frequenze medio alte, l'obiettivo di un buon materiale fonoisolante è quindi quello di ottenere una frequenza di coincidenza il più alta possibile, per questo dovremo cercare un materiale che abbia più massa e minore rigidità possibile (sostanzialmente deve essere pesante e flessibile).

### **6.2.2 - *Materiali isolanti in intercapedine***

Nel caso si stiano considerando pareti dotate di intercapedine (pareti doppie in laterizio, pareti leggere, contropareti, ecc.) è consigliabile inserire nella camera d'aria del materiale isolante. Il materiale contribuirà a migliorare le prestazioni di isolamento termico della parete e ne modificherà le caratteristiche acustiche. In particolare, se le pareti separano differenti unità immobiliari, la posa del materiale diventa in genere obbligatoria anche per rispettare i limiti di isolamento termico imposti dalla vigente legislazione italiana (DLGS 311).

La scelta e la tecnica di posa in opera del materiale può basarsi sui risultati di prove di laboratorio sulle intere partizioni. Come indicazione di carattere generale si evidenzia però che i materiali con caratteristiche fonoassorbenti determinano un incremento delle prestazioni di isolamento acustico della parete. La struttura fisica di tali materiali infatti, a differenza dei materiali cellulari, contribuisce a dissipare l'energia sonora ed a limitare possibili problemi di risonanza dell'intercapedine.

## 6.3 - ISOLAMENTO AI RUMORI AEREI

### 6.3.1 - *Pareti in laterizio*

L'isolamento ai rumori aerei delle pareti in laterizio, dette anche "pesanti" è determinato principalmente dalla loro massa per unità di superficie. Un incremento della massa corrisponde ad un aumento dell'isolamento della parete.

A parità di massa le pareti doppie sono caratterizzate da valori di isolamento superiori rispetto alle pareti singole.

Per migliorare le prestazioni di isolamento delle pareti doppie, minimizzando possibili problemi di risonanza, è preferibile realizzare i due muri con masse differenziate ed inserire in intercapedine materiale fonoassorbente.

Per ottenere un buon risultato di isolamento acustico è necessario seguire alcune indicazioni sulla corretta posa in opera altrimenti le prestazioni previste nei calcoli previsionali saranno state inutili. Ad esempio, data l'eterogeneità della composizione della parete in laterizio, dovranno essere riempiti con malta anche i giunti verticali tra i mattoni non limitandosi come a volte succede ai giunti orizzontali.

La scelta e le tecniche di posa del materiale da inserire in intercapedine possono basarsi sulle indicazioni riportate in un certificato di prova di laboratorio. Il materiale scelto dovrà coprire tutta la superficie della partizione e bisognerà prestare articolare attenzione nel collegamento a soffitto.

È preferibile che il materiale isolante riempi completamente l'intercapedine per limitare possibili ponti acustici dovuti a scatolette elettriche. Se si riempie completamente l'intercapedine, per non creare collegamenti rigidi tra i due muri è preferibile adottare materiali di adeguata densità, se si utilizzassero materiali troppo rigidi dovranno essere desolidarizzati dalle pareti mediante l'interposizione di elementi elastici.

Gli scassi per gli impianti elettrici dovranno essere ridotti al minimo indispensabile. Tutte le tracce andranno accuratamente riempite con malta. Eventuali scatolette elettriche o quadri elettrici o, in generale, tracce impiantistiche non devono essere posti in corrispondenza sui due lati della parete divisoria.

Strutture in cemento armato e parete in mattoni dovranno essere perfettamente collegati e solidali tra loro. La formazione di fessure in corrispondenza della giunzione determina una perdita di prestazione di isolamento ai rumori aerei. Per migliorare il collegamento tra gli elementi è possibile prevedere di realizzare le strutture in cemento armato con appositi svassi nei quali inserire i laterizi.

Per limitare la trasmissione laterale dei rumori in corrispondenza del collegamento a pavimento è preferibile posare le strutture su strisce di materiale desolidarizzante. Tale materiale dovrà garantire adeguata resistenza alla compressione.

La parte rimanente del perimetro della parete dovrà essere perfettamente collegata e ancorata alle strutture laterali. In particolare si dovrà costipare completamente con malta lo spazio fra la parte superiore dell'ultimo corso di laterizi e la superficie di intradosso del solaio.

### 6.3.2 - *Pareti realizzate a secco*

L'isolamento acustico delle pareti in gesso rivestito (cartongesso) non si basa solo sul peso ma principalmente su di un isolamento "dinamico" dipendente dagli effetti della risonanza. Le pareti di gesso rivestito sono sempre doppie e costituite da due o più lastre separate da una intercapedine riempita con isolanti fibrosi. Il comportamento del sistema è rappresentabile con un modello meccanico dove le vibrazioni di due masse, le due pareti di gesso, sono smorzate da una molla (l'aria dell'intercapedine) posta fra queste.

Sono in grado di fornire isolamenti molto elevati con pesi e spessori molto più bassi delle pareti tradizionali in muratura. Naturalmente non sono impiegabili per la parete di facciata ma si usano solo per i divisori interni comprese le pareti di separazione fra unità abitative diverse, si tratta di un sistema di costruzione molto diffuso all'estero, nel Nord Europa e negli USA, molto usato anche nell'edilizia alberghiera, ospedaliera e negli edifici adibiti ad attività commerciali ed uffici.

Queste strutture necessitano, per poter ottenere risultati interessanti, di alcuni accorgimenti per una corretta posa in opera. Per minimizzare la trasmissione di rumore in direzione laterale tutte le strutture metalliche perimetrali, orizzontali e verticali, dovranno essere desolidarizzate dalle partizioni laterali mediante l'interposizione di materiale elastico. Le lastre, per dissipare energia sonora, dovranno poter vibrare liberamente, è pertanto fondamentale avvitare i pannelli alla struttura portante adottando le prescrizioni indicate dal produttore del sistema costruttivo.

Anche in questo caso le indicazioni riportate sul certificato di prova di laboratorio guideranno la scelta e le tecniche di posa del materiale da inserire in intercapedine. Il materiale dovrà comunque coprire tutta la superficie della partizione con particolare attenzione posta nel collegamento a soffitto. È preferibile che il materiale isolante non riempia completamente l'intercapedine per limitare possibili ponti acustici dovuti a scatolette elettriche. Infatti, nel caso l'intercapedine venisse completamente riempita, l'inserimento di una scatoletta determinerebbe la compressione del materiale sulla lastra retrostante e, di conseguenza, la creazione di un possibile collegamento rigido.

Per ottenere elevatissime prestazioni di isolamento dai rumori aerei è possibile utilizzare pareti a doppia struttura realizzate sempre a secco. È però necessario che le strutture metalliche siano tra loro distaccate per evitare di creare collegamenti rigidi e quindi ponti acustici.



Particolare attenzione meritano i pilastri in cemento armato interni alle pareti leggere poiché, se a diretto contatto con le lastre, diventano un percorso preferenziale per la trasmissione di vibrazioni. E' indispensabile pertanto desolidarizzare i pilastri dalle lastre interponendo del materiale elastico.

Nel caso siano realizzati nella parete scassi impiantistici, quali aperture per scatole o quadri elettrici, e si intenda ottenere elevati valori di isolamento acustico, è necessario prevedere la realizzazione di pareti a doppia struttura con lastra intermedia in intercapedine.

### 6.3.3 - *Sistemi misti*

Nel caso si intenda migliorare l'isolamento ai rumori aerei o ridurre la trasmittanza termica di una partizione esistente, intervenendo dall'interno dell'abitazione, la soluzione tecnologica maggiormente utilizzata consiste nel posare contropareti in lastre continue accoppiate a materiale isolante in intercapedine. Le contropareti possono essere autoportanti, montate cioè su struttura metallica indipendente, o direttamente applicate alla partizione con colla o tasselli antivibranti.

Sempre più spesso vengono costruite pareti del genere sia per rispondere alle esigenze imposte dalla legge sulle nuove costruzioni sia per aumentare l'isolamento di pareti esistenti costruite prima dell'avvento del DPCM 5/12/97.

I sistemi di tipo misto, realizzati con pareti pesanti controplaccate con sistemi leggeri, permettono di ottenere elevatissime prestazioni, sfruttando le caratteristiche proprie di entrambi i sistemi costruttivi, con spessori sostanzialmente contenuti (indicativamente maggiori di 4 cm) si possono ottenere significativi incrementi di isolamento, sia termico che acustico.

In merito al controllo dei rumori l'entità del miglioramento dipende dalla tipologia di controparete adottata, dalle caratteristiche della partizione esistente, dall'incidenza delle trasmissioni laterali e di eventuali ponti acustici oltre, ovviamente, dalla corretta posa in opera della struttura.

Analizzando i risultati di prove di laboratorio e di prove in opera è possibile verificare come interventi di questo tipo possano determinare sensibili incrementi di potere fonoisolante della partizione, anche superiori a 10 dB. Materiali isolanti eccessivamente rigidi e non fonoassorbenti, o posa in opera scorretta, possono però anche causare peggioramenti dell'isolamento acustico della struttura. Tale condizione può essere verificata anche mediante i metodi di calcolo previsionale proposti nella norma UNI EN 12354-1 e nel rapporto tecnico UNI TR 11175.

Nel caso si realizzino contropareti isolanti su partizioni a contatto con l'esterno, è necessario verificare il comportamento della parete ai fini del rischio di condensazione

interstiziale e valutare l'opportunità di inserire in stratigrafia una eventuale barriera a vapore. Materiali molto permeabili al vapore infatti possono comportare elevato rischio di condensa interstiziale.

Tra le criticità di applicazione dei controplaccaggi nelle abitazioni, si riscontra principalmente il fatto che una controparete riduce lo spazio abitabile all'interno dell'ambiente e gli interventi maggiormente performanti, che richiedono in genere spessori più elevati, non sempre sono proponibili.

Tale tecnologia ha però il pregio di limitare sensibilmente il problema della realizzazione delle tracce impiantistiche. Pur inserendo scatolette elettriche all'interno delle contropareti, la parete massiva intermedia, rimanendo completamente integra, garantisce l'isolamento tra i due ambienti.

Si evidenzia solo che le contropareti leggere determineranno maggiore isolamento se la struttura metallica portante rimane distaccata, almeno di qualche millimetro, dalla parete pesante.

## 6.4 - ISOLAMENTO RISPETTO AI RUMORI ESTERNI

### 6.4.1 - *Indicazioni generali*

Le facciate delle costruzioni residenziali sono costituite da vari elementi con una diversa capacità di abbattere i rumori. Questi elementi formano quello che può essere definito un “sistema di facciata” che è costituito solitamente da elmetti opachi (pareti, ecc.), elementi trasparenti (finestre, porte finestre, ecc.) e piccoli elementi (cassonetti, bocchette di areazione, ecc.).

All'interno di questo sistema gli elementi con minore capacità di abbattere il rumore, anche se di piccole dimensioni, influenzano in maniera sostanziale la prestazione. E' stato definito che la prestazione di un'intera facciata è determinata principalmente dal serramento adottato e dalla sua corretta posa in opera infatti per migliorare le prestazioni di un'intero sistema bisogna innanzitutto migliorare le prestazioni degli elementi dotati di scarso isolamento acustico, a prescindere dalle dimensioni.

### 6.4.2 - *Serramenti ed indicazioni di posa in opera*

Siccome i serramenti contribuiscono in maniera determinante all'isolamento complessivo delle facciate, questi dovranno essere posati in opera di modo da evitare nella maniera più assoluta il passaggio d'aria (e quindi di rumori) lungo tutto il perimetro.

Generalmente, per raggiungere le prestazioni minime di isolamento indicate nel DPCM 5-12-1997 ( $D_{2mnTw} > 40$  dB), i serramenti devono garantire elevata tenuta all'aria (pari a classe 4 secondo la norma UNI EN 12207:2000) ed essere dotati di vetri camera ad elevato potere fonoisolante (generalmente vetri doppi con almeno una delle due lastre di tipo stratificato).

L'indice di potere fonoisolante ( $R_w$ ) dei serramenti è certificato dal fornitore degli stessi mediante i risultati di prove di laboratorio conformi alla normativa tecnica vigente, la prova dovrà riguardare l'intero serramento (telaio + vetro). Nel caso che i serramenti siano dotati di cassonetto la prova dovrà riguardare l'intero sistema monoblocco (telaio + vetro + cassonetto), con avvolgibile alzato (finestra non oscurata).

Il fornitore dei serramenti deve indicare tutte le prescrizioni di corretta posa in opera dei propri sistemi, tali prescrizioni devono essere conformi alla posa in opera adottata per le prove di laboratorio.

Fondamentale per ottenere un buon risultato è l'estrema cura nella realizzazione e posa delle guarnizioni. Questi elementi devono essere privi di rotture e, per quanto possibile, continui lungo tutto il perimetro del serramento. Particolare attenzione dovrà essere posta nella realizzazione degli angoli.

Tra falso telaio e telaio è consigliabile interporre materiale fibroso fonoassorbente. In alternativa si possono utilizzare schiume che riempiano completamente l'intercapedine. Il telaio fisso deve essere giuntato sul perimetro interno ed esterno utilizzando silicone.

#### 6.4.3 - *Bocchette di areazione e sistemi di ricambio d'aria*

L'attuale legislazione italiana impone per i locali nei quali siano installati apparecchi a gas la realizzazione di aperture permanenti sulle pareti esterne, la norma UNI CIG 7129 indica quale deve essere il dimensionamento di tali aperture per poter avere un'adeguato ricambio d'aria. L'adozione di una "tradizionale" bocchetta di aerazione, priva di sistemi insonorizzanti, determina però un drastico peggioramento delle prestazioni di isolamento acustico dell'intera facciata. In particolare tale elemento renderebbe impossibile raggiungere i valori minimi di isolamento definiti nel DPCM 5-12-1997 ( $D_{2mnTw} \geq 40$  dB).

Una soluzione consiste nell'adottare aperture di tipo silenziato, bocchette di aerazione rivestite internamente con materiale fonoassorbente. Attualmente esistono in commercio vari tipi di bocchette silenziate per le quali i produttori certificano le prestazioni di abbattimento acustico misurate in laboratorio, queste misure vengono eseguite adottando le indicazioni riportate nella norma UNI EN ISO 20140 parte 10 "Misura in laboratorio dell'isolamento acustico per via aerea di piccoli elementi di edificio".

Un adeguato ricambio d'aria nei locali è necessario per garantire il confort abitativo ed evitare la formazione di muffa sulle pareti. Nel caso la richiesta di isolamento dai rumori esterni o dallo smog non consenta all'utilizzatore di aprire e chiudere i serramenti per aerare i locali è necessario utilizzare sistemi di ventilazione se si considera l'adozione di serramenti ad elevata tenuta all'aria.

Esistono differenti tipologie di sistemi di ricambio aria, nel caso vengano adottati sistemi che richiedono la realizzazione di ingressi aria in facciata è necessario verificare le prestazioni di isolamento acustico di questi elementi. In generale sono da preferirsi ingressi aria con struttura interna a labirinto accoppiata a materiale fonoassorbente eventualmente accoppiati a schermi esterni.

Se si considerano i parametri di legge attualmente in vigore (DPCM 5-12-1997), e dimensioni tipiche di ambienti residenziali, per garantire un isolamento  $D_{2mnTw}$  pari almeno a 40 dB sarà quasi sempre necessario adottare aperture in facciata per le quali sia certificato un indice di isolamento acustico di piccolo elemento ( $D_{new}$ ) superiore o uguale a 40 dB. Tale valore diventa comunque insufficiente quando parti opache e serramenti presentano bassi valori di potere fonoisolante.

## 6.5 - ISOLAMENTO AI RUMORI DI CALPESTIO

### 6.5.1 - *Indicazioni generali*

Per poter rispettare i valori limite imposti dal DPCM 5-12-1997, è in pratica obbligatorio adottare almeno una soluzione tecnologica nella costruzione dei solai per poter limitare i rumori da impatto smorzandone le vibrazioni. Solai in laterocemento rivestiti con solo massetto e pavimentazione sono generalmente caratterizzati da valori di livello di rumore da calpestio ( $L'_{nw}$ ) superiori a 75-80 dB.

Anche nel caso di ristrutturazioni questo è un problema da affrontare con attenzione soprattutto se si considera la proposta della normativa sulla classificazione acustica degli immobili, quindi la possibilità di rientrare in classi di certificazione superiori.

Per ottenere lo scopo esistono differenti soluzioni tecnologiche, le più utilizzate sono il massetto galleggiante, i sottofondi a secco e la posa di materiale desolidarizzante direttamente al di sotto dello strato di rivestimento. Anche in questo caso la scelta di una particolare soluzione può basarsi su vari fattori, necessariamente si dovranno considerare le caratteristiche del solaio portante ed i risultati che si intendono ottenere.

Non sempre c'è la possibilità di adottare questo tipo di soluzioni, bisogna quindi poter intervenire, spesso con efficacia minore, con altri tipi di soluzioni tecnologiche che ci permettano di evitare interventi strutturali.

Un metodo consiste nell'intervenire sul pavimento adottando, come strato di rivestimento a pavimento, un materiale in grado di smorzare la trasmissione di vibrazioni (ad esempio moquette, tappeti, ecc.). Se si utilizzano materiali adeguati è possibile ottenere ottimi valori di isolamento ai rumori da calpestio. Anche i pavimenti sopraelevati contribuiscono positivamente all'isolamento dai rumori di calpestio. Il fatto che il pavimento sia discontinuo e venga posato su elementi puntiformi, e non sia quindi a totale contatto con il solaio portante, contribuisce a limitare la trasmissione di vibrazioni. Generalmente però queste soluzioni non sono proponibili poiché se l'utente dovesse decidere di sostituire il pavimento con un rivestimento ceramico o togliere il rivestimento a pavimento l'isolamento dai rumori da impatto verrebbe completamente vanificato. Pertanto è preferibile adottare tecnologie costruttive che prevedano la posa di elementi desolidarizzanti al di sotto del rivestimento a pavimento.

Anche i pavimenti sopraelevati contribuiscono positivamente all'isolamento dai rumori di calpestio. Il fatto che il pavimento sia discontinuo e venga posato su elementi puntiformi (piedini), e non sia quindi a totale contatto con il solaio portante, contribuisce a limitare la trasmissione di vibrazioni. L'entità del miglioramento ( $\Delta L_w$ ) difficilmente può essere determinata per via analitica, meglio basarsi su risultati di prove in opera eseguite su strutture simili o su risultati di prove di laboratorio.

Una particolare situazione è invece costituita dai pavimenti radianti; questi contribuiscono a limitare la trasmissione di rumori da calpestio, in genere però non consentono di ottenere adeguato isolamento. Il materiale isolante termico posato al di sotto del massetto utilizzato a pavimento però generalmente è di tipo rigido, pertanto non è in grado di smorzare in maniera adeguata le vibrazioni generate sul pavimento soprastante. È quindi preferibile posizionare al di sotto del materiale isolante termico uno strato di materiale elastico. Per la disconnessione lungo il perimetro invece potrà essere utilizzato un unico materiale elastico.

La principale criticità alla realizzazione di un intervento di isolamento ai rumori da calpestio, sul pavimento della propria unità immobiliare, riguarda però il fatto che chi realizza l'opera limita il proprio disturbo verso i vicini. In tal senso molti committenti considerano una spesa non giustificata un intervento di questo tipo. Si evidenzia anche che, se si considera la procedura proposta in UNI 11367, la diminuzione del proprio disturbo da calpestio verso gli appartamenti vicini non comporta miglioramenti per la classe acustica della propria abitazione ma per quella dei vicini, disincentivando la realizzazione di interventi sull'esistente. L'ipotesi di intervenire con tecnologie anticalpestio sul pavimento dei vicini al piano soprastante risulta invece nella maggioranza dei casi non attuabile.

### 6.5.2 - *Massetti galleggianti*

Il massetto, frequentemente chiamato anche caldana, è quell'elemento costruttivo di spessore variabile che ci permette di raggiungere le quote di progetto e di fornire un piano di posa idoneo al tipo di pavimentazione previsto. A seconda che venga posato in aderenza ad un sottofondo portante, su uno strato di desolidarizzazione o su uno strato di isolamento termico e/o acustico, viene denominato rispettivamente "aderente", "desolidarizzato" o "galleggiante". Lo stesso può anche incorporare un sistema di riscaldamento / raffrescamento a pavimento e, in tal caso, viene definito "radiante".

Attualmente il massetto galleggiante è la soluzione tecnologica per l'isolamento ai rumori di calpestio maggiormente utilizzata nel nostro Paese. Questo consiste sostanzialmente nel realizzare una vasca di materiale elastico smorzante, al di sopra del solaio strutturale e dello strato di livellamento contenente gli impianti, all'interno della quale alloggiare il massetto e la pavimentazione. Questa vasca dovrà desolidarizzare completamente pavimento e massetto da tutte le strutture al contorno. Il materiale elastico, se correttamente posato, funziona come una molla che smorza le vibrazioni generate dal calpestio su massetto e pavimento.

La scelta del materiale elastico può basarsi su vari fattori. Necessariamente si dovranno utilizzare materiali che abbiano caratteristiche elastiche, certificate ad esempio mediante la misura del parametro rigidità dinamica ( $s'$ ), ma che siano anche in grado di sopportare il carico del massetto senza perdere nel tempo le proprie caratteristiche. È preferibile, per

quanto possibile, utilizzare materiali facili da posare in opera. Piccoli errori di posa infatti vanificano completamente l'efficacia dell'intervento.

Il materiale elastico una volta posato non dovrà presentare discontinuità. È infatti necessario che durante il getto del massetto eventuali infiltrazioni di calcestruzzo non entrino in contatto con lo strato sottostante al materiale. Pertanto tutti gli elementi dovranno essere collegati e nastrati e/o abbondantemente sormontati tra loro e/o coperti con un foglio di polietilene. Se il materiale elastico è di tipo fibroso o poroso (ad es. pannelli in lana di vetro o lana di roccia ad alta densità ecc.), non dovrà impregnarsi di malta durante il getto del massetto. Prima del getto è quindi necessario proteggere il materiale stendendovi sopra ad esempio fogli di polietilene opportunamente nastrati e sormontati tra loro. In alcuni casi il produttore del materiale elastico indica un verso per la posa per il proprio prodotto. In cantiere ovviamente è obbligatorio mantenere il verso prescritto. Tale indicazione in genere ha lo scopo di evitare che il massetto impregni lo strato fibroso/poroso del materiale o che, rientrando negli interstizi, vanifichi le prestazioni di isolamento dello stesso.

Durante il getto del massetto bisognerà prestare particolare cura a non forare o spaccare il materiale elastico. Anche per evitare questo problema si consiglia di stendere sul materiale un foglio di polietilene.

Il massetto in calcestruzzo sul quale andrà posata la pavimentazione dovrà avere densità elevata e spessore adeguato. Si consiglia di armare il massetto con rete elettrosaldata. Tale indicazione va valutata anche sulla base della tipologia di materiale resiliente utilizzato. Nel caso la copertura degli impianti venga realizzata utilizzando massetti alleggeriti è necessario verificare che gli stessi siano omogenei. Eventuali concentrazioni di materiale per alleggerimento potrebbero determinare crepe o spaccature che vanificherebbero l'isolamento al calpestio.

La "vasca" dovrà essere a prova di infiltrazione. È necessario evitare che il massetto entri in contatto con le strutture laterali, generi dei collegamenti rigidi e quindi vanifichi completamente l'isolamento alle vibrazioni. Lo strato di livellamento sul quale andrà posato il materiale elastico dovrà essere piano e privo di qualsiasi asperità, eventuali canalizzazioni impiantistiche dovranno essere livellate.

Il massetto dovrà essere desolidarizzato dalle strutture laterali anche lungo il perimetro del locale. In tal senso lungo il perimetro il materiale a pavimento dovrà essere risvoltato in verticale oppure dovrà essere posata una striscia verticale di materiale elastico smorzante. Anche l'elemento verticale dovrà essere continuo e privo di rotture. Il collegamento tra materiale a pavimento e materiale in verticale non dovrà presentare discontinuità. L'elemento verticale non dovrà essere forato da alcun attraversamento impiantistico, pertanto si consiglia sempre di alloggiare gli impianti (ad eccezione ovviamente di eventuali pavimenti radianti) al di sotto dello strato di materiale elastico.

La striscia perimetrale dovrà essere più alta di almeno 5 cm rispetto alla quota finale della pavimentazione e dovrà essere tagliata solo al termine dei lavori (dopo aver posato i pavimenti) in modo da evitare che piastrelle o parquet entrino in contatto con le pareti perimetrali. Particolare attenzione andrà posta nella realizzazione del risvolto in corrispondenza delle soglie delle porte di ingresso e delle porte finestre verso i balconi. Anche in tali punti il risvolto dovrà garantire la completa desolidarizzazione tra massetto galleggiante ed elementi esterni.

Sia gli zoccolini perimetrali che le piastrelle di rivestimento delle pareti dei bagni e delle cucine dovranno essere distaccate di qualche millimetro dal rivestimento a pavimento di modo da evitare la formazione di collegamenti rigidi tra pavimentazione e pareti laterali. Per fare ciò si consiglia di inserire in corrispondenza dell'angolo un elemento distanziatore o un materiale che faccia da giunto elastico che verrà successivamente rimosso e la fessura sigillata con materiale elastico.

Anche nel caso vengano utilizzati sistemi di riscaldamento a pavimento (pavimento radiante) dovrà essere garantita la continuità della desolidarizzazione tra massetto galleggiante e partizioni esterne.

### 6.5.3 - **Sottofondo a secco**

Negli anni hanno preso sempre più piede i sottofondi a secco le cui origini risalgono all'Ottocento. La tecnologia costruttiva consiste nel posare al di sopra del solaio portante uno strato di materiale in grado di dissipare le vibrazioni, ad esempio pannelli in materiale fibroso ad alta densità o materiale granulare sfuso, e, al di sopra di questo, lastre con funzione di supporto della pavimentazione. Esistono in commercio differenti tipologie di lastre (gessofibra, gesso rivestito speciale per sottofondi a secco, cemento fibrorinforzato, ecc.)

I vantaggi principali sono quelli di avere un peso limitato e di una modalità di montaggio più rapida (nessuna perdita di tempo o fermo cantiere per l'asciugatura), i lavori successivi, come la posa dei pavimenti, possono iniziare rapidamente. In più, sono certificati secondo le direttive della bioedilizia, risolvono alcuni degli inconvenienti del sottofondo cementizio e risultano indicati su sistemi di riscaldamento a pavimento.

Come per i massetti galleggianti anche per i sottofondi a secco il metodo di posa del materiale è quello della "vasca" che desolidarizzi completamente le lastre e l'estrado di finitura delle strutture laterali. È quindi necessario posizionare uno strato di materiale a pavimento, strisce verticali a parete e curare che il rivestimento a pavimento non entri in contatto con le pareti perimetrali.

La scelta del materiale isolante e delle lastre di rivestimento dovrà essere eseguita in base alla destinazione d'uso dell'ambiente in cui si intende posare il sistema. È necessario



determinare le sollecitazioni meccaniche che si potrebbero verificare e le condizioni igrometriche. Negli ambienti soggetti a carichi dinamici elevati non è consigliabile l'utilizzo di materiale granulare.

La posa di materiale sfuso granulare all'interno di un locale avviene dopo aver inserito un elemento verticale nel vano porta alto almeno quanto il riempimento staggiato. Successivamente il riempimento viene posato, partendo dalla parete più distante dalla porta, mediante l'utilizzo di guide di riferimento e di una staggia.

Lo spessore minimo del granulare dovrà essere uguale o maggiore a 10 mm. Nel caso che il granulare superi i 30 mm di spessore ed il sottofondo sia soggetto a carichi concentrati superiori ai 2,5 kN, sarà necessario interporre nel granulare una lastra per compattare da un punto di vista meccanico lo strato.

Se il pavimento fosse a diretto contatto con il terreno è necessario prevedere una protezione all'umidità di risalita, al fine di proteggere il materiale isolante e le lastre.

Nel caso si stia posando il sistema su una soletta portante in legno si dovrà verificare che il solaio non sia cedevole o non si deformi elasticamente. Se si adotta un materiale granulare è necessario prevedere uno strato separatore con l'assito in legno in modo da evitare che il materiale possa passare attraverso le fughe.

Per applicare un parquet al di sopra del sottofondo a secco, è necessario definirne prima la direzione della posa. Il parquet a listelli dritti deve essere posato perpendicolare rispetto alla direzione delle lastre, mentre quello a spina di pesce dovrà avere un'inclinazione di 45°. Nel caso di locali con dimensioni superiori ai 20 m è necessario prevedere giunti di dilatazione, mentre per locali stretti (corridoi) la posa delle lastre deve essere effettuata in direzione longitudinale.

Nel caso venga realizzato un doppio strato di lastre è consigliabile posare il secondo strato in posizione sfalsata rispetto al primo. I due strati verranno collegati tra loro mediante colla e fissaggi meccanici.

Su superfici caratterizzate dalla presenza di acqua o in locali nei quali vi è una forte umidità (bagni e cucine), se non si utilizzano lastre con particolari caratteristiche di idrorepellenza, è necessario trattare l'intera superficie con materiali impermeabilizzanti, facendo molta attenzione nei punti di collegamento tra pavimento e parete. Il problema dell'impermeabilizzazione non si pone nel caso di utilizzo di lastre in fibrocemento.

#### 6.5.4 - *Materiale elastico sottopavimento*

La scelta di quale intervento adottare per ridurre il rumore di calpestio dipende da vari fattori, primo fra tutti la possibilità di intervenire o meno in modo sostanziale sul solaio. Ad esempio, nel caso non si abbiano a disposizione gli spessori necessari, le tecnologie del massetto galleggiante o del massetto a secco, posate sulla stratigrafia esistente, risultano in alcune situazioni non attuabili. È generalmente più semplice rivestire l'esistente con un pavimento flottante. Questa tipologia di intervento può risultare particolarmente utile in caso di interventi di ristrutturazione, per migliorare le prestazioni di isolamento ai rumori di calpestio di un solaio esistente.

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

Come considerazione di carattere generale si consiglia di adottare materiali elastici adeguati, appositamente sviluppati per la posa al di sotto del pavimento. In particolare i materiali non dovranno essere troppo "cedevoli" per evitare la formazione di crepe o disconnessioni sul rivestimento. Considerata la variabilità di prodotti presenti in commercio si consiglia di adottare le indicazioni di corretta posa in opera proposte dal produttore del materiale.

Anche questa tecnologia consente di ottenere sensibili incrementi di isolamento al calpestio. Ad esempio la posa di un parquet su uno strato di polietilene di tipo adeguato permette di rilevare miglioramenti ai rumori da calpestio anche superiori a 10-15 dB. Anche materiali appositamente studiati come sottopiastrella permettono di ottenere risultati significativi. Le prestazioni variano in base al materiale isolante, al rivestimento utilizzato e alle caratteristiche del solaio esistente.

#### 6.5.5 - *Controsoffitto*

Un metodo molto utilizzato, soprattutto nelle ristrutturazioni, è la realizzazione di controsoffitti continui anche se non sempre è una soluzione efficace per l'isolamento dai rumori di calpestio. Il controsoffitto infatti riuscirà a limitare il rumore proveniente dal solaio ma nulla potrà fare per i rumori irradiati dalle pareti. Le trasmissioni laterali sono di elevata entità se si considerano ambienti di piccole dimensioni (cucine, camere da letto, ecc) ed edifici realizzati con strutture costruttive "tradizionali" (struttura portante in cemento armato, solaio in laterocemento, pareti in laterizi forato). In caso invece di pareti "pesanti" e solai "leggeri", come ad esempio edifici storici con pareti in laterizi pieni e solai in legno, un controsoffitto potrà diventare una soluzione molto efficace.

Il più grosso vantaggio dei controsoffitti è che si può intervenire all'interno di una unità immobiliare migliorandone le caratteristiche di isolamento al rumore da calpestio in modo

da poter rientrare in classi superiori della classificazione acustica. Gli altri metodi prima descritti (massetto galleggiante, a secco, pavimento flottante) sono invece soluzioni, magari più performanti, ma che mi obbligano ad intervenire nel solaio dell'unità immobiliare posta al di sopra. Questo, ovviamente, crea enormi problemi e rende questi interventi pressoché inapplicabili nell'ambito di una ristrutturazione di una singola unità 74 immobiliare.

Ci sono però delle limitazioni, in particolare i controsoffitti non possono essere adottati se l'altezza netta interna dei locali è già pari ai valori limite imposti dai regolamenti comunali. D'altro canto però edifici esistenti costruiti negli anni '60 e '70, per i quali vengono generalmente richiesti il maggior numero di interventi di recupero, sono caratterizzati da spazi interni e volumi di dimensioni superiori rispetto agli attuali valori minimi di legge. Ad oggi però sono a disposizione sul mercato molti materiali con densità e spessori diversi pensati proprio per adattarsi alle diverse situazioni. Anche la distanza tra il solaio ed il controsoffitto e, di conseguenza, la quantità di materiale isolante che si può prevedere nell'intercapedine possono variare di molto per venire incontro alle diverse esigenze, si ottengono così diverse soluzioni dalle quali ci si possono aspettare prestazioni più o meno performanti.

## CAP.7 ANALISI DEL CASO STUDIO

Nel capitolo che segue viene descritto un caso studio che riguarda un'edificio residenziale degli anni '60 riqualificato acusticamente dopo un'intervento di ristrutturazione di un'appartamento. Vengono descritte le tecnologie utilizzate ed i risultati raggiunti in opera.

### 7.1 - DESCRIZIONE DELL'IMMOBILE

#### 7.1.1 - *Localizzazione dell'edificio*

L'edificio si trova a Senago, in provincia di Milano, in Via Treves 4.

Nelle immagini che seguono, tratte dal sito Google Earth, viene localizzata la posizione dell'immobile.





*Estratto catastale dell'edificio*

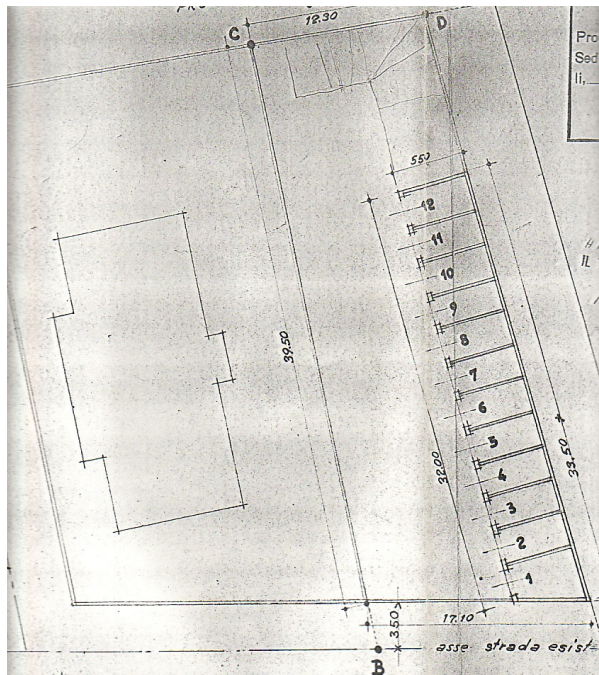
### 7.1.2 - *Caratteristiche dimensionali e funzionali*

L'edificio, realizzato nel 1963, ha forma rettangolare e copre un'area di circa 220 mq. I lati lunghi del rettangolo sono orientati a Est e Ovest. All'interno dell'immobile sono comprese 12 unità immobiliari ad uso residenziale. I box sono localizzati in una struttura esterna a piano terra, a est dell'immobile.

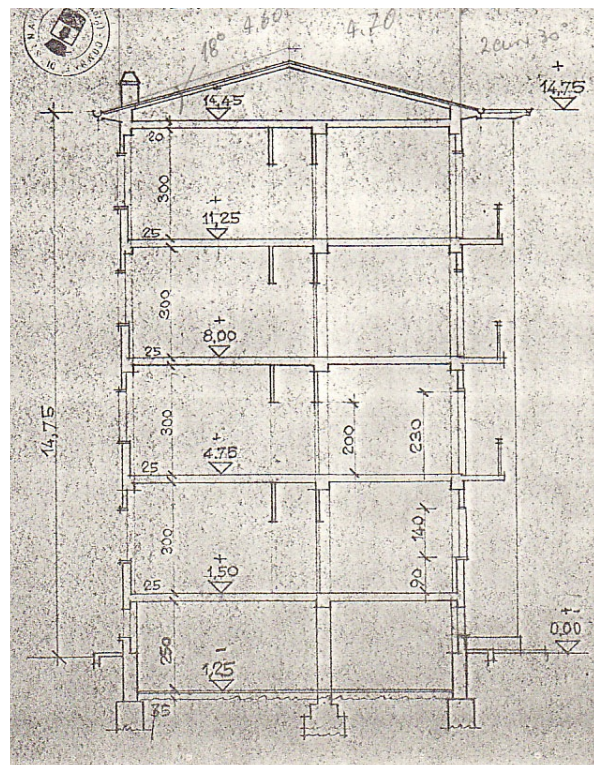


L'edificio si sviluppa su 4 piani fuori terra ed un piano interrato. I piani abitati hanno altezza netta interna pari a 3 metri. Il piano interrato 2,5 metri. Il primo piano abitato è rialzato di 1,5 m rispetto alla quota del terreno.

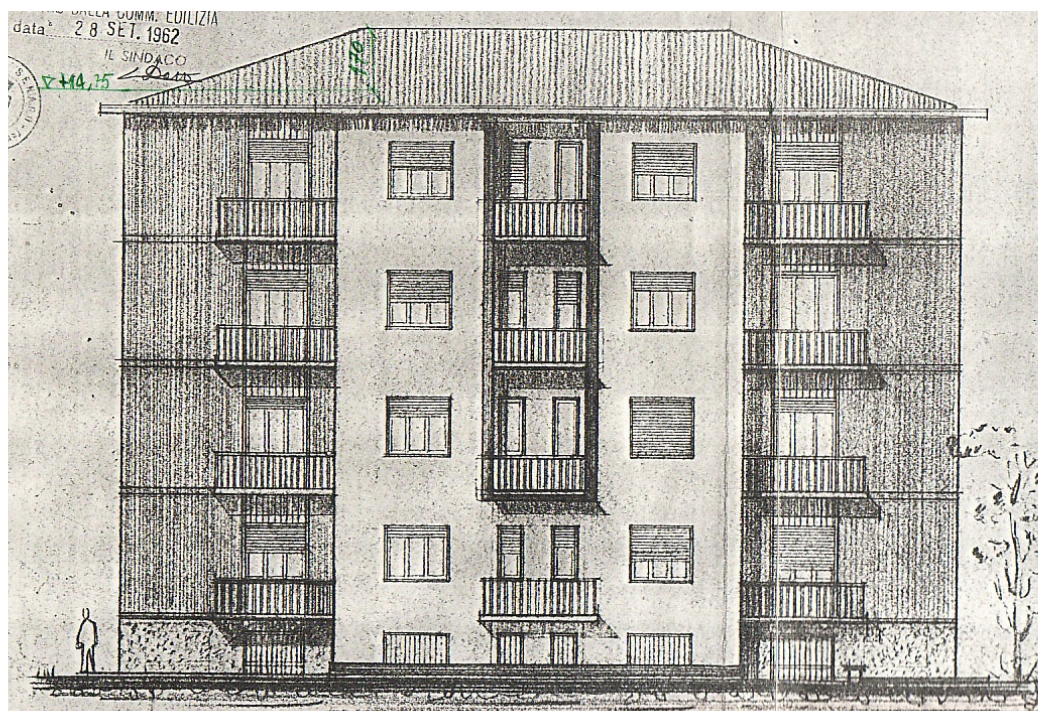
Di seguito vengono presentate planimetrie, prospetti e sezioni originali del progetto.



Planimetria

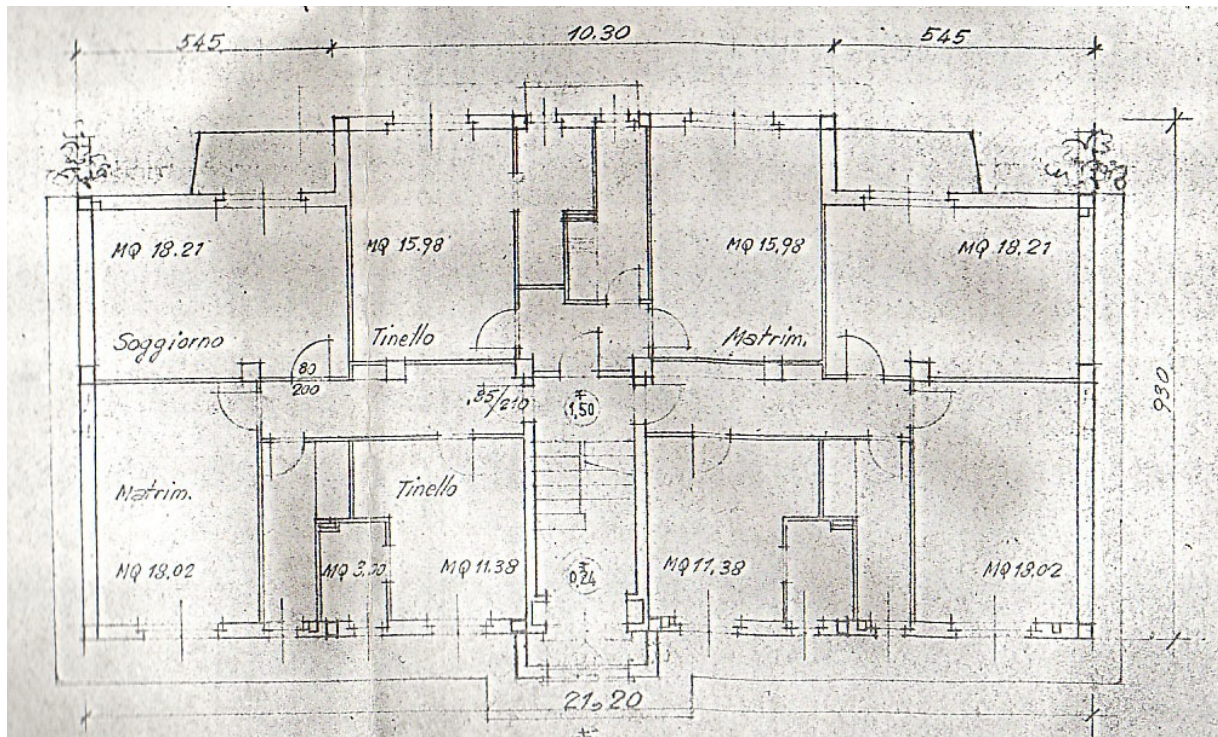


Sezione

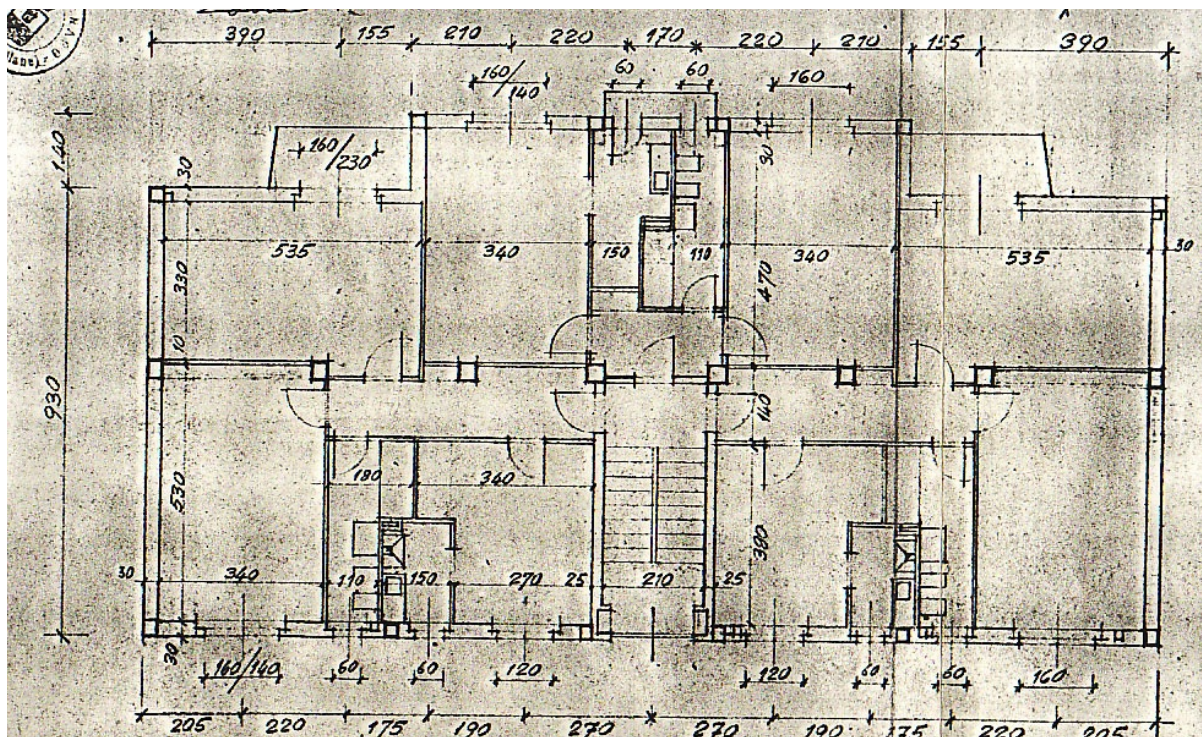


Prospetto

Ogni piano fuori terra comprende al suo interno 3 unità immobiliari. Di seguito i disegni originali di piano rialzato e piano tipo.

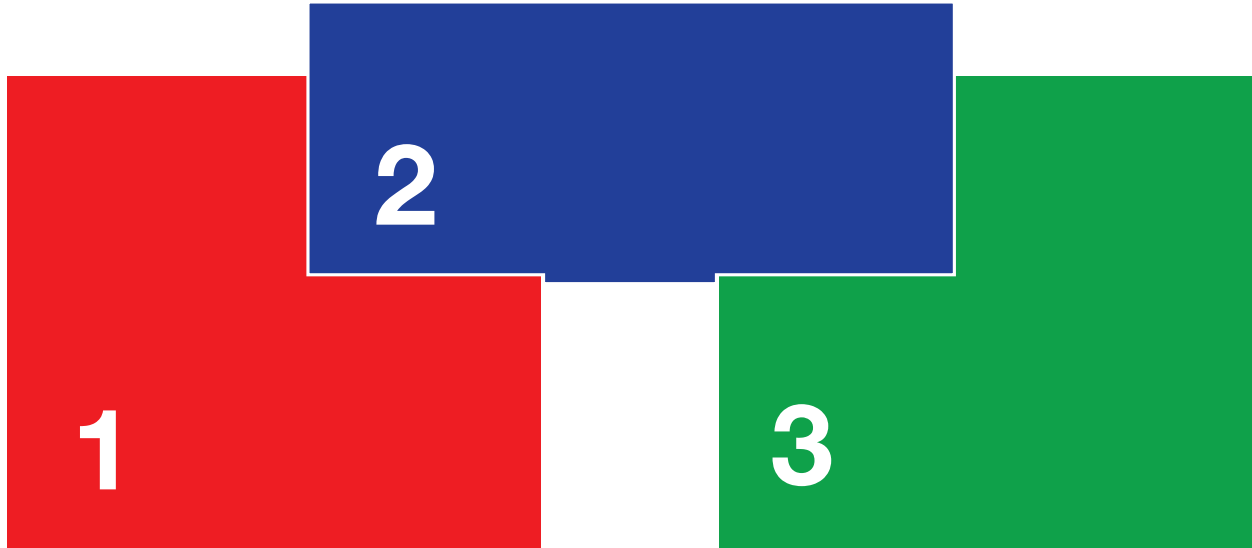


Pianta piano rialzato



Pianta piano tipo





*Suddivisione unità immobiliari piano tipo*

### **7.1.3 - Descrizione elementi strutturali**

La partizione divisoria tra le varie unità immobiliari è un forato da 8 cm intonacato su ambo i lati.

La parete esterna è, invece, in laterizi semipieni intonacati dello spessore complessivo 30 cm.

Il solaio, dello spessore complessivo di 25 cm, è costituito da struttura portante in laterocemento (sp. 16 cm) intonacata sul lato inferiore, massetto in sabbia e cemento e strato di rivestimento.

## 7.2 - INTERVENTI REALIZZATI

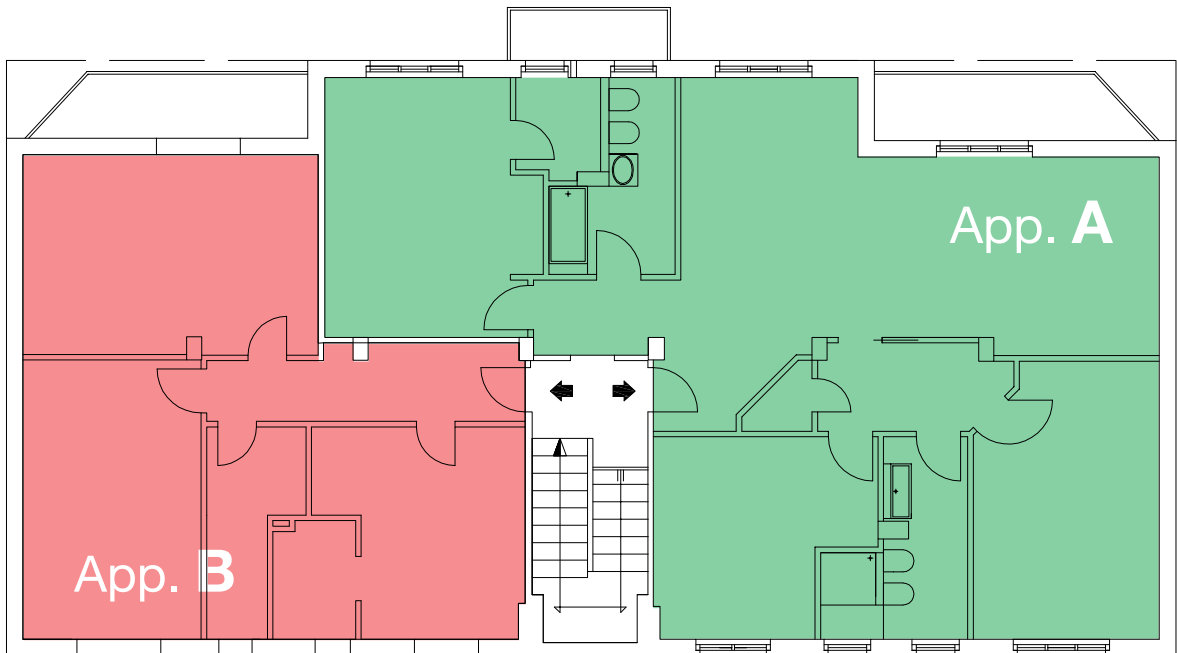
### 7.2.1 - *La ristrutturazione*

L'intervento di ristrutturazione che è stato analizzato consiste nell'unione di due unità immobiliari dell'edificio prima descritto site al quarto ed ultimo piano. Nella nuova unità immobiliare che si è creata sono stati fatti degli interventi per migliorare le prestazioni energetiche ed acustiche dell'appartamento.

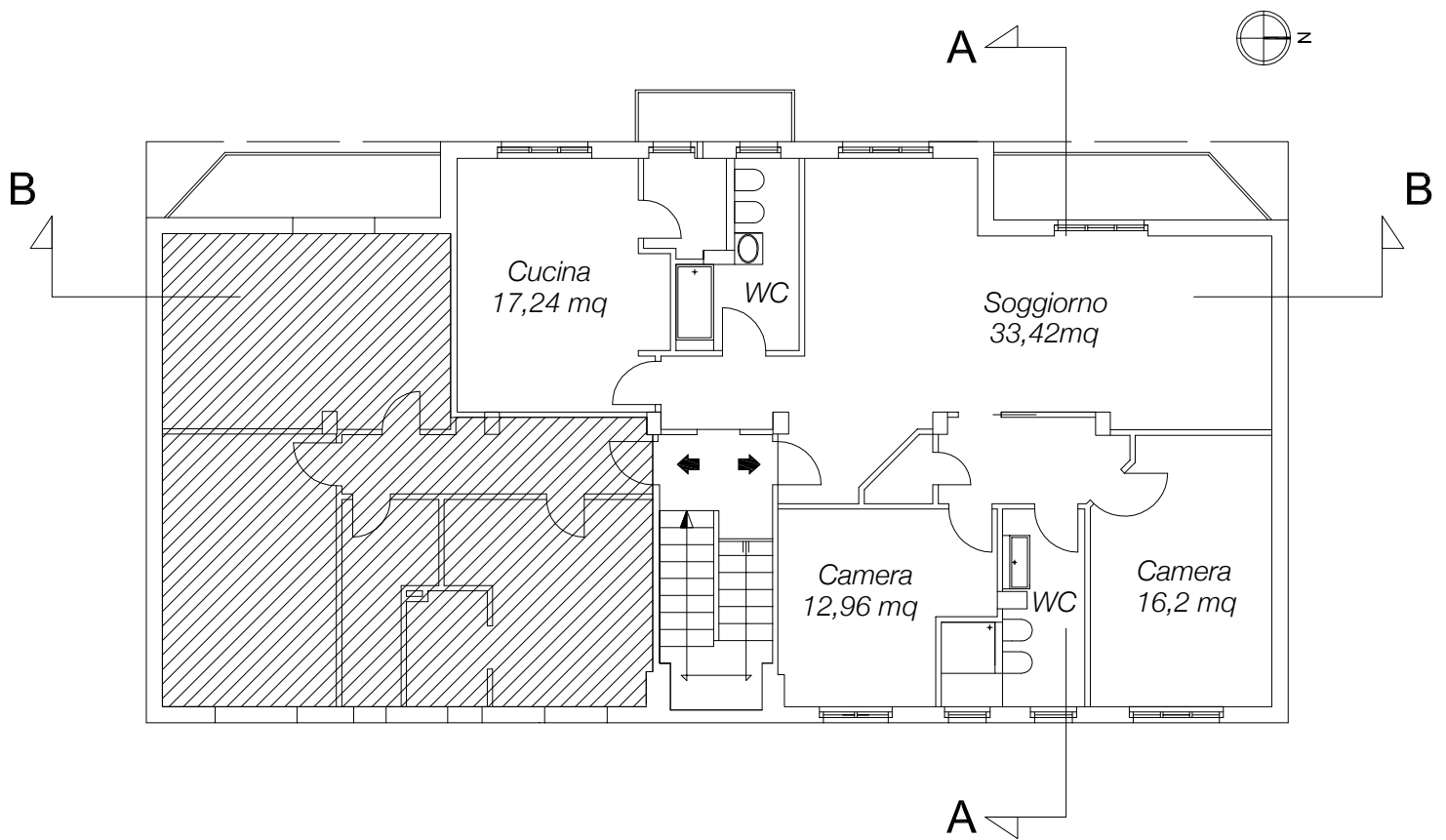
Nelle piante che seguono è stata indicata la suddivisione delle unità immobiliari rispetto al piano tipo evidenziando quella che è stata l'unione delle unità immobiliari prima denominate 1 e 2 in un'unica appartamento che chiameremo A. La terza unità immobiliare del piano, non facente parte della ristrutturazione, verrà denominata appartamento B e sarà presa in considerazione per valutare il potere fonoisolante apparente ( $R'w$ ) che contraddistinguerà la nuova parete divisoria tra le due unità immobiliari.



*Pianta quarto piano con suddivisione delle unità immobiliari originali*

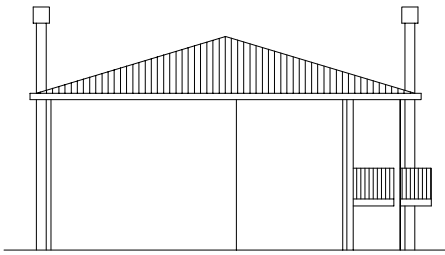


*Pianta quarto piano con suddivisione dopo la ristrutturazione*

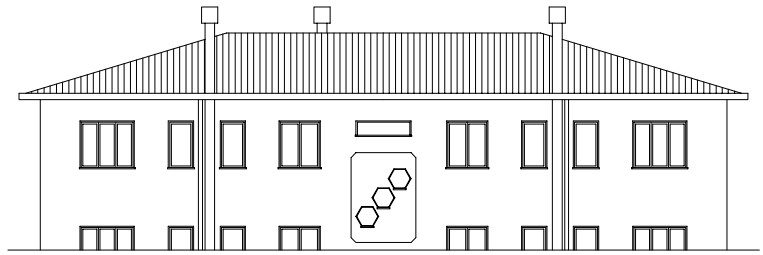


*Pianta appartamento A*

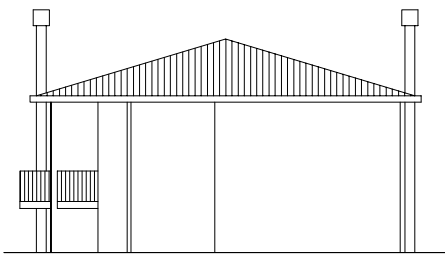
*Prospetto Nord*



*Prospetto Est*



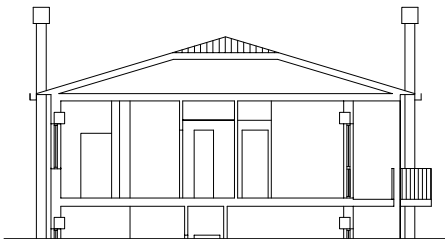
*Prospetto Sud*



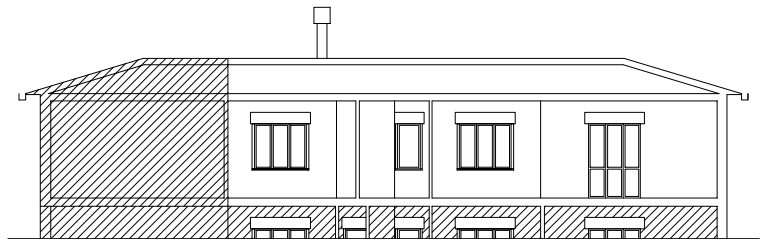
*Prospetto Ovest*



*Sezione A-A*



*Sezione B-B*



*Prospetti e sezioni appartamento A*

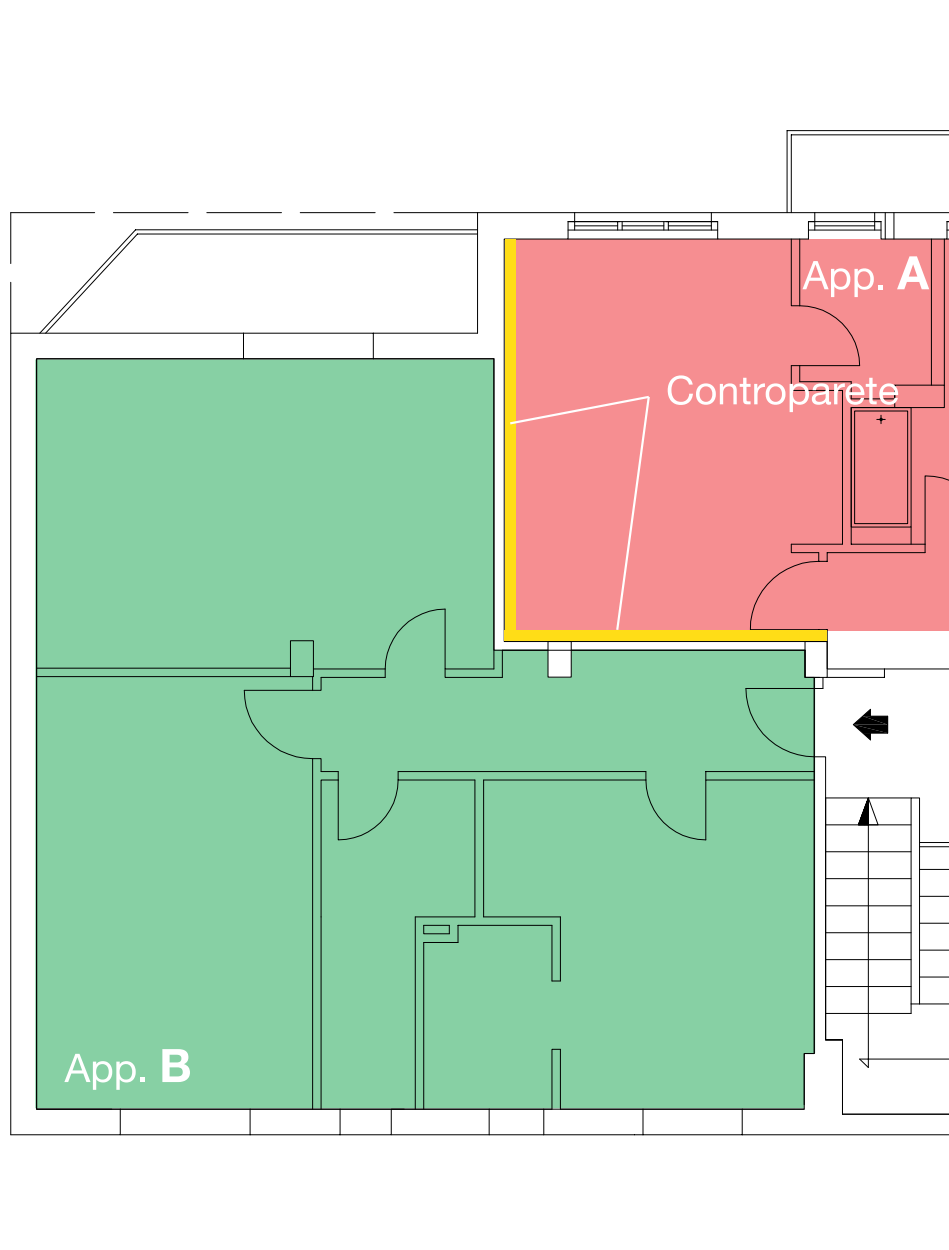
I lavori di ristrutturazione dell'appartamento A sono stati, oltre alla variazione delle divisioni interne come indicato nei disegni precedenti: la sostituzione dei serramenti, la posa di nuovi rivestimenti ceramici come pavimentazione nei bagni e nella cucina, la posa di parquet nelle camere e nel soggiorno, rivestimento con contropareti isolanti delle pareti perimetrali ed una controparete sull'elemento divisorio tra l'appartamento A e l'appartamento B.

## 7.2.2 - Controparete a secco

Uno degli interventi più interessanti, ai fini del lavoro qui presentato, è sicuramente la controparete realizzata a secco; questa è stata realizzata per incrementare l'isolamento ai rumori aerei tra gli appartamenti A e B.

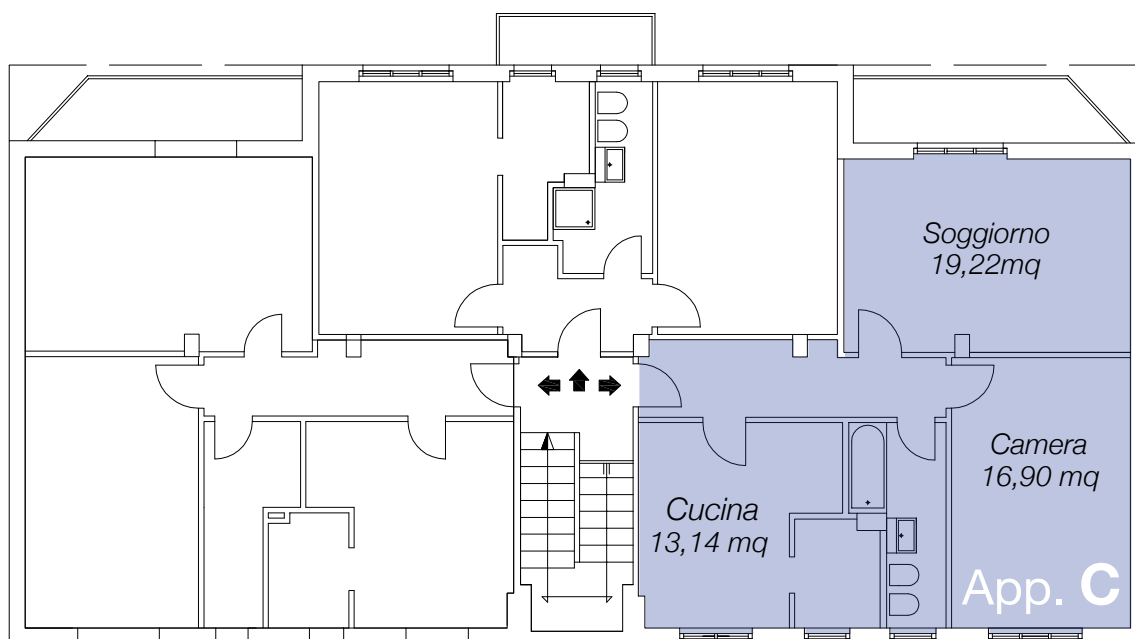
La controparete è di tipo autoportante, la struttura metallica (spessore 5 cm) è distaccata di 4 cm rispetto alla parete esistente. Nell'intercapedine sono stati inseriti 8 cm di materiale fonoassorbente ed il rivestimento è a doppia lastra in gesso rivestito di spessore 1,25 cm. La partizione divisoria tra le unità immobiliari è un forato da 8 cm intonacato su ambo i lati.

L'immagine che segue rappresenta gli ambienti oggetto dell'intervento ed il posizionamento della controparete.



### 7.2.3 - Controsoffitti

L'appartamento situato al terzo piano sotto uno dei due elementi originari dell'appartamento A è una unità immobiliare non utilizzata. Di comune accordo con il proprietario si è potuto accedere a quello che definiremo appartamento C per realizzare tre diverse tipologie di controsoffitto e poterne valutare le prestazioni. Il lavoro è stato effettuato da una ditta specializzata con la supervisione di un tecnico dell'azienda che ha fornito i materiali fonoisolanti per realizzare l'opera a regola d'arte.

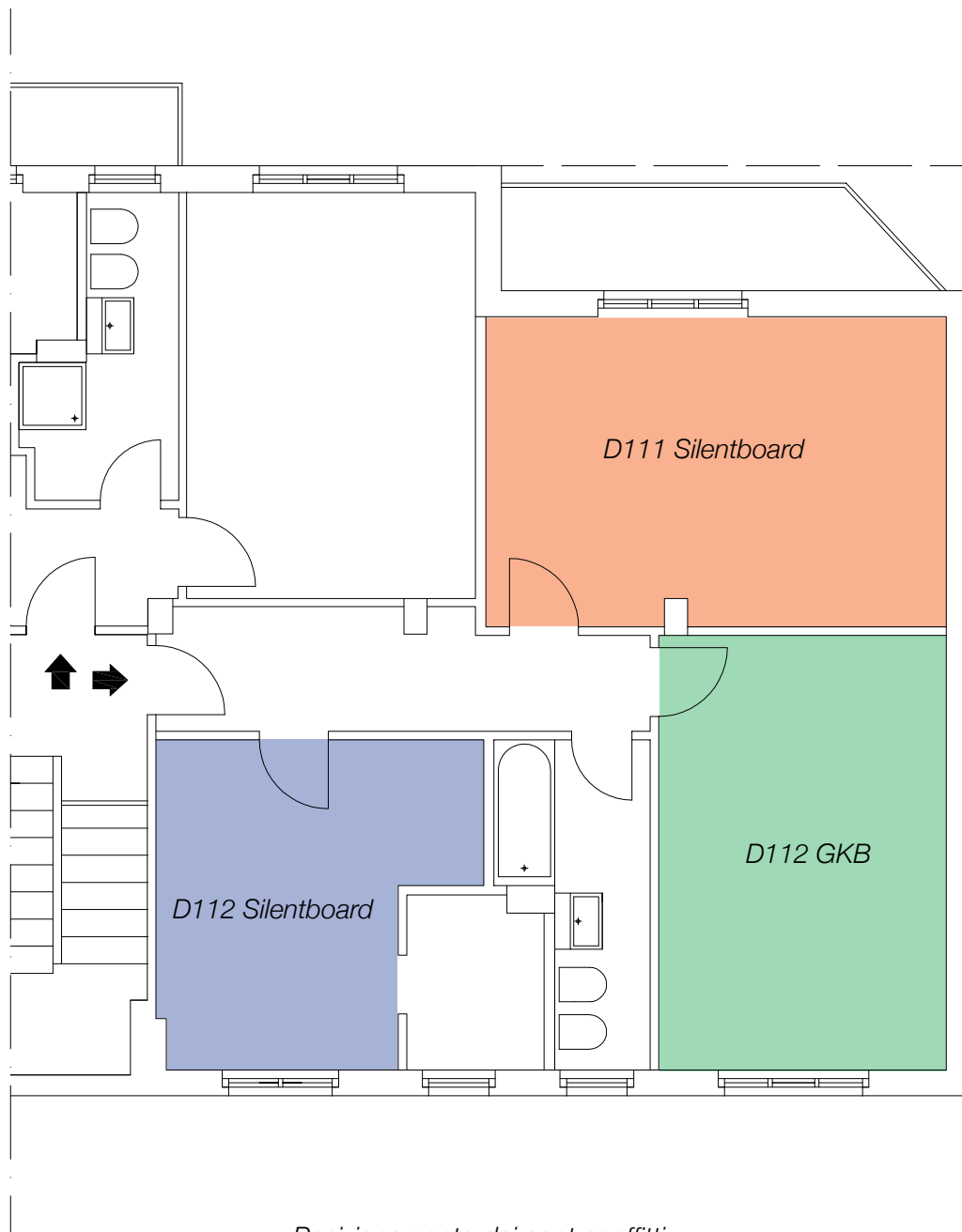


*Pianta piano terzo*

Il solaio originale, dello spessore complessivo di 25 cm, è costituito da struttura portante in laterocemento dello spessore di 16 cm intonacata sul lato inferiore, massetto in sabbia e cemento e rivestimento a parquet.

Il controsoffitto del salotto è del tipo a orditura metallica singola in aderenza al solaio. L'intercapedine di 8 cm è parzialmente riempita con un pannello in lana minerale da 4,5 cm. Il rivestimento è stato realizzato con una singola lastra in gesso rivestito ad elevata densità (sp. 1,25 cm, massa superficiale 17,5 kg/mq).

Il controsoffitto della cucina e della camera sono invece del tipo a orditura metallica doppia ribassato rispetto al solaio. L'intercapedine di 12,5 cm è parzialmente riempita con due pannelli in lana minerale da 4,5 cm. Il rivestimento è stato realizzato con una singola lastra in gesso rivestito semplice nella camera ed ad elevata densità nella cucina.



I materiali utilizzati per i controsoffitti sono tutti dell'azienda Knauf (leader nel settore) e di elevata qualità. Tecnicamente sono state utilizzate nella camera delle lastre di gesso rivestite tradizionali (GKB), mentre per il soggiorno e nella cucina sono state utilizzate delle lastre definite Silentboard. Queste sono lastre (GKF) in gesso rivestito che grazie ad un nucleo di gesso modificato hanno un potere insonorizzante più elevato che deriva dallo spostamento, acusticamente più efficace, della frequenza di coincidenza e dall'aumento della massa riferita alla superficie.

## 7.3 - REQUISITI ACUSTICI PASSIVI DELL'IMMOBILE

### 7.3.1 - *Modalità e strumentazione*

Tutte le misure che sono state fatte in opera seguono le procedure standard indicate dalla norma UNI EN ISO 16283-1 per la misura dell'isolamento dei rumori aerei e la UNI EN ISO 140-7 per le misurazioni in opera dell'isolamento dal rumore di calpestio di solai.

Per le misurazioni dei valori per via aerea tra gli ambienti si è utilizzata una singola fonte sonora posizionata in due diversi punti dell'ambiente emittente e per ogni punto sono stati fatte cinque misurazioni nell'ambiente ricevente con microfono fisso.

Per valutare il tempo di riverbero sono state fatte sei misurazioni di decadimento per ciascuna banda di frequenza. I tempi di riverbero sono stati misurati generando impulsi sonori con una pistola a salve.

Per le misurazioni del livello del rumore di calpestio invece il generatore di calpestio è stato posizionato in quattro posizioni diverse sul pavimento sottoposto alla prova.

Per le misure sono stati utilizzati i seguenti strumenti:

Fonometro integratore: Delta Ohm modello HD 2110

Microfono mod. MK221 n. 30662 numero di serie: 05071930431

Calibratore: Delta Ohm modello HD 9101A numero di serie: 05015501

Tutta la strumentazione è di classe 1, come definita dalle vigenti normative, ed è stata controllata prima e dopo ogni ciclo di misure con il calibratore. Le calibrazioni differivano fra loro meno di  $\pm 0,5$  dB.

Come generatori di rumore sono stati invece utilizzati:

Cassa acustica omnidirezionale: Blue Wave modello Cubic, diffusore esaedrico

Sorgente normalizzata di rumore da calpestio: 2 Zeta S.n.c. numero di matricola: 84



### 7.3.2 - Risultati ante operam

I risultati che vengono esposti riguardano lo stato si fatto prima della ristrutturazione di quelle partizioni sensibili che abbiamo analizzato.

Potere fonoisolante apparente parete divisoria tra appartamento A ed appartamento B

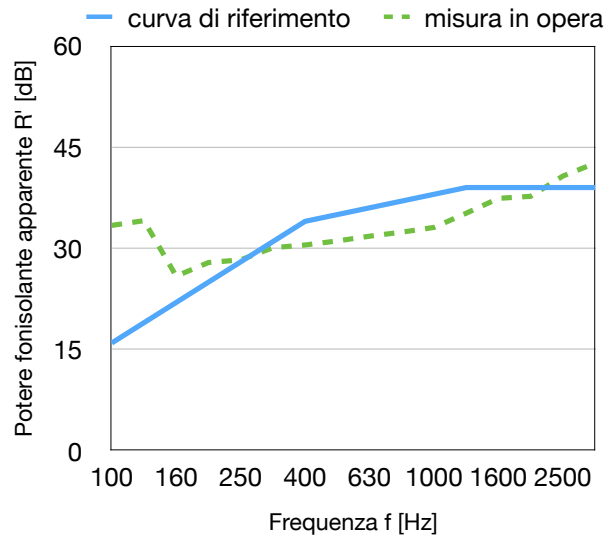
Area della partizione 9,8mq

Valutazione secondo ISO 717-1

$R'_w = 35 \text{ dB}$

$C = -1 \text{ dB}$

$C_{tr} = -2 \text{ dB}$



Potere fonoisolante apparente solaio soggiorno tra appartamento A ed appartamento C

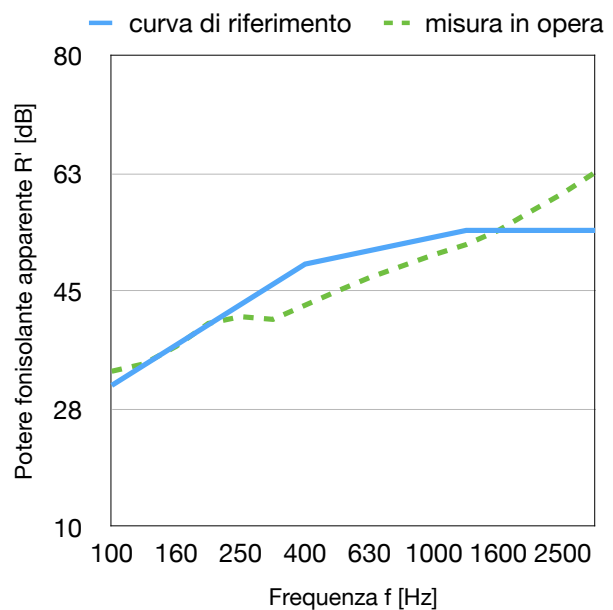
Area della partizione 19,1mq

Valutazione secondo ISO 717-1

$R'_w = 50 \text{ dB}$

$C = -2 \text{ dB}$

$C_{tr} = -5 \text{ dB}$



### Potere fonoisolante apparente solaio camera tra appartamento A ed appartamento C

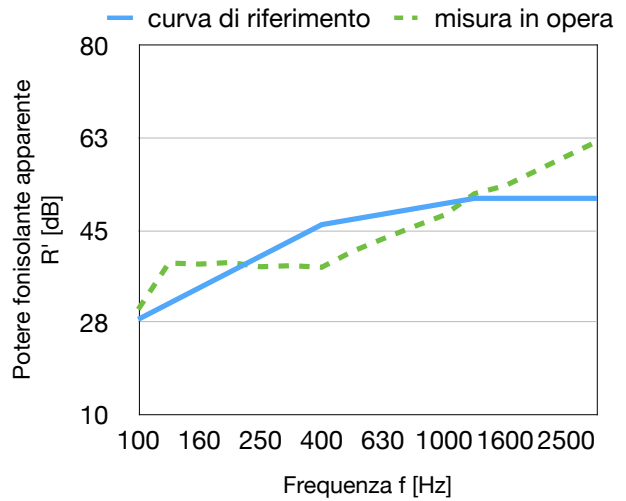
Area della partizione 16,81mq

Valutazione secondo ISO 717-1

**R'w = 47 dB**

C = -1 dB

Ctr = -4 dB



### Potere fonoisolante apparente solaio cucina tra appartamento A ed appartamento C

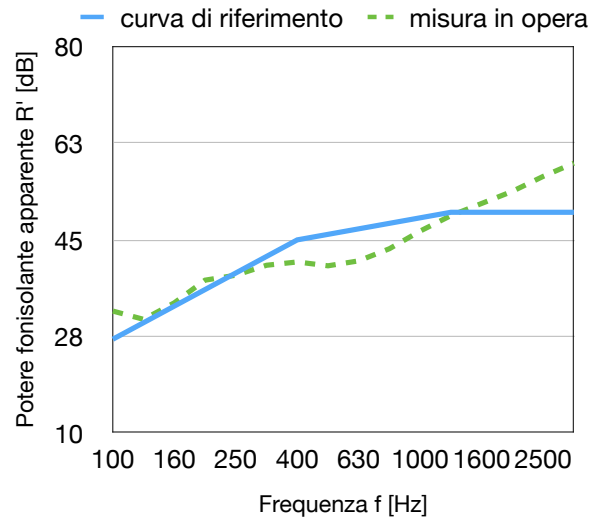
Area della partizione 12,96mq

Valutazione secondo ISO 717-1

**R'w = 46 dB**

C = -1 dB

Ctr = -4 dB



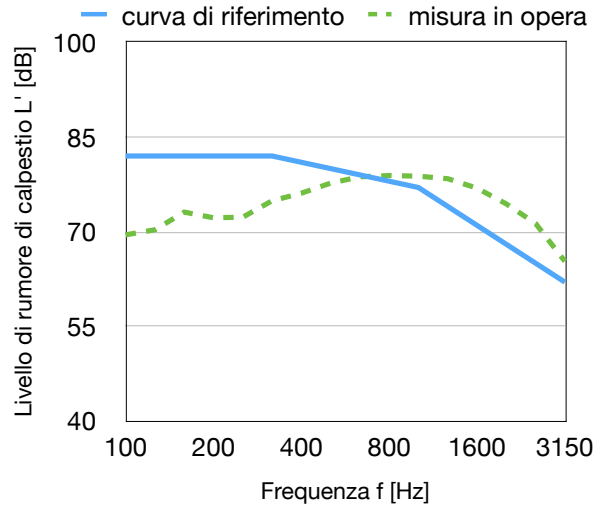
### Isolamento rumore di calpestio solaio camera tra appartamento A ed appartamento C

Volume ambiente ricevente 50,4mq

Valutazione secondo ISO 717-1

$L'_{nw} = 80 \text{ dB}$

$C_i = -7 \text{ dB}$



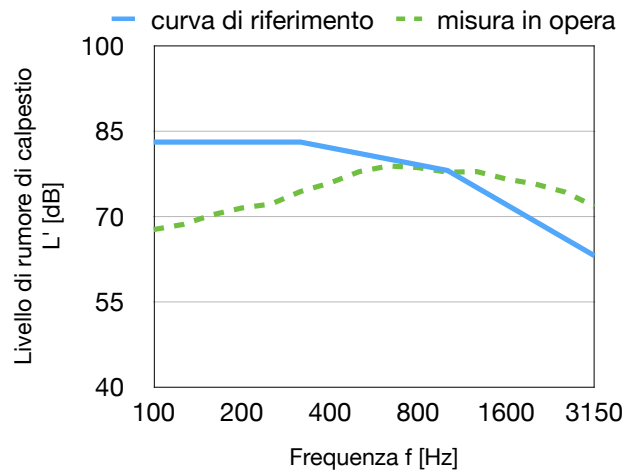
### Isolamento rumore di calpestio solaio cucina tra appartamento A ed appartamento C

Volume ambiente ricevente 46,7mq

Valutazione secondo ISO 717-1

$L'_{nw} = 81 \text{ dB}$

$C_i = -8 \text{ dB}$



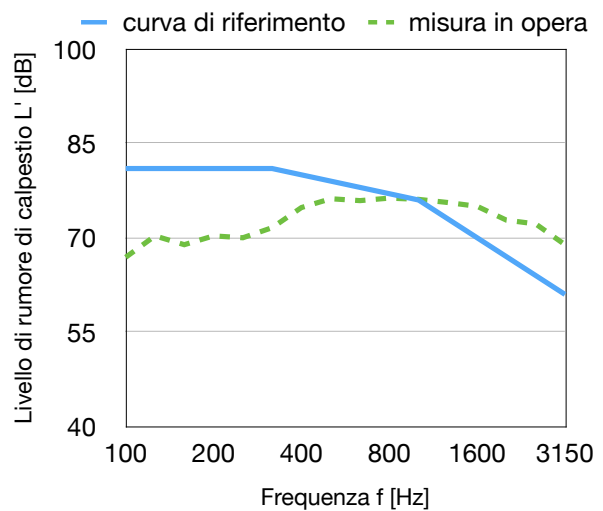
### Isolamento rumore di calpestio solaio soggiorno tra appartamento A ed appartamento C

Volume ambiente ricevente 57,4mq

Valutazione secondo ISO 717-1

$L'_{nw} = 79 \text{ dB}$

$C_i = -8 \text{ dB}$



Come ultima misura si è valutata qualitativamente l'efficacia di un rivestimento a pavimento che possa attutire le vibrazioni, in questo caso si è utilizzato un tappeto per bambini che è stato posizionato sotto la sorgente di rumore da calpestio.

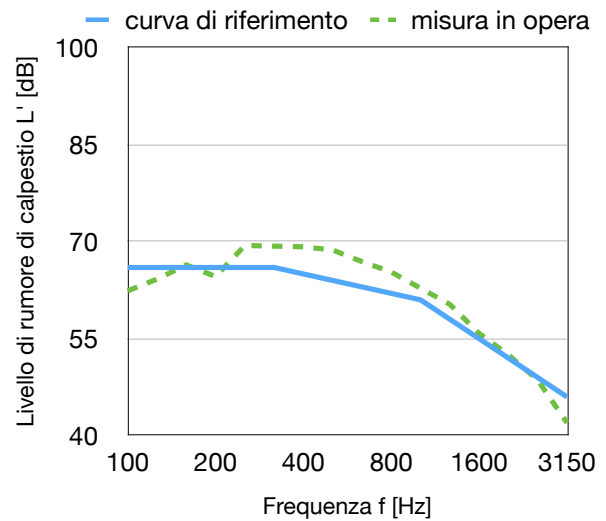
**Isolamento rumore di calpestio solaio soggiorno tra appartamento A ed appartamento C con tappeto**

Volume ambiente ricevente 57,4mq

Valutazione secondo ISO 717-1

$L'_{nw} = 64 \text{ dB}$

$C_i = -1 \text{ dB}$



### 7.3.3 - Risultati post operam

Tutte le misurazioni esposte nel paragrafo precedente sono state nuovamente eseguite dopo i lavori ottenendo i seguenti risultati.

**Potere fonoisolante apparente parete divisoria tra appartamento A ed appartamento B**

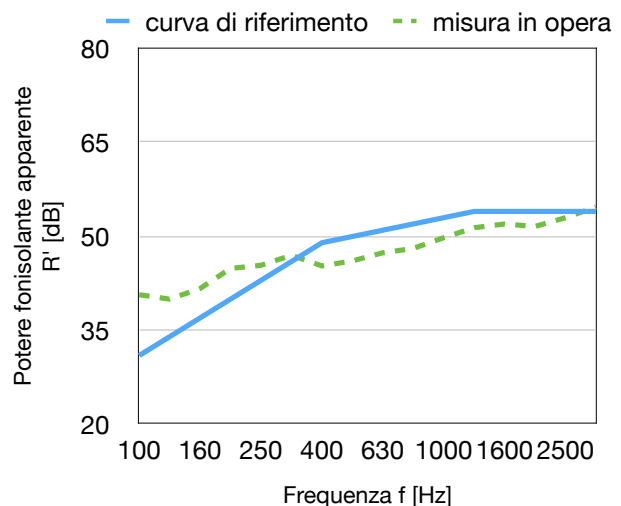
Area della partizione 9,8mq

Valutazione secondo ISO 717-1

$R'_{w} = 50 \text{ dB}$

$C = 0 \text{ dB}$

$C_{tr} = -2 \text{ dB}$



### Potere fonoisolante apparente solaio soggiorno tra appartamento A ed appartamento C

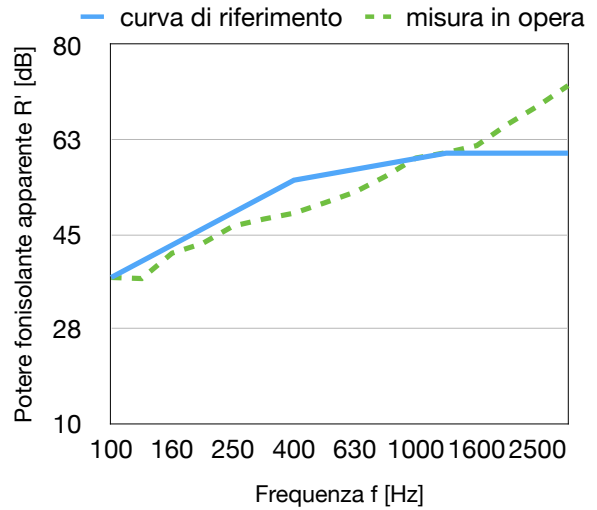
Area della partizione 19,1mq

Valutazione secondo ISO 717-1

$R'_w = 56 \text{ dB}$

$C = -2 \text{ dB}$

$C_{tr} = -6 \text{ dB}$



### Potere fonoisolante apparente solaio camera tra appartamento A ed appartamento C

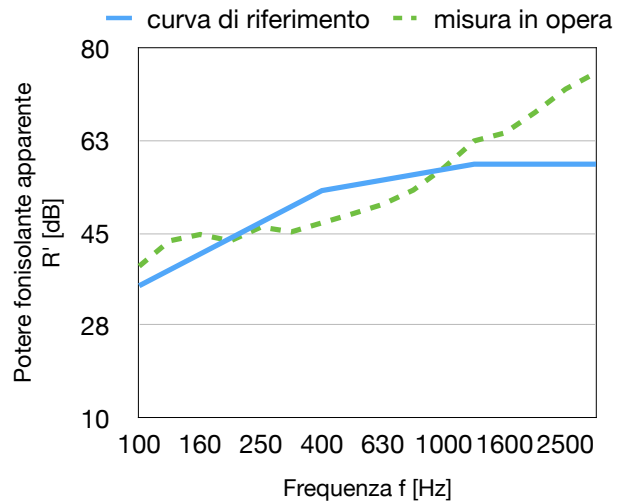
Area della partizione 16,81mq

Valutazione secondo ISO 717-1

$R'_w = 54 \text{ dB}$

$C = 0 \text{ dB}$

$C_{tr} = -4 \text{ dB}$



### Potere fonoisolante apparente solaio cucina tra appartamento A ed appartamento C

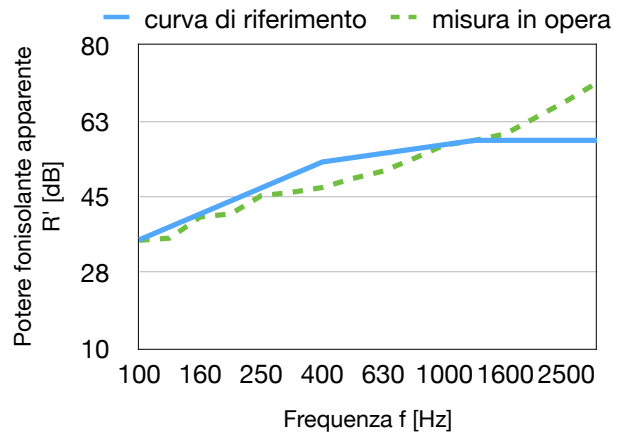
Area della partizione 12,96mq

Valutazione secondo ISO 717-1

$R'_w = 54 \text{ dB}$

$C = -2 \text{ dB}$

$C_{tr} = -6 \text{ dB}$



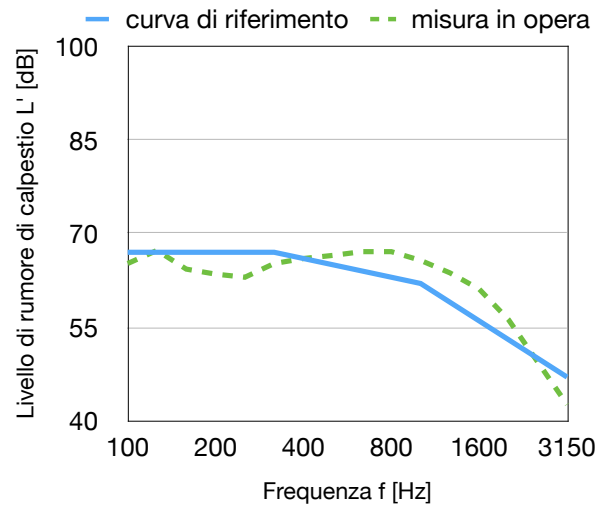
### Isolamento rumore di calpestio solaio camera tra appartamento A ed appartamento C

Volume ambiente ricevente 45,7mq

Valutazione secondo ISO 717-1

$L'_{nw} = 65 \text{ dB}$

$C_i = -3 \text{ dB}$



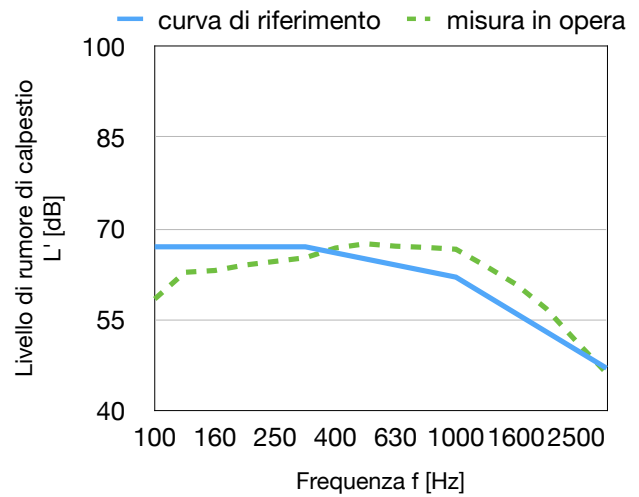
### Isolamento rumore di calpestio solaio cucina tra appartamento A ed appartamento C

Volume ambiente ricevente 42mq

Valutazione secondo ISO 717-1

$L'_{nw} = 65 \text{ dB}$

$C_i = -4 \text{ dB}$



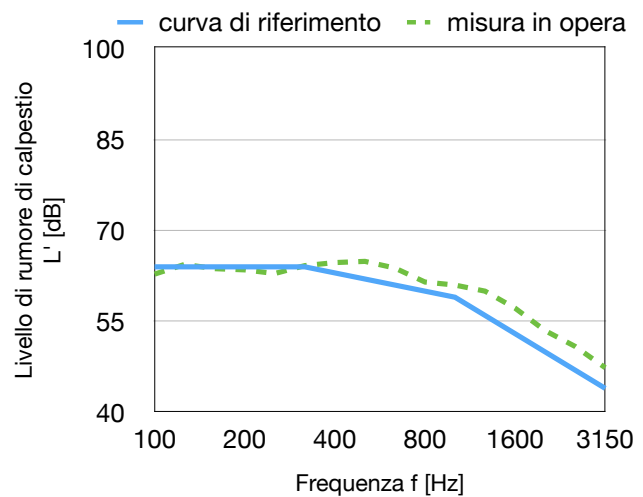
### Isolamento rumore di calpestio solaio soggiorno tra appartamento A ed appartamento C

Volume ambiente ricevente 55,5mq

Valutazione secondo ISO 717-1

$L'_{nw} = 62 \text{ dB}$

$C_i = -3 \text{ dB}$



Come ultima misura si è ripetuto l'esperimento con il tappeto per bambini posizionato sotto la sorgente di rumore da calpestio.

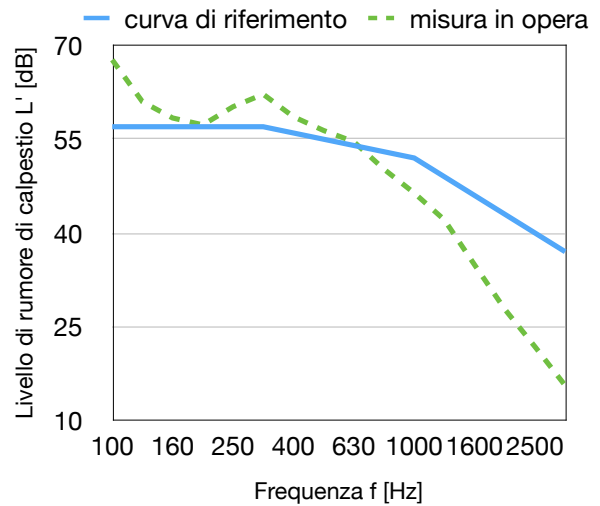
Isolamento rumore di calpestio solaio soggiorno tra appartamento A ed appartamento C con tappeto

Volume ambiente ricevente 55,5mq

Valutazione secondo ISO 717-1

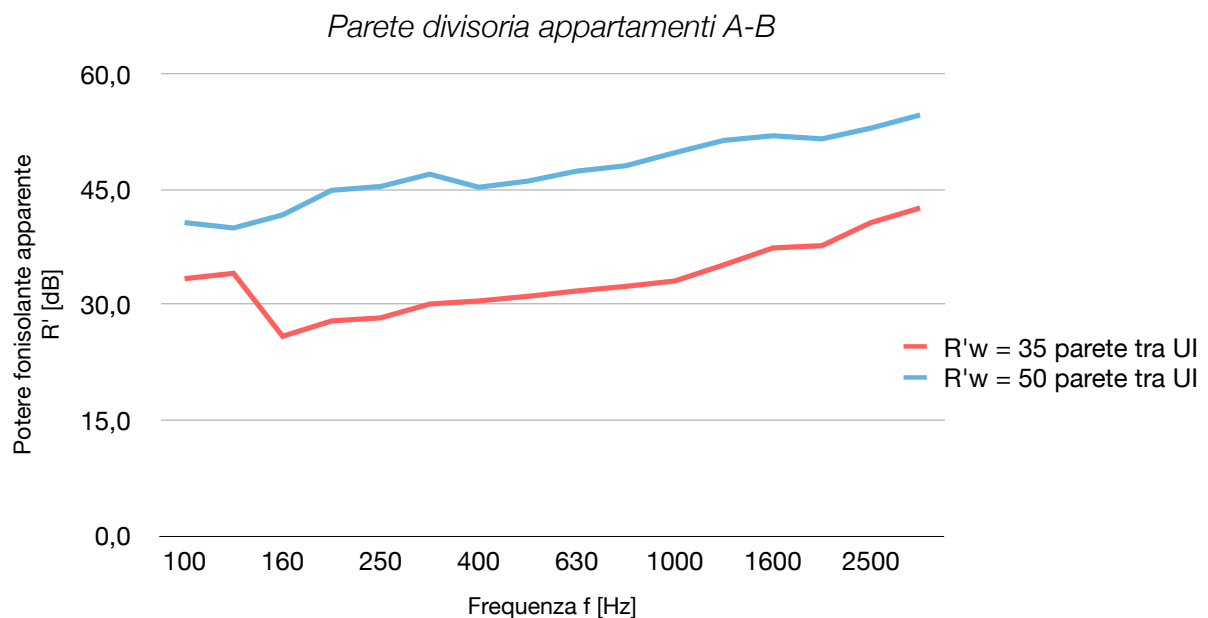
$L'_{nw} = 55 \text{ dB}$

$C_i = -1 \text{ dB}$



### 7.3.4 - *Analisi e confronti*

Analizzando per prima la partizione tra gli appartamenti A e B si nota immediatamente dal grafico in frequenza un notevole aumento delle prestazioni della parete.



	<b>R'w</b>	
	Ante	Post
	R'w = 35 dB	R'w = 50 dB
100	33,4	40,7
125	34,1	40
160	25,9	41,7
200	27,9	44,9
250	28,3	45,4
315	30,1	47
400	30,5	45,3
500	31,1	46,1
630	31,8	47,4
800	32,4	48,1
1000	33,1	49,8
1250	35,2	51,4
1600	37,4	52
2000	37,7	51,6
2500	40,7	53
3150	42,6	54,7

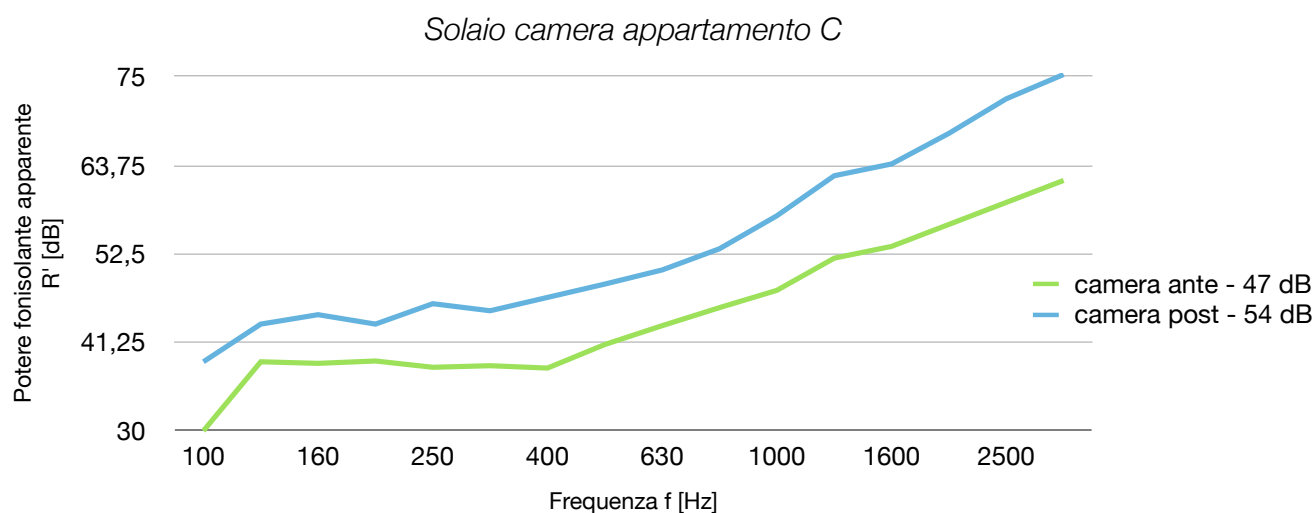
La situazione iniziale presentava una parete in forati intonacati con un potere fonoisolante apparente di 35 dB, la prestazione della partizione era pessima secondo questo descrittore. Con l'intervento effettuato si è potuto raggiungere i 50 dB, risultato che, pur non essendo eccezionale nei numeri, permette un notevole incremento del benessere acustico.

La prestazione alle basse frequenze, come si nota dal grafico, è quella con i minori margini di miglioramento proprio perché la soluzione tecnologica della controparete realizzata a secco da i migliori risultati alle medie ed alte frequenze. Per ottenere un miglioramento più cospicuo alle frequenze basse saremmo dovuti intervenire in maniera più invasiva.

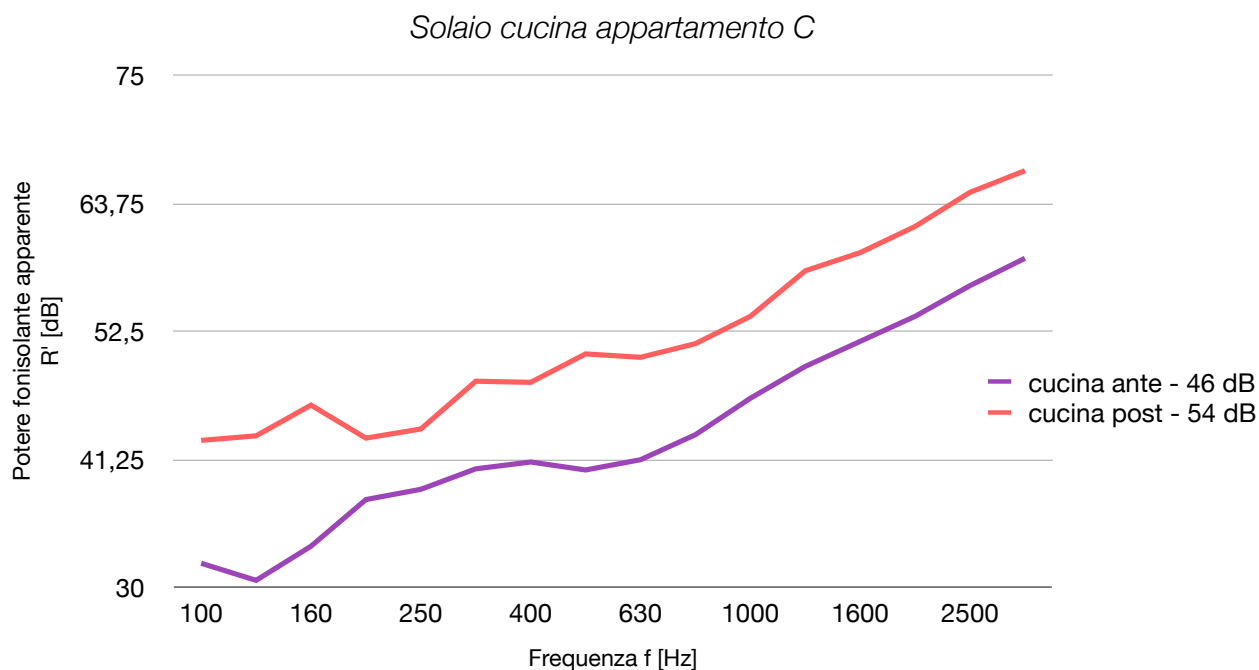
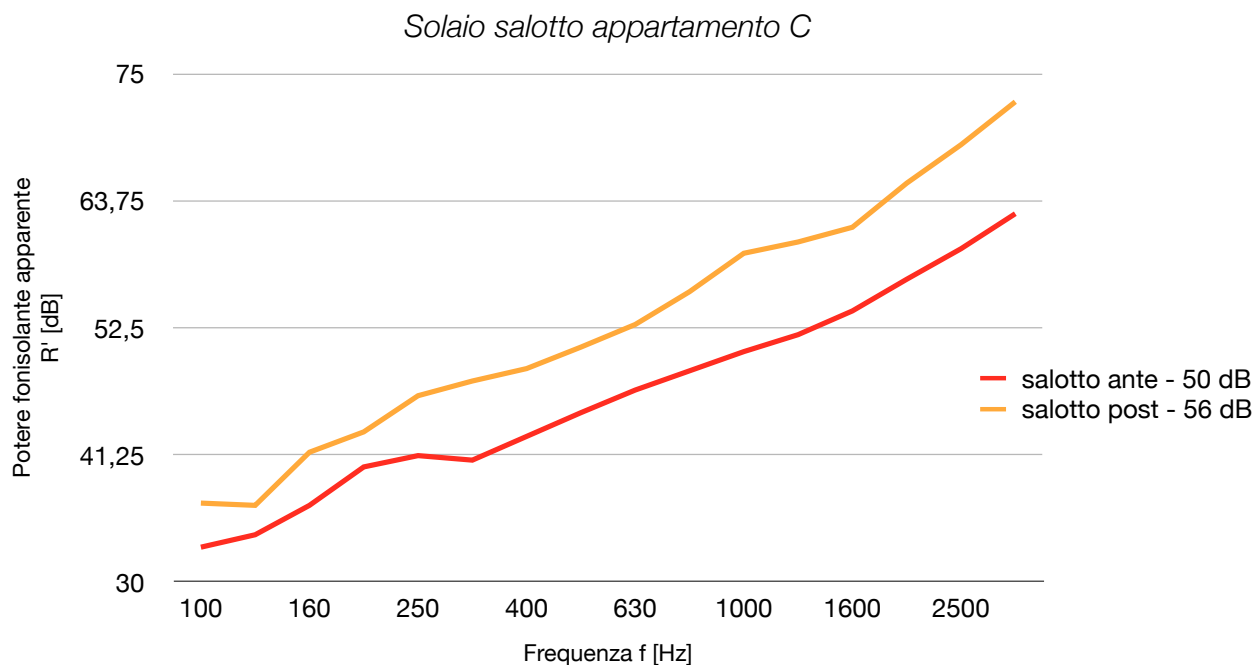
E' comunque fondamentale notare come già con questo intervento si è rientrati nei limiti del DPCM del 05-12-1997 e se si fa riferimento alla proposta di classificazione

acustica della norma UNI 11367, dopo l'intervento l'unità immobiliare rientrerebbe, secondo questo descrittore, nella classe IV con un aumento di una classe.

Continuando l'analisi di questo descrittore, cioè il potere fonoisolante apparente, valutiamo utilizzando grafici e tabelle in frequenza il comportamento dei solai.





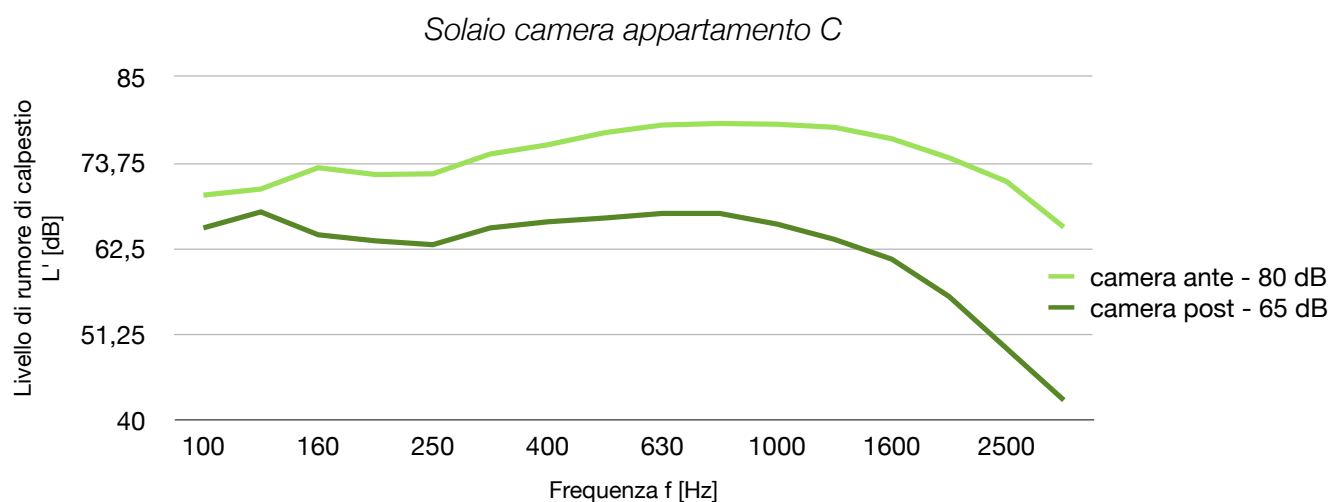


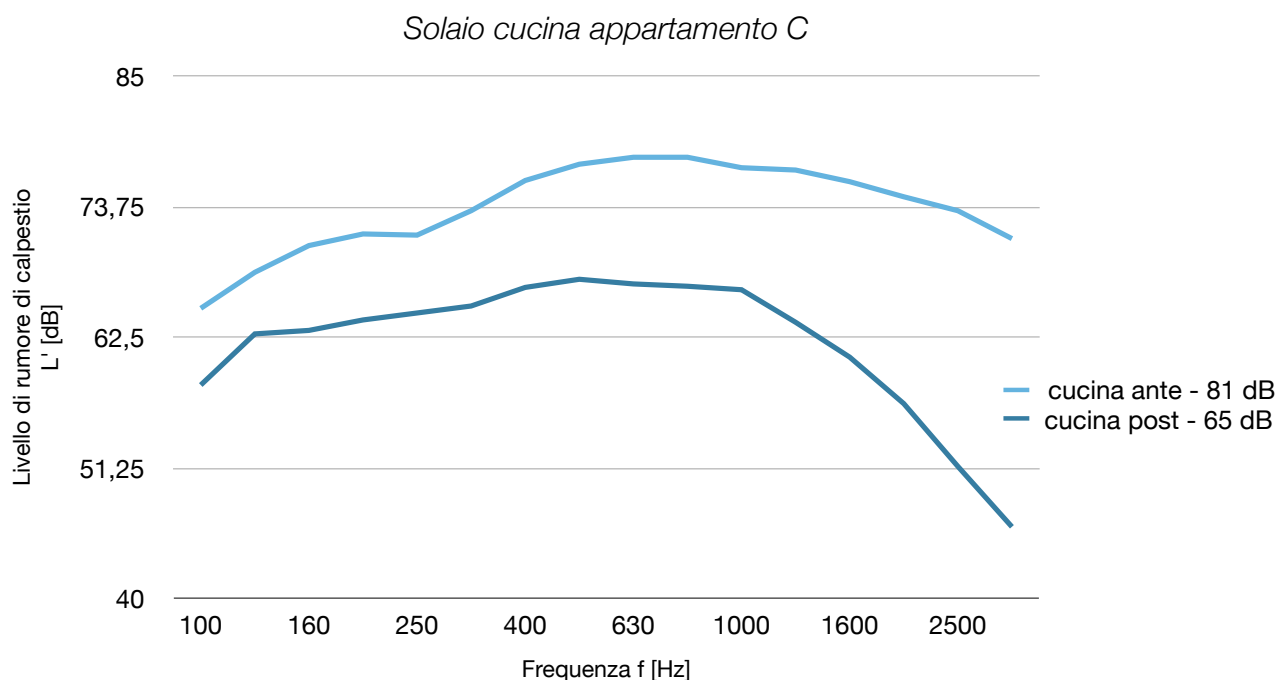
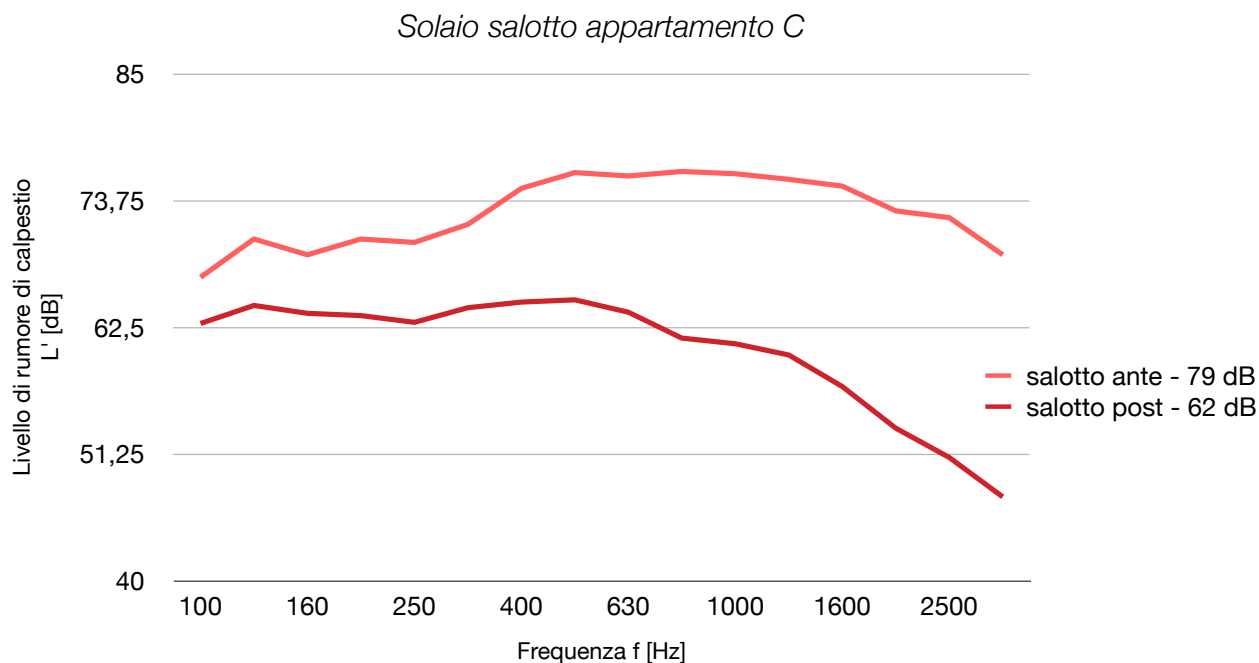
In questo caso le prestazioni iniziali delle partizioni prese in esame, solai in laterocemento con intonaco, massetto e rivestimento, erano meno drammatiche; nel caso del salotto rientrava addirittura nei limiti del DPCM. Si può comunque notare un buon incremento delle prestazioni dei sistemi che con i controsoffitti permettono in tutti e tre i casi di rispettare i limiti del decreto. Facendo riferimento alla proposta di classificazione acustica si posizionerebbero nella classe II secondo questo descrittore.

	<b>R'w</b>					
	Ante			Post		
	camera 47 dB	salotto 50 dB	cucina 46 dB	camera 54 dB	salotto 56 dB	cucina 54 dB
100	29,9	33,1	32,1	38,7	37	42,9
125	38,7	34,2	30,6	43,5	36,8	43,3
160	38,5	36,8	33,6	44,7	41,5	46
200	38,8	40,2	37,7	43,5	43,3	43,1
250	38	41,2	38,6	46,1	46,5	43,9
315	38,2	40,8	40,4	45,2	47,8	48,1
400	37,9	42,9	41	46,9	48,9	48
500	40,9	45	40,3	48,6	50,8	50,5
630	43,3	47	41,2	50,4	52,8	50,2
800	45,6	48,7	43,4	53,1	55,7	51,4
1000	47,8	50,4	46,6	57,3	59,1	53,8
1250	51,9	51,9	49,4	62,4	60,1	57,8
1600	53,4	54	51,6	63,9	61,4	59,4
2000	56,2	56,8	53,8	67,8	65,3	61,7
2500	59	59,5	56,5	72,2	68,7	64,7
3150	61,8	62,6	58,9	75,3	72,5	66,6

Dall'analisi in frequenza possiamo notare come le prestazioni siano buone anche alle basse frequenze, soprattutto nel caso della cucina dove per il controsoffitto sono state usate lastre ad alta densità ed una struttura ribassata rispetto al solaio.

Passando all'analisi del secondo descrittore, cioè il livello di rumore di calpestio, saltano subito all'occhio importanti miglioramenti nelle prestazioni dei solai con le tre tipologie di controsoffiti presi in esame.

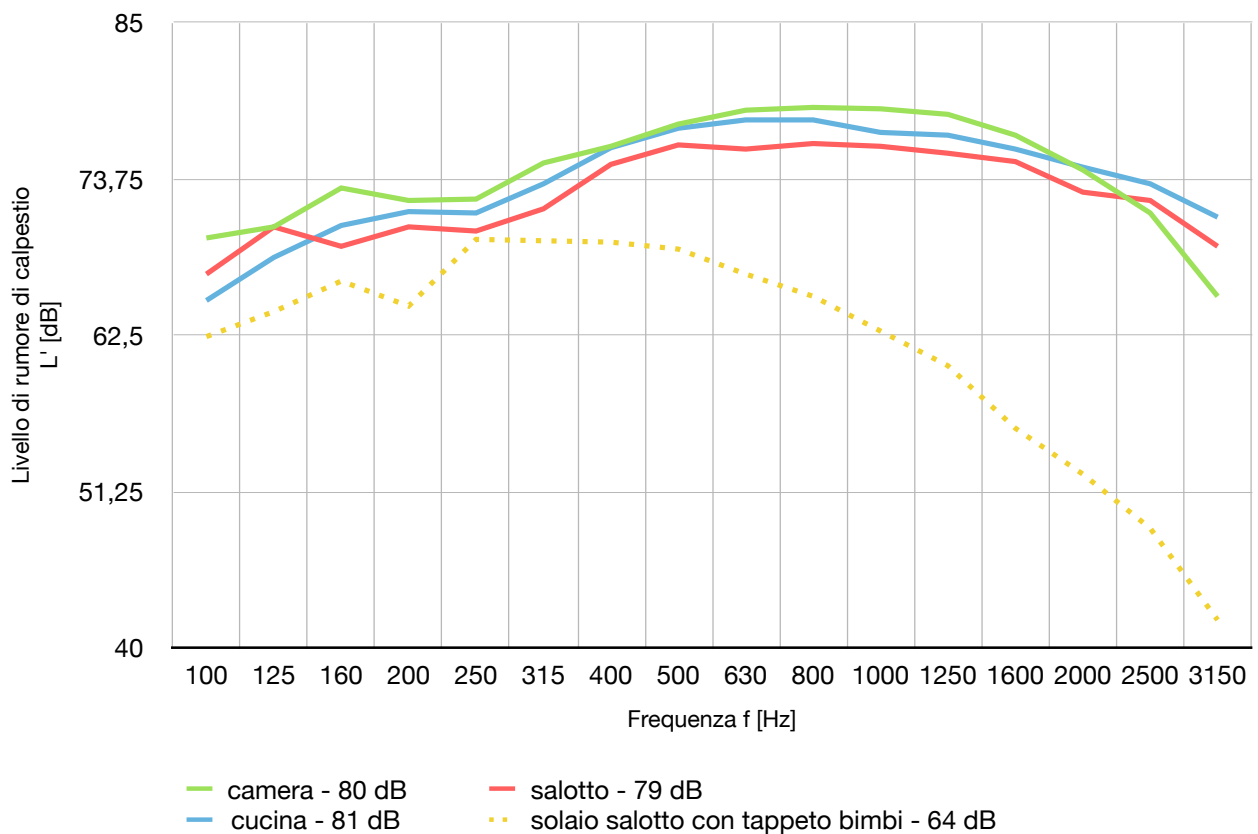




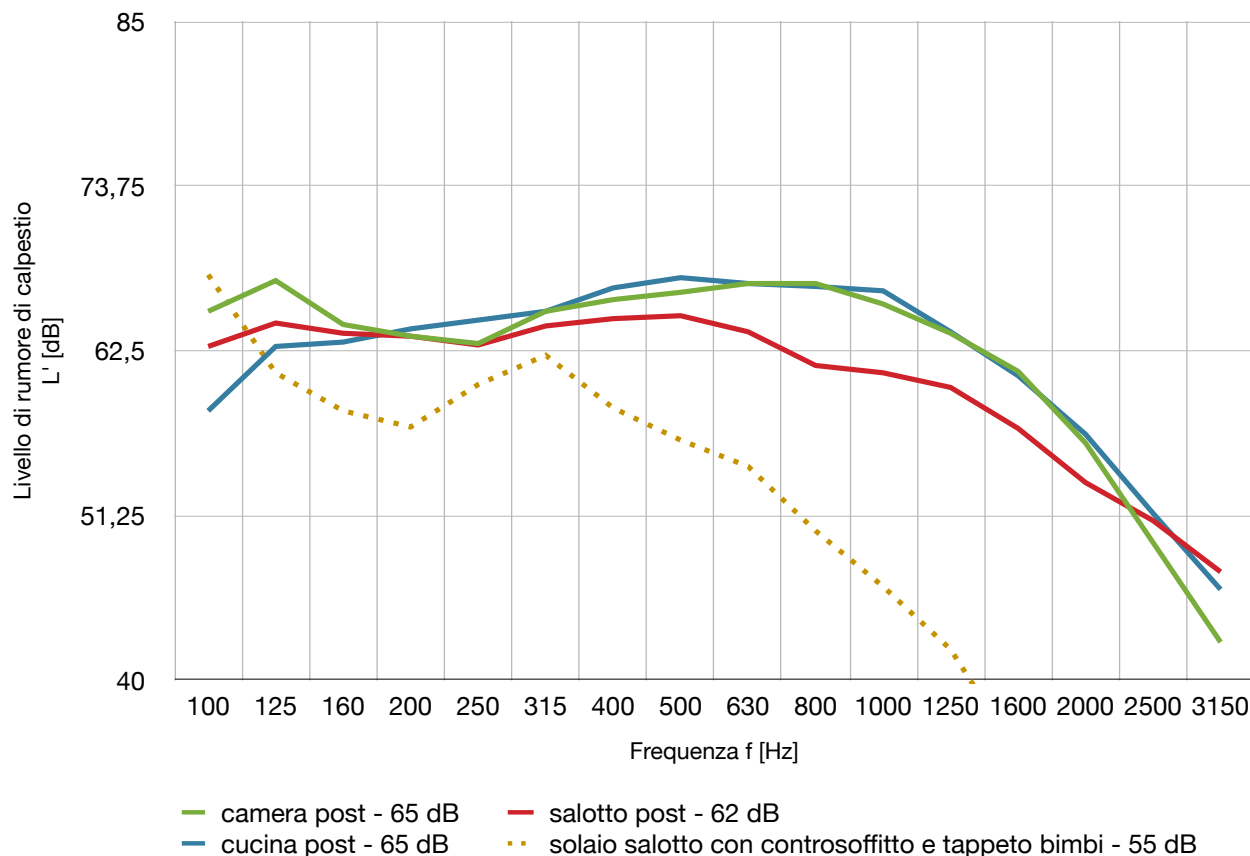
Si nota chiaramente dai grafici come l'incremento prestazionale è rilevante con tutte e tre le soluzioni, con un aumento graduale dell'implemento dell'isolamento a partire dalle basse frequenze fino ad arrivare al massimo risultato alle alte frequenze. Le prestazioni iniziali delle partizioni erano, anche in questo caso, molto scadenti, il risultato di un'incremento medio di 16 dB è quindi più che soddisfacente dal punto di vista del benessere acustico dell'abitazione. Purtroppo solo il controsoffitto del salotto rientra nei canoni stabiliti dal DPCM, le altre due soluzioni sfiorano solamente il limite imposto.

	<i>L'nw</i>					
	Ante			Post		
	camera 80 dB	salotto 79 dB	cucina 81 dB	camera 65 dB	salotto 62 dB	cucina 65 dB
100	69,5	66,9	65	65,2	62,8	58,4
125	70,3	70,3	68,1	67,3	64,4	62,8
160	73,1	68,9	70,4	64,3	63,7	63,1
200	72,2	70,3	71,4	63,5	63,5	64
250	72,3	70	71,3	63	62,9	64,6
315	74,9	71,6	73,4	65,2	64,2	65,2
400	76,1	74,8	76	66	64,7	66,8
500	77,7	76,2	77,4	66,5	64,9	67,5
630	78,7	75,9	78	67,1	63,8	67,1
800	78,9	76,3	78	67,1	61,5	66,9
1000	78,8	76,1	77,1	65,7	61	66,6
1250	78,4	75,6	76,9	63,7	60	63,8
1600	76,9	75	75,9	61,1	57,2	60,8
2000	74,4	72,8	74,6	56,2	53,5	56,8
2500	71,3	72,2	73,4	49,4	50,9	51,4
3150	65,3	68,9	71	42,6	47,4	46,2

Confronto solai ante operam



### Confronto solai post operam



Dai grafici precedenti si nota chiaramente come le prestazioni dei tre solai hanno un'andamento molto simile rispetto alle frequenze, il solaio del salotto ha la prestazione numericamente migliore ma con differenze non molto influenti. Il sistema solaio + controsoffitto invece inizia a dare differenze sostanziali infatti nel salotto si è rilevato un livello di rumore inferiore di 3 dB.

Un po' a sorpresa il migliore risultato è stato ottenuto con un sistema che utilizza delle lastre di cartongesso ad alta densità, caratteristica che le rende molto performanti per questo tipo di utilizzo, ma montate in aderenza al solaio con un'intercapedine più piccola ed un solo strato di lana minerale. Questo significa che di certo il solaio aveva un piccolo vantaggio iniziale e la conformazione della stanza può aver aiutato, ma il sistema che, per le sue peculiari caratteristiche, è più adatto alle situazioni critiche per questo tipo di interventi (altezza limitata) non ha dato in questo caso solo dei buoni risultati ma addirittura il miglior risultato in assoluto.

Può essere interessante evidenziare che la differenza nell'incremento della prestazione dei sistemi solaio + controsoffitto rilevato in opera rispecchia proporzionalmente la differenza che l'azienda produttrice ha rilevato nelle prove di laboratorio. I numeri che arrivano dal laboratorio sono ovviamente più alti non prendendo in considerazione le trasmissioni laterali ma, nonostante questo, tutti i sistemi hanno dato importanti incrementi.

Infine una curiosità: la misura qualitativa fatta con un tappeto per bambini come rivestimento del pavimento ha dato risultati prevedibilmente interessanti soprattutto per le medie ed alte frequenze.

Per concludere questa analisi seguono due tabelle riassuntive con gli interventi eseguiti, i risultati rilevati ante e post operam, l'incremento per ogni sistema analizzato e l'ipotetica classe raggiunta dopo l'intervento seguendo le indicazioni della norma di riferimento UNI 11367. Il tutto suddiviso in base ai due descrittori che interessano questo tipo di interventi.

		<b><i>L'nw</i></b>			
<b>Ambiente</b>	<b>Controsoffitto</b>	<b>L'nw ante</b>	<b>L'nw post</b>	<b><math>\Delta L'nw</math></b>	<b>UNI 11367</b>
Camera app.C	D112 GKB	80	65	-15	classe IV
Cucina app.C	D112 GKF	81	65	-16	classe IV
Salotto app.C	D111 GKF	79	62	-17	classe III

		<b><i>R'w</i></b>			
<b>Ambiente</b>	<b>Intervento</b>	<b>R'w ante</b>	<b>R'w post</b>	<b><math>\Delta R'w</math></b>	<b>UNI 11367</b>
Cucina app.A	Controparete	35	50	+15	classe IV
Camera app.C	D112 GKB	47	54	+7	classe II
Cucina app.C	D112 GKF	46	54	+8	classe II
Salotto app.C	D111 GKF	50	56	+6	classe II

### 7.3.5 - *Calcoli previsionali*

Per poter valutare preventivamente un intervento di riqualificazione come quello analizzato è opportuno fare riferimento a quelli che sono i modelli di calcolo previsionale analizzati nel capitolo 4. E' spesso più agevole fare riferimento ai modelli di calcolo semplificati perché sarebbe molto difficile inserire accurati dati di ingresso recuperando i certificati di laboratorio con i valori in frequenza per tutte le partizioni oggetto di studio se si interviene, come nel nostro caso, su edifici realizzati molti anni fa.

I calcoli a cui facciamo riferimento in questo paragrafo sono stati sviluppati con l'ausilio del software ANIT Echo 6.0, nel quale sono implementati i modelli di calcolo del rapporto tecnico UNI TR 11175. Le misure ante-operam hanno permesso di tarare il modello di calcolo. Nei calcoli previsionali post-operam l'incremento di potere fonoisolante di contropareti e controsoffitti è stato valutato utilizzando le indicazioni del paragrafo 4.2.2 di UNI TR 11175.

La tabella che segue riguarda i risultati dei calcoli previsionali e la misure fotometriche della parete divisoria tra le unità immobiliari A e B. I dati evidenziano una sottostima della prestazione effettivamente riscontrata nelle misure post-operam.

Descrittore	Situazione	Calcolo previsionale	Misura in opera
R'w	Ante-operam	35,7	35
R'w	Post-operam	47,5	50

Questa seconda tabella, invece, riguarda i risultati dei calcoli previsionali e la misure fotometriche del solaio del salotto dell'appartamento C. Si è scelto di analizzare i dati dell'intervento che ha dato i risultati più interessanti infatti il modello non permette di stimare il livello di calpestio della partizione, è però interessante notare come, nonostante l'elevato numero di punti di contatto rigido del controsoffitto con il solaio esistente e la presenza di importanti trasmissioni laterali, l'intervento abbia determinato un sensibile miglioramento dell'isolamento ai rumori da calpestio. I dati evidenziano anche in questo caso che il modello di calcolo sottostima la prestazione di  $R'_w$  riscontrata in opera al termine dei lavori.

Descrittore	Situazione	Calcolo previsionale	Misura in opera
R'w	Ante-operam	50,1	50
R'w	Post-operam	52,9	56
L'nw	Ante-operam	-	79
L'nw	Post-operam	-	62

Si deduce a questo punto che i modelli “per indice di valutazione”, pur essendo più agevoli e quindi più utilizzati rispetto a quelli “in frequenza” per quanto riguarda gli edifici esistenti, non sono sempre in grado di valutare alcune tipologie di descrittori acustici e che sembrano sottostimare la prestazione a fine lavori. Questi aspetti potrebbero indurre progettisti e committenti a non utilizzare determinate tecnologie costruttive anche se, come si è visto, possono determinare importanti miglioramenti delle prestazioni fonoisolanti delle strutture.

## CAP.8 CONCLUSIONI

Il panorama delle ristrutturazioni acustiche ad oggi in Italia è in una fase di notevole transizione legata soprattutto a quelli che saranno gli sviluppi dal punto di vista legislativo degli strumenti a disposizione dei professionisti del settore.

Ad oggi il caposaldo è ancora il DPCM 05-12-97 con tutti i suoi limiti e le incongruenze, questo viene applicato agli edifici di nuova costruzione, mentre per quanto riguarda le ristrutturazioni una circolare ministeriale datata 09-03-1999 indica che i limiti del decreto devono essere rispettati in caso di ristrutturazione totale e nell'installazione o sostituzione di impianti tecnologici esistenti. Per interventi di minore entità, come quello preso in esame in queste pagine, si tende a sottovalutare l'aspetto della ristrutturazione dal punto di vista acustico trascurando però certamente il benessere all'interno delle unità immobiliari ed un possibile incremento di valore nel momento in cui sarà attuata la classificazione acustica.

Quello della classificazione acustica delle unità immobiliari sarà il passaggio fondamentale, la norma UNI 11367 offre l'opportunità, a chi costruisce un nuovo edificio, di impostare la progettazione e la scelta dei sistemi costruttivi per raggiungere le classi acustiche più elevate. La sensibilizzazione del mercato su questo argomento dovrebbe portare anche i proprietari di edifici esistenti a valutare la possibilità di migliorare le prestazioni dei propri immobili per ottenere miglior comfort acustico e conseguente maggiore valore economico per la loro abitazione. La linea legislativa in via di sviluppo è quella di assorbire la classificazione acustica in un nuovo documento ufficiale ed a questo punto si svilupperà un nuovo interesse da parte dei committenti ed i progettisti dovranno essere pronti ad affrontare questi argomenti.

Gli strumenti che possiamo utilizzare per una coerente progettazione della ristrutturazione acustica sono le misure in opera ed i calcoli previsionali. Per le misure in opera il riferimento sono le norme UNI EN ISO 140 che sono in via di revisione e verranno a breve completamente sostituite dalle norme serie UNI EN ISO 16283. Per quanto riguarda i calcoli previsionali di acustica su edifici esistenti abbiamo visto come è in genere più agevole utilizzare i modelli di calcolo previsionale "per indice di valutazione" indicati nelle norme serie UNI EN 12354 e nel rapporto tecnico UNI TR 11175. Essendo anche loro attualmente in via di revisione, si auspica che i modelli di calcolo semplificati vengano integrati con nuove relazioni matematiche e che ne venga migliorata l'accuratezza di calcolo.

Questa situazione non aiuta di certo progettisti e committenti a districarsi in un campo che viene lasciato solitamente ai soli tecnici del settore, ma abbiamo visto come utilizzando semplici soluzioni tecnologiche si possono determinare importanti miglioramenti delle prestazioni fonoisolanti delle strutture. Le soluzioni adottate sono spesso relativamente economiche rispetto ai risultati che si possono ottenere e lo



sviluppo di nuovi materiali legato allo studio di nuovi sistemi per l'isolamento permettono di affrontare anche le situazioni più complicate.

Nel nostro caso studio, ad esempio, abbiamo visto come un controsoffitto in aderenza al solaio abbia dato ottimi risultati pur avendo delle caratteristiche adatte a risolvere quello che in questi casi è il problema maggiore cioè il rispetto delle altezze minime dei locali. E' però di fondamentale importanza la cura della posa in opera perché proprio per le peculiarità dei problemi legati all'acustica anche dei piccoli errori da questo punto di vista renderebbero molto poco performante tutto l'intervento.

Le prospettive di sviluppo legate alla ristrutturazione acustica degli edifici sono enormi, ma anche ora, in attesa di un nuovo decreto che dovrebbe sbloccare la situazione, gli interventi sono possibili anche in piccoli contesti.

Questa tesi ha pertanto inteso evidenziare che gli interventi di isolamento acustico su edifici esistenti sono in molti casi concretamente realizzabili, che possono determinare un sensibile miglioramento del benessere abitativo nell'edificio, e che potranno comportare, in particolare quando verrà pubblicato un nuovo decreto nazionale sulla classificazione acustica delle unità immobiliari, un incremento di valore degli immobili risanati acusticamente.

# BIBLIOGRAFIA

EVEREST F. A.,

Manuale di acustica – Concetti fondamentali Acustica degli interni,

*Ed. Hoepli*

MAMMI S., BORGHI M., BENEDETTI S.

*Collana ANIT: L'isolamento termico e acustico – Vol. 3* Manuale di acustica edilizia

BORGHI M., BENEDETTI S.

*Collana ANIT: L'isolamento termico e acustico – Vol. 6* Classificazione acustica delle unità immobiliari

SPAGNOLO R. (a cura di),

Manuale di acustica applicata,

*Ed. UTET*

HARRIS C. M.,

Manuale di controllo del rumore,

*Ed. Tecniche Nuove*

K. ANTHONY HOOVER,

An appreciation of Acoustic,

*Cavanaugh Tocci Publishing*

UNI EN 12354 parti 1-2-3-6 : 2002

Acustica in edilizia – Valutazione delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni dei prodotti

UNI EN ISO 140 parti 4-5-7-14 : 2000

Acustica – Misurazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio

UNI TR 11175 : 2005

Acustica in edilizia – Guida alle norme serie UNI EN 12354 per la previsione delle prestazioni acustiche degli edifici – Applicazione alla tipologia costruttiva nazionale

UNI EN ISO 717 parti 1-2 : 2007

Acustica – Valutazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio

ATTI - CONVEGNO NAZIONALE DI ACUSTICA, Firenze 2010

L'evoluzione e l'armonizzazione delle norme italiane ed europee sulla protezione acustica degli edifici

ATTI - CONVEGNO NAZIONALE DI ACUSTICA, Pisa 2014

Interventi di bonifica acustica su edifici esistenti con sistemi a secco