

RELAZIONE TECNICA

VALUTAZIONE PREVISIONALE DEI REQUISITI ACUSTICI

PASSIVI DEGLI EDIFICI E SPECIFICHE ACUSTICHE

DEI COMPONENTI EDILIZI

D.P.C.M. 05/12/1997 - C.M. 22/05/1967 - D.M. 18/12/1975

D.M. 11/10/2017 (CAM) – D.M. 23/06/2022

EDIFICIO DIDATTICO-DIREZIONALE

ISTITUTO PROFESSIONALE STATALE "OLIVETTI-CALLEGARI"

VIA UMAGO, 18 - RAVENNA (RA)

FORLÌ, 15 giugno 2023

NORUMORE srl

Via Querzoli, 2H – 47121 Forlì (FC)


Dott. Michele Casadio

Tecnico Competente in Acustica

così come definito dall'art.2 della legge n.447/95,

iscritto nell'elenco Nazionale ENTECA

al n.5055 pubblicato il 10/12/2018



Committente:

PROVINCIA di RAVENNA

INDICE

1) PREMESSA, LEGGI E NORMATIVA DI RIFERIMENTO

2) CLASSIFICAZIONE DEL FABBRICATO

3) METODI DI VERIFICA

3.1) Potere fonoisolante e isolamento acustico tra ambienti

3.2) Isolamento di facciata

3.3) Isolamento acustico al calpestio tra ambienti

3.4) Tempo di riverberazione, STI e C_{50}

4) ELEMENTI STRUTTURALI

4.1) Stima di prestazione dei serramenti interni (porte)

4.2) Determinazione dell'indice dell'isolamento acustico standardizzato di facciata

4.3) Determinazione dell'indice del livello di rumore di calpestio normalizzato

4.4) Determinazione del tempo di riverberazione, STI e C_{50}

5) IMPIANTI

5.1) Impianti a funzionamento continuo

5.2) Impianto a funzionamento discontinuo

6) CONCLUSIONI

ALLEGATI

Pianta

Sezione

1) PREMESSA, LEGGI E NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Lo scopo della seguente relazione tecnica è valutare, sulla base del capitolato di progetto fornito dalla Committenza, le caratteristiche acustiche di un edificio a uso didattico-direzionale da costruire in Via Umago, 18 – Ravenna (RA). Stimati i valori delle grandezze acustiche esaminate, si sono confrontati con i limiti imposti; quindi, si sono indicate le eventuali modifiche da apportare a materiali e/o stratigrafie al fine di ottemperare le richieste di legge.

Le leggi di riferimento sono:

- D.P.C.M. 01/03/1991 - Limiti massimi di rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno
- Legge n. 447 del 26/10/1995 - Legge quadro sull'inquinamento acustico
- D.P.C.M. 05/12/1997 - Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici
- D.M. 18/12/1975 - Norme Tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica
- C. Min. 22/05/1967 - Criteri di valutazione e collaudo dei requisiti acustici negli edifici scolastici
- D.M- 11/10/2017 - Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici.
- D.M. CAM 23/06/2022

Per la valutazione dei requisiti acustici passivi e per la posa in opera dei sistemi costruttivi, si è fatto riferimento alle norme:

- UNI EN 12354-1 *"Building acoustics: estimation of acoustic performance of buildings from the performance of products, Part 1: airborne sound insulation between rooms"*;
- UNI EN 12354-2 *"Building acoustics: estimation of acoustic performance of buildings from the performance of products, Part 2: impact sound insulation between rooms"*;
- UNI EN 12354-3 *"Building acoustics: estimation of acoustic performance of buildings from the performance of products, Part 3: airborne sound insulation against outdoor sound"*;
- UNI EN 12354-5 *"Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti - Parte 5: Livelli sonori dovuti agli impianti tecnici"*;
- UNI EN 12354-6 *"Acustica in edilizia. Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti. Parte 6: Assorbimento acustico in ambienti chiusi"*;
- UNI EN ISO 717-1 *"Acustica. Valutazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio. Isolamento acustico per via aerea"*;
- UNI EN ISO 717-2 *"Acustica. Valutazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio. Isolamento del rumore di calpestio"*;
- UNI 11367 *"Acustica in edilizia. Classificazione acustica delle unità immobiliari. Procedura di valutazione e verifica in opera"*;
- UNI 11175-1 *"Acustica in edilizia - Linee guida per la previsione delle prestazioni acustiche degli edifici - Parte 1: Applicazione delle norme tecniche alla tipologia costruttiva nazionale"*;
- UNI 11175-2 *"Acustica in edilizia - Linee guida per la previsione delle prestazioni acustiche degli edifici - Parte 2: dati di ingresso per il modello di calcolo"*;
- UNI 11532-2 *"Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinati - Metodi di progettazione e tecniche di valutazione - Parte 2: Settore scolastico"*;

- UNI 11516 *“Indicazioni di posa in opera dei sistemi di pavimentazione galleggiante per l'isolamento acustico”*;
- UNI 11296 *“Acustica in edilizia - Posa in opera di serramenti e altri componenti di facciata - Criteri finalizzati all'ottimizzazione dell'isolamento acustico di facciata dal rumore esterno”*.

Si segnala che il modello di calcolo indicato nella UNI EN 12354-5 richiede dati di ingresso difficilmente reperibili. Attualmente per la progettazione del rumore da impianti ci si basa prevalentemente su indicazioni di corretta posa in opera dei sistemi costruttivi.

2) CLASSIFICAZIONE DEL FABBRICATO

La Tabella A, dell'allegato A del D.P.C.M. 05/12/1997, stabilisce la classificazione degli edifici in funzione della destinazione d'uso:

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

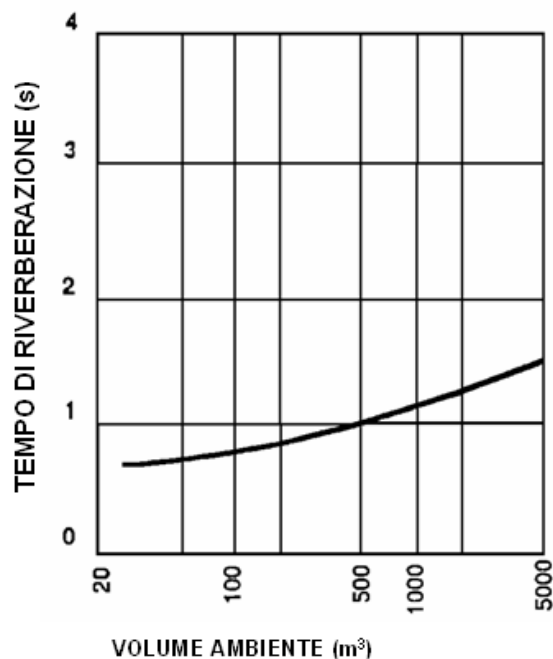
Per una parte dell'immobile, la destinazione d'uso è: "edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili" ed è quindi classificato come edificio di categoria "E"; in relazione a tale classificazione i requisiti acustici passivi dei componenti del fabbricato sono indicati nella tabella B del Decreto:

| PARAMETRI \ CATEGORIA | | CATEGORIA E: edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| R' _w (dB) | Indice del potere fonoisolante apparente di partizioni tra ambienti | ≥ 50 |
| D _{2m,nT,w} (dB) | Indice dell'isolamento acustico standardizzato di facciata | ≥ 48 |
| L' _{n,w} (dB) | Indice del livello di rumore di calpestio di solai normalizzato | ≤ 58 |
| L _{ASmax} (dBA) | Livello massimo di rumore per gli impianti tecnologici a funzionamento discontinuo | ≤ 35 |
| L _{Aeq} (dBA) | Livello equivalente di rumore per gli impianti tecnologici a funzionamento continuo | ≤ 25 |

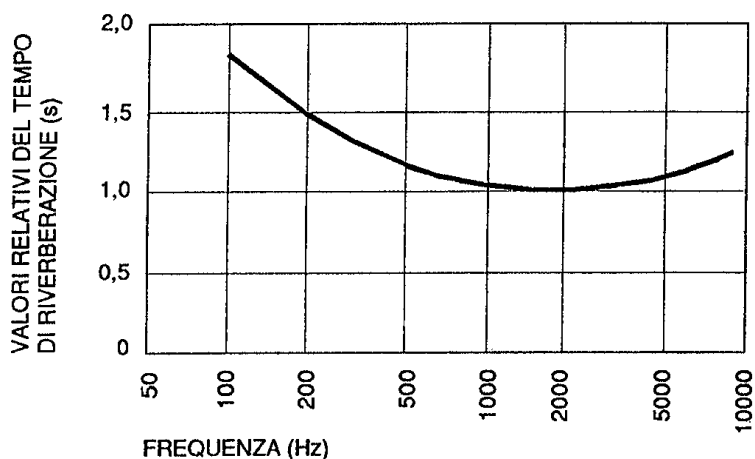
Per quanto riguarda i requisiti acustici degli ambienti scolastici, occorre, inoltre, fare riferimento ai criteri per la valutazione acustica dell'edilizia scolastica descritti nella Circolare Ministeriale n. 3150 del 22 maggio 1967 e al punto 5.1 del Decreto Ministeriale del 18 dicembre 1975, che individuano, in aggiunta ai limiti prescritti dal D.P.C.M. del 5 dicembre 1997, il valore massimo del tempo di riverberazione all'interno dei locali destinati alla didattica.

In particolare, secondo la Circolare Ministeriale del 22 maggio 1967, è previsto che la media dei tempi di riverberazione misurati alle frequenze di 250 - 500 - 1000 e 2000 Hz non superi 1.2 secondi (aula arredata con la presenza di due persone al massimo) e che, negli ambienti ad uso palestra, la media dei tempi di riverberazione misurati alle frequenze di 250 - 500 - 1000 e 2000 Hz non superi 2.2 secondi.

Il D.M. 18/12/1975 individua il valore ammissibile del tempo di riverberazione mediante il grafico di figura, il quale relaziona, il parametro d'interesse, al volume dell'ambiente;



Il valore così ottenuto deve essere moltiplicato per i valori del diagramma in sequenza, per ottenere i valori limite alle bande di frequenza normalizzate di centro 125, 250, 500, 1000, 2000 e 4000 Hz.



Relativamente all'isolamento di strutture divisorie interne, sia il D.M. che la Circolare Ministeriale stabiliscono:

- isolamento acustico fra ambienti adiacenti: $I = 40$ dB
- isolamento acustico fra ambienti sovrapposti: $I = 42$ dB

La norma UNI 11367, prevede di calcolare il tempo di riverberazione ottimale in funzione del volume dell'ambiente.

Il valore ottimale del tempo di riverberazione medio fra 500 Hz e 1000 Hz è ricavabile dalla espressione:

$$T_{ott} = 0.32 \lg(V) + 0.03 \text{ [s]} \text{ (ambiente non occupato adibito al parlato)}$$

$$T_{ott} = 1.27 \lg(V) - 2.49 \text{ [s]} \text{ (ambiente non occupato adibito ad attività sportive)}$$

dove:

V è il volume dell'ambiente [m³]

A integrazione di quanto definito, si riportano i valori d'isolamento previsti dalla norma UNI 11367:

Requisiti acustici di ospedali, case di cura e scuole

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

Il D.M. 11 ottobre 2017 prevede:

.....2.3.5.6 Comfort acustico I valori dei requisiti acustici passivi dell'edificio devono corrispondere almeno a quelli della classe II ai sensi della norma UNI 11367. Gli ospedali, le case di cura e le scuole devono soddisfare il livello di «prestazione superiore» riportato nel prospetto A.1 dell'Appendice A della norma 11367. Devono essere altresì rispettati i valori caratterizzati come «prestazione buona» nel prospetto B.1 dell'appendice B alla norma UNI 11367. Gli ambienti interni devono essere idonei al raggiungimento dei valori indicati per i descrittori acustici riportati nella norma UNI 11532. I descrittori acustici da utilizzare sono: quelli definiti nella UNI 11367 per i requisiti acustici passivi delle unità immobiliari; almeno il tempo di riverberazione e lo STI per l'acustica interna agli ambienti di cui alla UNI 11532.

Verifica: i professionisti incaricati, ciascuno per le proprie competenze, devono dare evidenza del rispetto dei requisiti, sia in fase di progetto iniziale che in fase di verifica finale della conformità, consegnando rispettivamente un progetto acustico e una relazione di collaudo redatta tramite misure acustiche in opera, ai sensi delle norme UNI 11367, UNI 11444 e UNI 11532:2014 o norme equivalenti che attestino il raggiungimento della classe acustica qui richiesta. Qualora il progetto sia sottoposto ad una fase di verifica valida per la successiva certificazione dell'edificio secondo uno dei protocolli di sostenibilità energetico/ambientale degli edifici (rating systems) di livello nazionale o internazionale, la conformità al presente criterio può essere dimostrata se nella certificazione risultano soddisfatti tutti i requisiti riferibili

alle prestazioni ambientali richiamate dal presente criterio. In tali casi il progettista è esonerato dalla presentazione della ulteriore documentazione sopra indicata, ma è richiesta la presentazione degli elaborati e/o dei documenti previsti dallo specifico protocollo di certificazione di edilizia sostenibile perseguita, fermo restando l'esecuzione del collaudo.....

Il D.M. 23 agosto 2022 riporta

2.4.11 Prestazioni e comfort acustici

Criterio

Fatti salvi i requisiti di legge di cui al decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 5 dicembre 1997 «Determinazione dei requisiti acustici degli edifici» (nel caso in cui il presente criterio ed il citato decreto prevedano il raggiungimento di prestazioni differenti per lo stesso indicatore, sono da considerarsi, quali valori da conseguire, quelli che prevedano le prestazioni più restrittive tra i due), i valori prestazionali dei requisiti acustici passivi dei singoli elementi tecnici dell'edificio, partizioni orizzontali e verticali, facciate, impianti tecnici, definiti dalla norma UNI 11367 corrispondono almeno a quelli della classe II del prospetto 1 di tale norma. I singoli elementi tecnici di ospedali e case di cura soddisfano il livello di "prestazione superiore" riportato nel prospetto A.1 dell'Appendice A di tale norma e rispettano, inoltre, i valori caratterizzati come "prestazione buona" nel prospetto B.1 dell'Appendice B di tale norma. Le scuole soddisfano almeno i valori di riferimento di requisiti acustici passivi e comfort acustico interno indicati nella UNI 11532-2.

Gli ambienti interni, ad esclusione delle scuole, rispettano i valori indicati nell'appendice C della UNI 11367.

In sintesi, per gli ambienti a uso didattico, riferendosi ai limiti più restrittivi considerati nei riferimenti legislativi, si devono rispettare i seguenti parametri:

- Isolamento acustico di facciata $D_{nT,2m,w}$ maggiore di 48 dB.
- Isolamento acustico tra aule sovrapposte $D_{nT,w}$ maggiore di 55 dB
- Isolamento acustico tra aule adiacenti $D_{nT,w}$ maggiore di 50 dB
- Calpestio $L_{n,w}$ inferiore a 53 dB
- L_{icT} inferiore a 28 dB(A)
- L_{idT} inferiore a 34 dB(A)
- Isolamento acustico dal corridoio $D_{nT,w}$ maggiore di 30 dB
- Tempo di riverbero definito in funzione della tipologia di utilizzo e del volume dell'ambiente (UNI 11532-2)

prospetto 1 **Categorie degli ambienti in relazione all'attività**

| Categoria | Attività in ambiente | Modalità d'intervento |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A1 | Musica | Obiettivo raggiunto con progettazione integrata di geometrie, arredo, controllo del rumore residuo |
| A2 | Parlato /conferenza | |
| A3 | Lezione/comunicazione come parlato/ conferenza (aule grandi) interazione insegnante studente | |
| A4 | Lezione/comunicazione, incluse aule speciali | |
| A5 | Sport | |
| A6 | Aree e spazi non destinati all'apprendimento e biblioteche | Obiettivo raggiunto con assorbimento acustico ed il controllo del rumore residuo |

prospetto 6 **Formule di calcolo di $T_{0,18}$ per le categorie da A1 a A5**

| Categoria | Ambiente occupato all'80% | |
|-----------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| A1 | $T_{0,18,A1} = (0,45 \log V + 0,07)$ | $30 \text{ m}^3 \leq V < 1000 \text{ m}^3$ |
| A2 | $T_{0,18,A2} = (0,37 \log V - 0,14)$ | $50 \text{ m}^3 \leq V < 5000 \text{ m}^3$ |
| A3 | $T_{0,18,A3} = (0,32 \log V - 0,17)$ | $30 \text{ m}^3 \leq V < 5000 \text{ m}^3$ |
| A4 | $T_{0,18,A4} = (0,26 \log V - 0,14)$ | $30 \text{ m}^3 \leq V < 500 \text{ m}^3$ |
| Categoria | Ambiente non occupato | |
| A5 | $T_{0,18,A5} = (0,75 \log V + 1,00)$ $T_{0,18,A5} = 2,00$ | $200 \text{ m}^3 \leq V < 10000 \text{ m}^3$ $V \geq 10000 \text{ m}^3$ |

- STI (definito secondo la norma UNI 11532-2)

prospetto 4

Valori di riferimento del descrittore STI

| | < 250 m ³ | ≥ 250 m ³ |
|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Senza impianto di amplificazione o con impianto spento | ≥ 0,55 con segnale di emissione ad 1 m in asse alla sorgente pari a 60 dB(A). | ≥ 0,50 con segnale di emissione ad 1 m in asse alla sorgente pari a 70 dB(A). |
| Con impianto di amplificazione | ≥ 0,60 con segnale di emissione come in normali condizioni d'uso dell'impianto di amplificazione | |

- C₅₀ (definito secondo la norma UNI 11532-2)

4.4

Valori di riferimento per il descrittore C₅₀

Il descrittore C₅₀ può essere applicato alle categorie A1, A2, A3 ed A4 in alternativa allo STI esclusivamente per ambienti di dimensioni inferiori ai 250 m³. Per ambienti di volume ≥ 250 m³ si applica esclusivamente lo STI.

prospetto 5

Valori di riferimento per il descrittore C₅₀

| | < 250 m ³ |
|----------------------------------|----------------------|
| Senza impianto di amplificazione | ≥ 2 dB |

Per la parte rimanente dell'immobile, la destinazione d'uso è: "edifici adibiti ad uffici e assimilabili" ed è quindi classificato come edificio di categoria "B".

In relazione a tale classificazione i requisiti acustici passivi dei componenti del fabbricato sono indicati nella tabella B del Decreto:

| PARAMETRI \ CATEGORIA | | CATEGORIA B: edifici adibiti ad uffici e assimilabili |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| R' _w (dB) | Indice del potere fonoisolante apparente di partizioni tra ambienti | ≥ 50 |
| D _{2m,nT,w} (dB) | Indice dell'isolamento acustico standardizzato di facciata | ≥ 42 |
| L' _{n,w} (dB) | Indice del livello di rumore di calpestio di solai normalizzato | ≤ 55 |
| L _{Asmax} (dBA) | Livello massimo di rumore per gli impianti tecnologici a funzionamento discontinuo | ≤ 35 |
| L _{aeq} (dBA) | Livello equivalente di rumore per gli impianti tecnologici a funzionamento continuo | ≤ 35 |

3) METODO DI VERIFICA

3.1) Potere fonoisolante e isolamento acustico tra ambienti

Le verifiche sono state eseguite utilizzando le norme UNI che specificano un modello di calcolo tramite l'utilizzo del quale è possibile stimare l'isolamento dal rumore trasmesso per via aerea tra ambienti situati in edifici, partendo dalle caratteristiche acustiche e geometriche delle strutture edilizie. Il modello di calcolo e le relative soluzioni tecniche sono state elaborate sulla base di dati sperimentali.

Il calcolo si basa sul potere fonoisolante della partizione di separazione tra ambienti e prende in considerazione sia la trasmissione diretta sia quella di fiancheggiamento.

Importante evidenziare che il modello di calcolo sovrastima leggermente l'isolamento e che scostamenti dall'idealità (es. morfologia della stanza molto dissimile al modello e disomogeneità della parete) possono portare a limiti di applicabilità con una incertezza dei valori ottenuti, solitamente valutata pari a 2 dB. (Rivista italiana di acustica – volume 32- articolo a pagg.42-47)

Definito il potere fonoisolante tra ambienti si è calcolato l'isolamento acustico seguendo le formule previste dalla normativa tecnica.

3.2) Isolamento di facciata

Le verifiche sono state eseguite utilizzando le norme UNI che specificano un modello di calcolo tramite l'utilizzo del quale è possibile stimare le prestazioni d'isolamento acustico di facciata delle strutture edilizie, partendo dai dati sul comportamento acustico degli elementi e dei materiali che costituiscono la facciata.

Il modello di calcolo e le relative soluzioni tecniche sono state elaborate sulla base di dati sperimentali. Il calcolo si basa sul potere fonoisolante dei singoli elementi che compongono la facciata e prende in considerazione sia la trasmissione diretta sia quella di fiancheggiamento.

Il metodo, inoltre, tiene conto sia della forma della facciata, in quanto tale aspetto può influire sull'isolamento acustico della facciata stessa, sia delle caratteristiche geometriche degli ambienti riceventi.

3.3) Isolamento acustico al calpestio tra ambienti

Le verifiche sono state eseguite utilizzando le norme UNI che specificano un modello di calcolo tramite l'utilizzo del quale è possibile stimare l'isolamento dal rumore di calpestio trasmesso tra ambienti sovrapposti situati in edifici, partendo dalle caratteristiche acustiche e geometriche delle strutture edilizie. Il modello di calcolo e le relative soluzioni tecniche sono state elaborate sulla base di dati sperimentali.

Il calcolo prende in considerazione sia la trasmissione diretta sia quella di fiancheggiamento.

Con una analisi più dettagliata e mediante l'uso del software previsionale ECHO 8.2 d ANIT si sono seguite le indicazioni previste dalla norma UNI EN ISO 12354-2 che permette la valutazione delle trasmissioni per fiancheggiamento di rumore strutturale.

3.4) Tempo di riverberazione, STI e C_{50}

Le verifiche sono state eseguite utilizzando il metodo descritto nella norma UNI che specificano un modello di calcolo il cui scopo è di prevedere e verificare le prestazioni acustiche delle strutture edilizie, a partire dai dati di comportamento acustico dei componenti e dei materiali che costituiscono l'edificio.

Il modello specificato prevede che il calcolo del tempo di riverberazione sia effettuato sulla base dei coefficienti di assorbimento e delle superfici dei materiali utilizzati.

Ipotesi di calcolo:

- assorbimento dell'aria trascurabile
- volumi di forma regolare
- assorbimento distribuito uniformemente
- ambienti vuoti

Dal valore di RT computato si è proceduto al calcolo di STI e C_{50} secondo i dettami della norma.

Unitamente all'utilizzo della formula di Sabin si è proceduto alla simulazione degli ambienti sensibili tramite un software acustico (ECHO 8.2 – ANIT) che analizza anche il comportamento in frequenza.

La norma UNI 11532-2:2020 prevede di ipotizzare, l'aula oggetto di indagine, occupata all'80%. Poiché tale condizione determina un netto incremento della superficie fonoassorbente nell'ambiente stesso, se il limite è rispettato ad aula vuota, tanto più bassa la riverberazione acustica. Seguendo tale considerazione si è agito conservativamente facendo in modo di rispettare il limite sulla riverberazione acustica anche ad aula vuota.

4) ELEMENTI STRUTTURALI

Seguendo i dati e il capitolato definito dalla Committenza, si è proceduto alla verifica di prestazione d'isolamento acustico dell'edificio.

L'edificio in esame, si sviluppa su più piani fuori terra ed è un'unica unità immobiliare, quindi, alcuni dei parametri individuati dal Decreto non saranno oggetto d'indagine.

In allegato sono riportate le rappresentazioni grafiche dell'immobile.

Per la stima di prestazione d'isolamento acustico è necessario conoscerne la massa areica e l' R_w di tutti gli elementi base presenti nel progetto.

Conoscendo le caratteristiche acustiche degli elementi costituenti è possibile stimare la prestazione in opera tramite la modellazione.

Al fine della valutazione delle masse superficiali si è assunto che:

- la lana minerale per ingolfamento pareti interne di circa $20 \div 50 \text{ kg/m}^3$
- il cartongesso ha densità di circa 900 kg/m^3
- il cartongesso additivato ha densità di circa 1100 kg/m^3
- il cemento armato ha densità di circa 2200 kg/m^3
- il cemento armato dei solai strutturali ha densità di circa 1800 kg/m^3
- il massetto alleggerito ha densità di circa 500 kg/m^3
- il massetto ripartitore ha densità di circa 2000 kg/m^3
- la pavimentazione in linoleum ha densità di circa 1100 kg/m^3

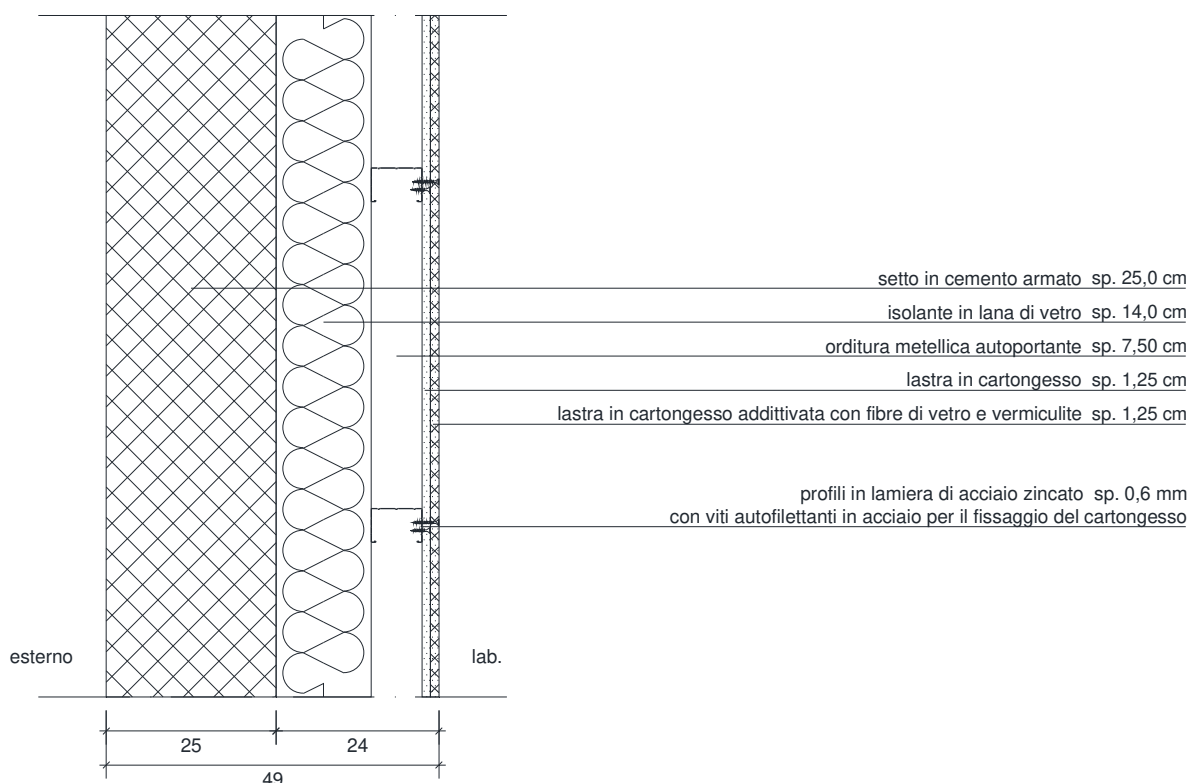
Gli elementi che hanno importanza al fine della determinazione dei parametri acustici previsti dalla normativa vigente sono:

pareti di tamponamento perimetrale, pareti tra aule e zone comuni, pareti interne, solai di copertura e solai interpiano tra palestra e aule. Analizzeremo in dettaglio le prestazioni dei suddetti elementi al fine della modellazione per la determinazione dei parametri oggetto di studio.

- Pareti perimetrali

Le pareti perimetrali dell'edificio saranno realizzate secondo differenti tipi di stratigrafie, agendo conservativamente, si sono indagate le prestazioni acustiche della tipologia di parete meno performante e questa è stata assunta come rappresentativa dell'intero progetto.

N2



Ricordando le sopracitate densità, si sono calcolate le masse superficiali:

Cemento armato: $(2200/100) \times 25,0 = 550,0 \text{ kg/m}^2$

Lana minerale: $(20/100) \times 14,0 = 2,8 \text{ kg/m}^2$

Cartongesso: $(900/100) \times 1,25 = 11,25 \text{ kg/m}^2$

Cartongesso additivato: $(1100/100) \times 1,25 = 13,75 \text{ kg/m}^2$

Al fine di valutare il potere fonoisolante del setto si è risaliti alla prestazione del setto in c.a. e quindi si è valutato l'incremento dato dalla presenza del rivestimento interno.

La parete in c.a. ha una massa superficiale pari a

$$m'_1 \approx 550 \text{ kg/m}^2$$

Utilizzando la legge di massa prevista dalla normativa tecnica si è calcolato il potere fonoisolante:

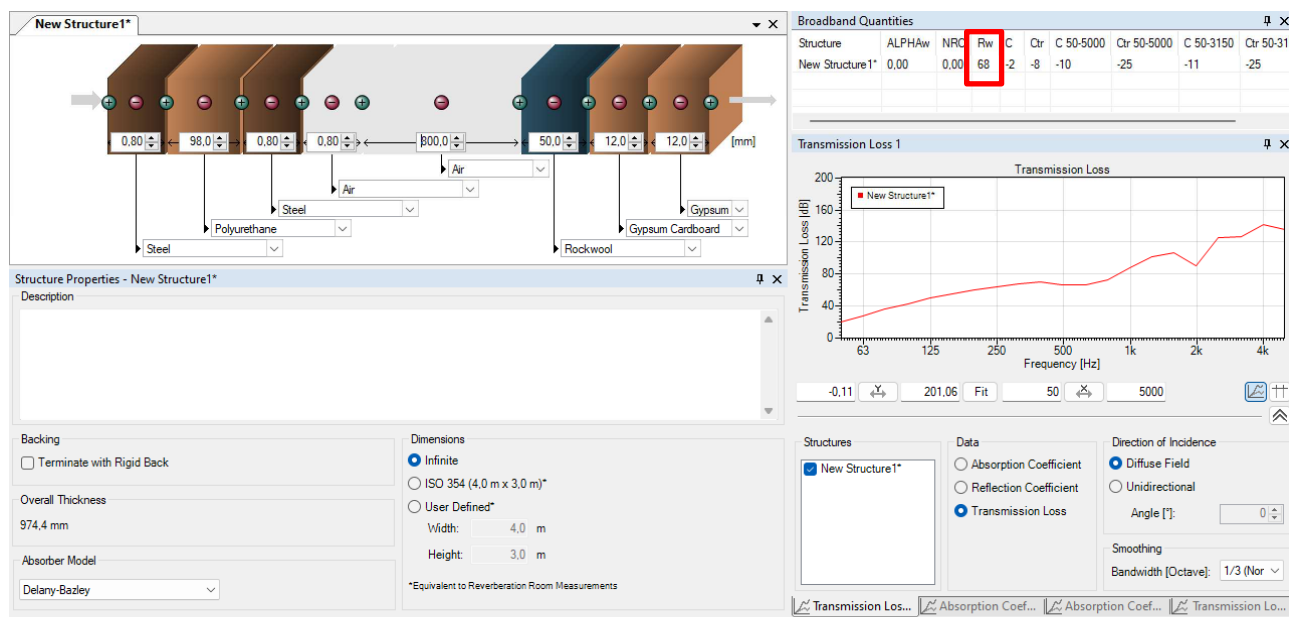
$$R_w = 53 \text{ dB}$$

Il rivestimento interno è realizzato con due lastre di cartongesso su intelaiatura metallica; la massa superficiale del rivestimento pertanto è:

$$m'_2 \approx 25 \text{ kg/m}^2$$

L'intercapedine tra gli elementi ha uno spessore di 21,5 cm.

Utilizzando il software previsionale ECHO 8.2 di ANIT si è calcolato l'incremento:

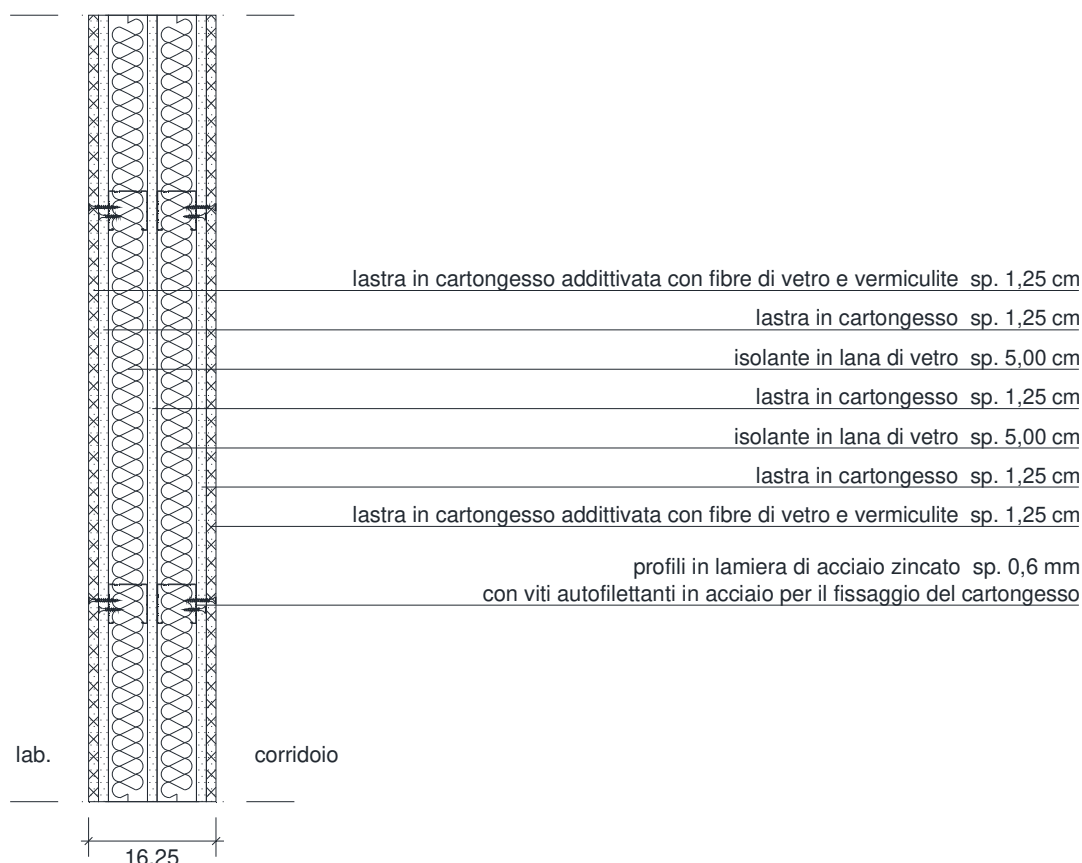


Al fine di una corretta installazione si dovrà procedere come indicato in sequenza:

- evitare che la lana minerale si “afflosci” sulla base dell’importante intercapedine;
- il telaio metallico deve essere fissato su una superficie il più possibile liscia;
- per compensare le discontinuità superficiali e necessario applicare una striscia di neoprene biadesivo (spessore circa 3.5 mm) lungo le guide perimetrali;
- il riempimento del telaio metallico deve risultare continuo ed uniforme;
- i pannelli di cartongesso devono essere ben aderenti ai montanti e perfettamente accostati fra loro;
- è opportuno sfalsare sia la lunghezza che l’altezza dei pannelli rispetto alle due facce della partizione;
- le giunzioni fra lastre di cartongesso devono essere ricoperte mediante garze adesive e stuccate;
- in presenza di irregolarità lungo il perimetro della parete si raccomanda l’applicazione di garza adesiva e la stuccatura, avendo cura di colmare gli interstizi e le fessure fra la superficie della partizione e le strutture circostanti;
- è necessario seguire lo schema di montaggio prescritto dai fornitori dei materiali negli accoppiamenti tra lastre e tra lastre e struttura al fine di minimizzare le possibili fessurazioni nel setto (esempio come sviluppare un angolo)

Si rimanda a un’analisi in cantiere durante la costruzione al fine di analizzare i casi particolari di messa in opera.

Nel caso di passaggio di colonne di scarico nelle pareti di tamponamento sarà necessaria estrema cura nella posa e comunque, come citato nel capitolo 5, l’accorgimento migliore a eliminare tale problema è la realizzazione di cavedi dove convogliare gli impianti.

- Partizioni verticali tra aule e spazi comuni**N1**

Le masse superficiali sono pertanto:

Cartongesso additivato: $(1100/100) \times (1.25 \times 2) = 27.5 \text{ kg/m}^2$

Cartongesso: $(900/100) \times (1.25 \times 3) = 33.75 \text{ kg/m}^2$

Fono assorbitore: $(40/100) \times (5 \times 2) = 4.0 \text{ kg/m}^2$

Per cui si ha, valutando anche il peso della struttura di sostegno e stuccatura, che la massa superficiale del setto diventa circa **$m' \approx 65 \text{ kg/m}^2$**

Al fine della valutazione del valore dell'indice del potere fonoisolante del setto in esame si è fatto riferimento alle correlazioni specifiche richiamate dalla norma UNI 11175 e alla banca dati fornita dai produttori dei materiali da cui si ha: **$R_w = 60 \text{ dB}$**

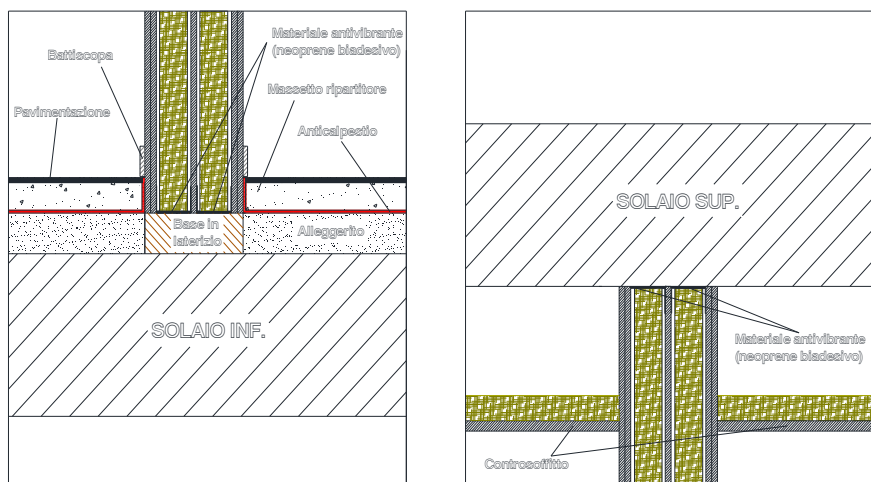
Il valore dell'indice R_w desunto da normativa risulterebbe superiore alla stima proposta, ma, in termini cautelativi, data la certa presenza nelle pareti di impianti elettrici, si è proceduto mantenendo importanti termini di sicurezza. (Es. Knauf W115 +1)

In alcuni casi saranno utilizzate lastre esterne con particolari prestazioni sia per raggiungere prestazioni alla resistenza al fuoco sia per resistenza all'acqua.

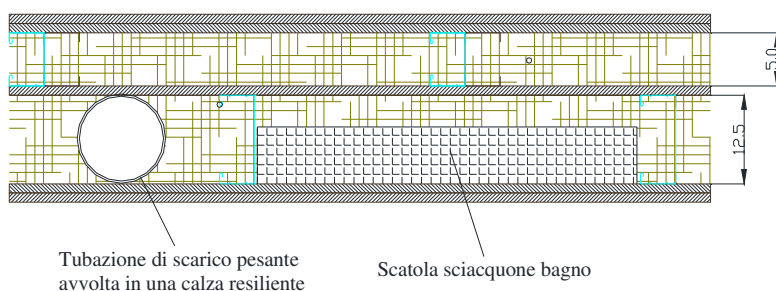
Visto che utilizzare tali tipi di lastre è a favore della prestazione di isolamento acustico, cautelativamente, si sono assunte le prestazioni sopra stimate come rappresentative anche per tali tipi di setto.

Al fine di una corretta installazione si dovrà procedere come indicato in sequenza:

-le pareti di separazione dovranno essere realizzate fino alla quota del solaio (e non solo fino all'eventuale controsoffitto) per eliminare problemi di cross-over; per analogo motivo dovranno proseguire al disotto del pavimento galleggiante fino all'estradosso del solaio sottostante;



- il telaio metallico deve essere fissato su una superficie il più possibile liscia;
- per compensare le discontinuità superficiali è necessario applicare una striscia di neoprene biadesivo (spessore circa 3.5 mm) lungo le guide perimetrali;
- il riempimento del telaio metallico deve risultare continuo ed uniforme;
- i pannelli di cartongesso devono essere ben aderenti ai montanti e perfettamente accostati fra loro;
- è opportuno sfalsare sia la lunghezza che l'altezza dei pannelli rispetto alle due facce della partizione;
- le giunzioni fra lastre di cartongesso devono essere ricoperte mediante garze adesive e stuccate;
- in presenza di irregolarità lungo il perimetro della parete si raccomanda l'applicazione di garza adesiva e la stuccatura, avendo cura di colmare gli interstizi e le fessure fra la superficie della partizione e le strutture circostanti;
- nelle pareti di separazione nelle quali è prevista l'applicazione di impianti rumorosi, (ad esempio scatola dello sciacquone dei bagni e sanitari in genere) è necessario procedere con una spalletta in addosso alla partizione di progetto ove convogliare i suddetti impianti; diversamente è lecito ipotizzare di sviluppare un cavedio dove far passare gli impianti ingrossando lo spessore di una delle intercapedini (passando da 5 cm a misure compatibili al passaggio impianti quindi almeno 12.5 cm) e ingolfando lo spazio attorno agli impianti con lana minerale.



-è necessario seguire lo schema di montaggio prescritto dai fornitori dei materiali negli accoppiamenti tra lastre e tra lastre e struttura al fine di minimizzare le possibili fessurazioni nel setto (esempio come sviluppare un angolo)

-nella realizzazione dell'impianto elettrico si dovrà evitare che le scatole di derivazione vengano a trovarsi affacciate nelle due parti del muro di separazione per evitare ponti acustici;

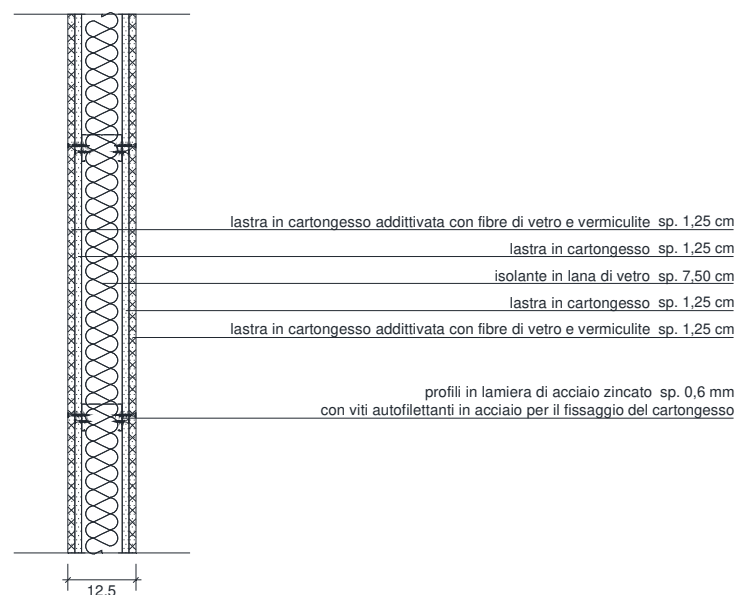
-non è possibile applicare porte scorrevoli all'interno delle pareti di separazione tra distinti ambienti.

Si rimanda a un'analisi in cantiere durante la costruzione al fine di analizzare i casi particolari di messa in opera.

- Partizioni verticali interne leggere

Le partizioni verticali interne saranno realizzate secondo diverse tipologie: agendo conservativamente si è valutato il comportamento acustico della partizione meno performante ed è stato utilizzato per definire la prestazione acustica del progetto; la stratigrafia della parete in esame prevede:

N3



Analogamente alle trattazioni precedenti si è risaliti alla massa superficiale del paramento.

In seguito, si è fatto riferimento ai dati presenti nella normativa tecnica che qualificano le partizioni come quella in esame:

prospetto B.6 Valore dell'indice di valutazione, $R_{w,R}$ di tipologia di pareti doppie di tipo leggero in lastre di gesso rivestito su orditura metallica

| Tipologia | s_B | Tipo profilo a C | s | s_D | $R_{w,R}$ |
|-----------|----------|------------------|-----|-------|-----------|
| | 12,5 | C 50 x 0,6 | 50 | 40 | 45 |
| | | C 75 x 0,6 | 75 | 40 | 45 |
| | | C 100 x 0,6 | 100 | 40 | 47 |
| | | | 100 | 60 | 48 |
| | | | 100 | 80 | 51 |
| | 2 x 12,5 | C 50 x 0,6 | 50 | 40 | 50 |
| | | C 75 x 0,6 | 75 | 40 | 51 |
| | | | 75 | 60 | 52 |
| | | C 100 x 0,6 | 100 | 40 | 53 |
| | | | 100 | 60 | 55 |
| | | | 100 | 80 | 56 |

Legenda figure

s_B è lo spessore delle lastre in gesso rivestito, in millimetri

s è lo spessore minimo dell'intercapedine, in millimetri

s_D è lo spessore minimo del materiale isolante fibroso, in millimetri

$R_{w,R}$ è il valore di progetto, ottenuto da media statistica di R_w e già corretto da un termine cautelativo uguale -2 dB

X è uno strato di materiale ammortizzante

Dimensioni in millimetri

Il materiale isolante fibroso ha resistenza di flusso d'aria $r \geq 5 \text{ kNs/m}^4$ e spessore 50 mm.

La massa superficiale è:

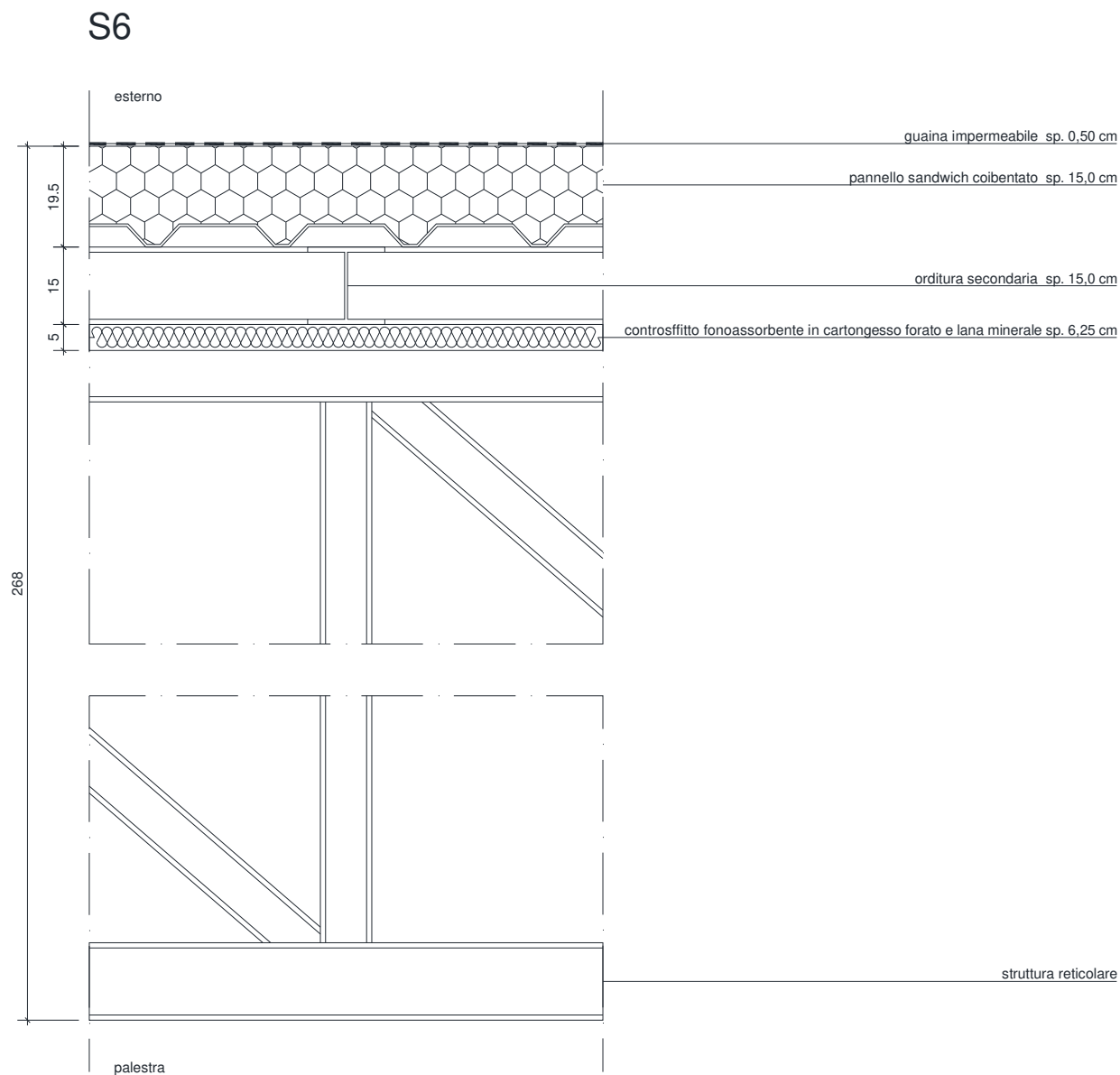
$m' = 53 \text{ kg/m}^2$

e l'indice del potere fonoisolante del setto è:

$R_w = 52 \text{ dB}$

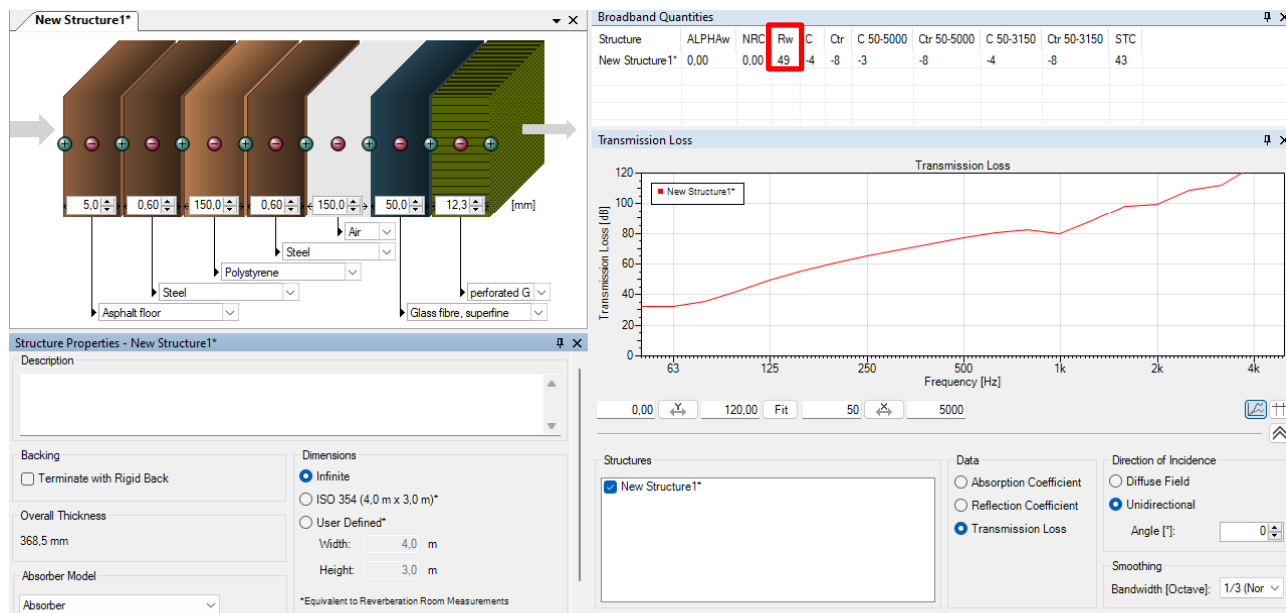
- Copertura

La copertura sarà realizzata con la seguente stratigrafia:



La presenza della guaina impermeabilizzante in estradosso contribuisce in modo sostanziale alla riduzione del rumore derivante da impatto di pioggia meteorica in quanto riduce la vibrazione del pannello coibentato.

Utilizzando il software previsionale SoundFlow si è modellata la stratigrafia e si è risaliti al potere fonoisolante:



La massa superficiale è:

$$m' = 40 \text{ kg/m}^2$$

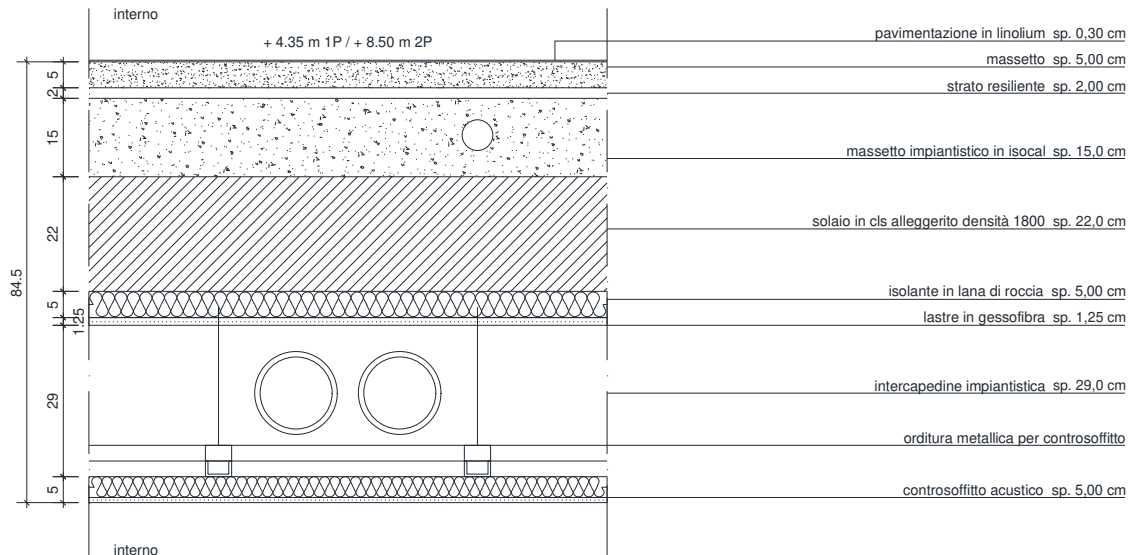
e l'indice del potere fonoisolante del setto è:

$$R_w = 49 \text{ dB}$$

- Solai

Il solaio interpiano tra palestra ed aule prevede la seguente stratigrafia:

S4



Agendo in modo analogo alle trattazioni precedenti si è risaliti alla massa areica del solaio strutturale e quindi si sono valutati i contributi prestazionali dovuti al placcaggio in intradosso e massetto galleggiante:

- solaio in c.a. 396 kg/m^2
- massetto impiantistico 79 kg/m^2
- $m'_{\text{t}} \approx 475 \text{ kg/m}^2$**

con l'ausilio della "legge di massa" specifica per solai, contenuta nella letteratura tecnica (Manuale di Acustica Applicata – Renato Spagnolo – UTET), si calcola il potere fonoisolante: **$R_w = 53 \text{ dB}$**

La presenza del placcaggio all'intradosso del solaio in c.a. comporta un incremento del potere fonoisolante:

- massa superficiale della lastra additivata (gessofibra) 13.75 kg/m^2

ΔRw

Struttura di base

Massa superficiale (m²) kg/m² Rw base dB

Strato addizionale

Massa superficiale (m²) kg/m² ☒ ΔRw calcolato ☐ ΔRw da laboratorio

☐ Elemento in adesione ☒ Elemento interno ☐ Elemento esterno

☒ Elemento con struttura di sostegno

Spessore della cavità (d) cm

Frequenza di risonanza Hz

ΔRw dB

☒ Applicare la correzione di -2dB

Inoltre, la presenza del pavimento galleggiante comporta un ulteriore incremento ΔR_w , le masse superficiali sono pertanto:

- materiale resiliente e massetto ripartitore 112 kg/m²
- pavimentazione 3 kg/m²
- $m'2 \approx 115 \text{ kg/m}^2$**

$$f_0 = 160 [s' (1/m'_1 + 1/m'_2)]^{0.5}$$

con $s' = 9 \text{ MN/m}^3$ (vedi paragrafo sullo studio del rumore da calpestio)

$$\Delta R_w = 72 - (R_{w, m1/2} + 20 \log f_0)$$

$$\Delta R_w = 11.5 \text{ dB}$$

Seguendo la norma UNI 11175 si ha (da tabella):

$$\Delta R_w = 8.5 \text{ dB}$$

Interpolando

$$\Delta R_w = 10 \text{ dB}$$

quindi il setto composto presenta

$$m' \approx 605 \text{ kg/m}^2$$

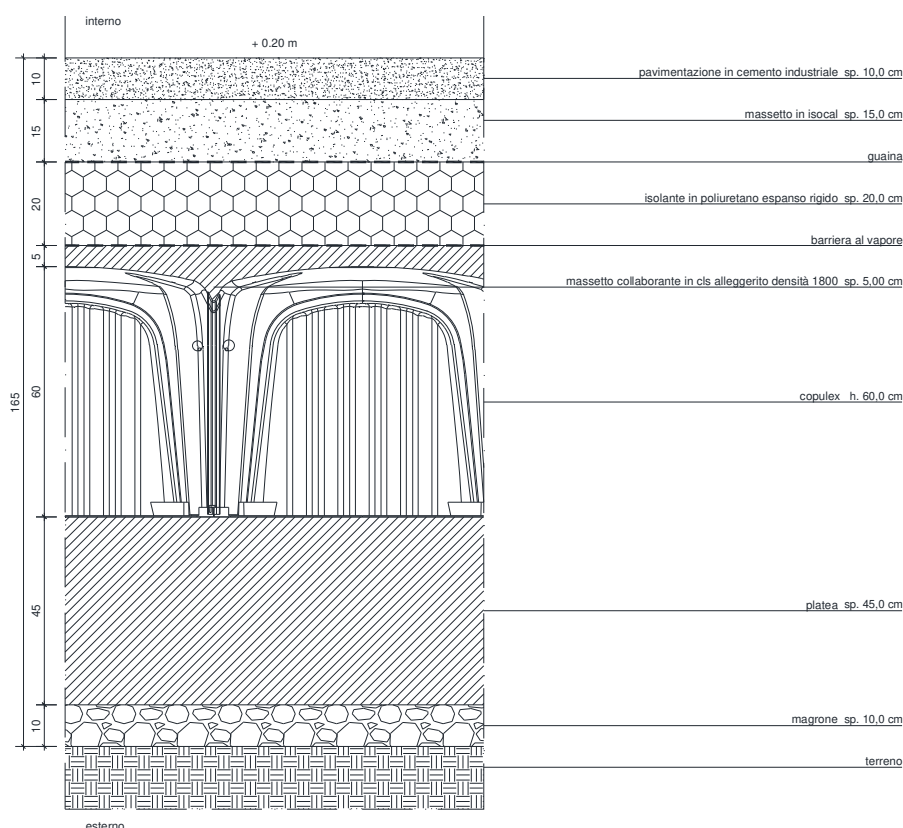
con

$$R_w = 73 \text{ dB}$$

La stima risulta cautelativa in quanto si è trascurato il contributo della controsoffittatura fonoassorbente che agisce incrementando il potere fonoisolante dell'elemento e riduce il rumore di calpestio (attenuazione della trasmissione diretta).

Il solaio a piano terra presenta una stratigrafia simile ma acusticamente migliore; in termini cautelativi si sono assunte le prestazioni sopra stimate come rappresentative anche di questo tipo di partizione.

S1



4.1) Stima di prestazione dei serramenti interni (porte)

Come abbiamo visto, il valore d'isolamento tra aule e disimpegni, seguendo le disposizioni di legge, deve essere di almeno 30 dB.

In base a questo obiettivo e conoscendo la prestazione d'isolamento delle pareti si è valutata la performance acustica che le porte devono fornire.

Le considerazioni sono state condotte su un ingresso dell'aula.

Separazione tra Spazio comune e Aula

Hp:

-altezza uniforme del locale ricevente pari a 3.3 m fino al controsoffitto fonoassorbente

-parete linearizzata

- $R_{w \text{ parete}} = 60 \text{ dB}$

- $R_{w \text{ porta}} = 30 \text{ dB}$

- volume ambiente ricevente $V = 250 \text{ m}^3$

Si ha:

$$t_{\text{porta}} = 10^{-(R_{w \text{ porta}}/10)} = 10^{-(30/10)} = 1.0 \text{ E-}3$$

$$t_{\text{muro}} = 10^{-(R_{w \text{ muro}}/10)} = 10^{-(60/10)} = 1.0 \text{ E-}6$$

$$S = 34.7 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{porta}} = 2.5 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{muro}} = 32.2 \text{ m}^2$$

$$t = 1.0 \text{ E-}3 \times (2.5/34.7) + 1.0 \text{ E-}6 \times (32.2/34.7) = 7.2 \text{ E-}5 + 9.3 \text{ E-}7 = 7.3 \text{ E-}5$$

$$R_w = 10 \log (1/t) = 10 \log (1/7.3 \text{ E-}5) = 41.4 \text{ dB}$$

Per la valutazione della prestazione delle porte, si è valutato il valore delle eventuali trasmissioni laterali

$K = 2 \text{ dB}$, quindi:

$$R'_w = R_w - K = 41.4 - 2 = 39.4 \text{ dB}$$

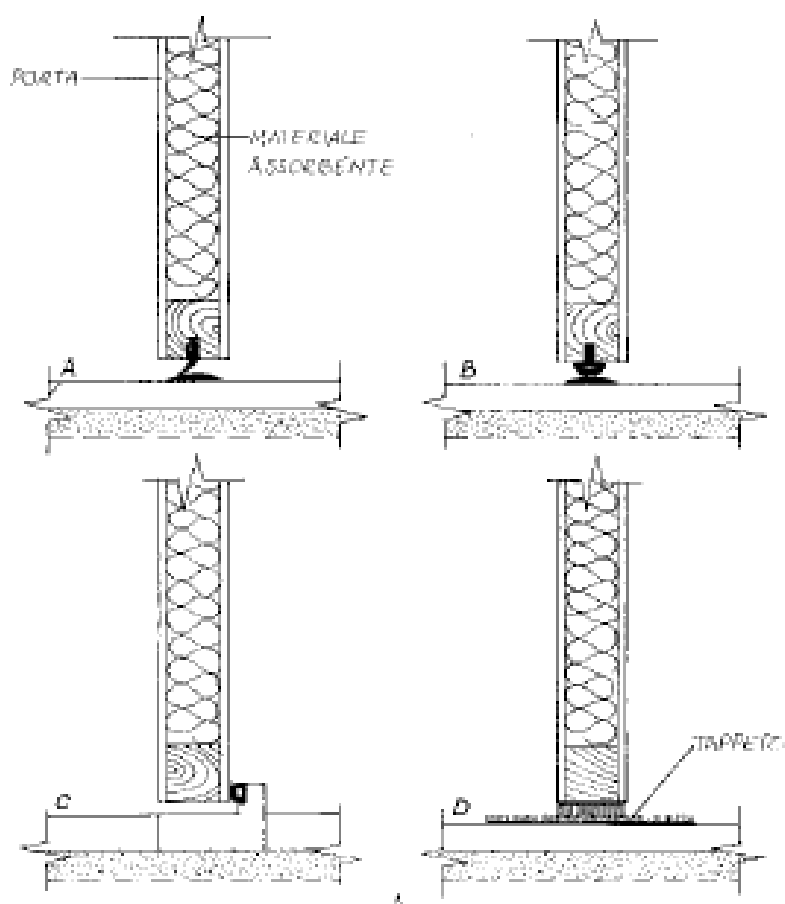
$$D_{nT,W} = R'_w + 10 \log V/3S = 39.4 + 3.8 = 43.2 \text{ dB}$$

In ragione delle considerazioni effettuate, per un buon comfort acustico, la prestazione consigliata per le porte delle aule è di almeno

$$R_{w \text{ porta}} = 30 \text{ dB}$$

Per ottenere risultati consoni dovranno essere seguite le seguenti prescrizioni:

- l'anima della porta dovrà presentare una struttura stratificata con elevata massa superficiale;
- il telaio dovrà essere giuntato e sigillato correttamente ai bordi in modo da eliminare ogni percorso di trasmissione aerea dei suoni;
- dovranno essere eliminate tutte le fessure sotto la porta e lungo le battute mediante l'uso di guarnizioni.



Ad esempio, la ditta **TECNIC'AL** ha certificato la porta modello **MONACO** con $R_w = 34$ dB; anche la ditta **PADILLA** produce serramenti capaci di ottenere ottimi risultati.

4.2) Determinazione dell'indice dell'isolamento acustico standardizzato di facciata

Tamponamento esterno

Come valutato in precedenza, i setti perimetrali presentano
con

$$m' = 575 \text{ kg/m}^2$$

$$R_w = 69 \text{ dB}$$

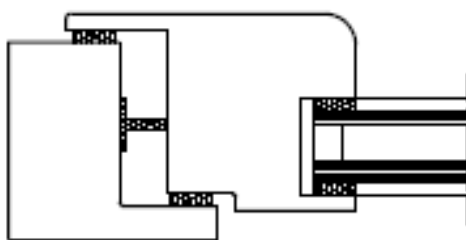
Sulla base di queste prestazioni, si sono valutate le caratteristiche richieste agli elementi finestrati.

Infissi

L'oscuramento di finestre e portefinestre sarà ottenuto da elementi interni.

I vetri dei serramenti interni dovranno essere costruiti a vetrocamera con caratteristiche d'isolamento come definite nelle schede di calcolo riportate di seguito. Il valore d'isolamento acustico degli elementi finestrati, inteso come indice del potere fonoisolante R_w , è stato determinato per le finestre e le portefinestre degli ambienti sensibili presenti nel fabbricato e s'intende riferito all'intera struttura che chiude il vano della muratura (vetro + infisso).

Per quanto riguarda il serramento, esso dovrà essere classificato, secondo quanto definito dalle norme UNI EN 12207 e dovrà avere caratteristiche di tenuta all'aria maggiori della classe 2 (classe 3 o meglio 4). La finestra dovrà essere a doppia battuta e il peso per unità di superficie dell'infisso dovrà essere il più possibile simile a quello del vetro per evitare vie preferenziali di propagazione del rumore.



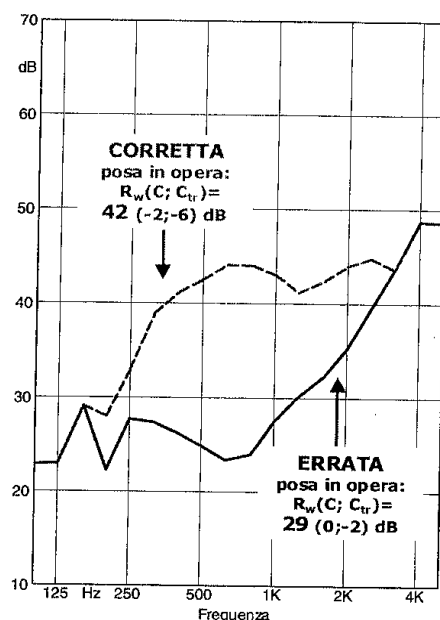
Occorre osservare che le norme UNI EN-N 12207 "Finestre e Porte – permeabilità all'aria – classificazione" e la UNI EN 12152 "Facciate continue permeabilità all'aria – requisiti prestazionali e classificazione" qualificano in base alla classe di tenuta all'aria il serramento stesso.

Le perdite d'isolamento del componente vetro + serramento, rispetto al potere fonoisolante dell'elemento vetrato, sono indicate in tabella.

| Classe del serramento | Perdita di isolamento[dB] |
|-----------------------|---------------------------|
| 1 | $\Delta R_w \geq 8$ |
| 2 | $5 \leq \Delta R_w < 8$ |
| 3 | $2 \leq \Delta R_w < 5$ |
| 4 | $\Delta R_w < 2$ |

Le giunzioni tra il vetro e i profili ed anche tra gli stessi profili possono causare importanti problemi; infatti, le giunzioni difettose hanno una influenza negativa sull'isolamento acustico nello spettro delle alte e medie frequenze.

La corretta messa in opera dei serramenti (sigillatura di possibili vie di fuga) è di fondamentale importanza sull'ottenimento dei risultati voluti.



Influenze di una cattiva posa in opera sul R_w di una finestra

Come citato in precedenza è necessario applicare alle parti mobili almeno una doppia guarnizione di tenuta. La guarnizione di tenuta deve essere vulcanizzata sull'intero perimetro senza interruzione alcuna. Per il telaio possono essere utilizzati:

- profilati in legno pesante;
- profilati in pvc pesante.
- profilati in alluminio con taglio termico;

Gli infissi dovranno essere applicati secondo i dettami della norma UNI 11296 e si dovrà agire evitando accuratamente connessioni aperte tra lo stipite, il controtelaio e la muratura; tutti i vuoti presenti tra questi tre elementi dovranno essere accuratamente sigillati, per tutto lo spessore, con malta cementizia e/o sigillanti elastici.

Deve essere fatta molta attenzione alle malte che in fase di ritiro possono creare fessure attraverso le quali può generarsi una significativa trasmissione di rumore.

Le bocchette per la ventilazione degli ambienti dovranno essere realizzate in modo da garantire un livello d'abbattimento acustico compatibile con quello degli elementi finestrati (con $D_{n,e,w} = 54$ dB o superiore).

Il termine di correzione dato dal fattore di forma (ΔL_{fs}) è stato assunto, secondo i casi, seguendo il prospetto indicato nella normativa tecnica che attribuisce un valore a tale grandezza in funzione della morfologia di facciata.

Per valutare la morfologia di facciata è stato assunto che:

- le facciate hanno forma piana o a terrazza continua o a terrazza discontinua limitata lateralmente;
- il coefficiente α_w è ≤ 0.3 ;
- l'altezza di veduta della sorgente più prossima è funzione dell'altezza dell'ambiente ricevente.

Conservativamente non si sono applicati termini di correzione ΔL_{fs} maggiori di 1.

Nella verifica si sono valutate le prestazioni delle facciate dei locali più sensibili per morfologia e destinazione d'uso e tra queste si sono escluse quelle che non presentano aperture finestrate.

Si è analizzato il comportamento delle due facciate campione tramite il software ECHO 8.2:

CALCOLO DELL'ISOLAMENTO ACUSTICO DI FACCIATA AULA A

Volume dell'ambiente 250,00 m³
Superficie della facciata 34,70 m²

Elementi che compongono la facciata

| | Elemento | Area [m ²] / Lunghezza [m] | R _w / D _{new} [dB] | |
|---|--------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------|--|
| 1 | Parete perimetrale | 22,70 | 69,00 | |
| 2 | Portafinestra | 6,00 | 44,00 | |
| 3 | Giunto sigillato | 9,80 | 53,00 | |
| 4 | Portafinestra | 6,00 | 44,00 | |
| 5 | Giunto sigillato | 9,80 | 53,00 | |

Correzioni

Trasmissione laterale K = 2 dB

Forma di facciata $\Delta L_{fs} = -1$ dB

Indice di valutazione dell'isolamento di facciata

R'_w 45,8 dB

D_{2m,nT,w} 48,4 dB

Categoria dell'edificio Edifici adibiti ad attività
scolastiche a tutti i livelli

D_{2m,nT,w} minimo 48,0 dB

Limite verificato

Esempio di tipologia di vetro

Il valore di R_w che gli elementi finestrati, degli ambienti a uso didattico, devono fornire è $R_w \geq 44 \text{ dB}$.

A ottenimento della prestazione di facciata sarà necessario l'impiego di vetri stratificati.

Per valutare il complesso vetrata + infisso si è fatto riferimento alla norma UNI:

$$R_{w \text{ finestra}} = R_w + K_P + K_{RA} + K_{DS} + K_{FG} + K_{F1,5} + K_{F3} + K_{GB}$$

K_P K_P finestre = -2 dB ; K_P porte = -5 dB

K_{RA} per telai minori al 30% rispetto alla superficie totale del serramento.

K_{DS} per serramenti con doppio telaio mobile e senza montante centrale.

K_{FG} per serramenti con telaio non in vista e con maggiore superficie trasparente.

$K_{F1,5}$ per serramenti con superficie minore a $1,5 \text{ m}^2$

K_{F3} per serramenti con lastre di vetro maggiori di 3 m^2 $K_{F3} = -2 \text{ dB}$

K_{GB} per serramenti a nastro.

Tramite della norma è possibile individuare il valore dei suddetti coefficienti.

I coefficienti che possiamo assumere significativi sono:

- K_P , assimilabile a -2,

e in alcuni casi

- $K_{F1,5}$ assimilabile a -1 (già considerato, dove presente, nelle schede di calcolo).

Ad esempio, un vetro in grado di assolvere le necessità del progetto, data la presenza del solo termine correttivo K_P finestre = -2 dB, dovrà avere un valore di $R_w = 47 \text{ dB}$

La stratigrafia del vetro potrebbe essere: 64.2a-20-44.2a

(il pedice a indica la presenza di una pellicola plastica con prestazioni acustiche)

Gli ambienti accessori non sono soggetti a particolari limiti comunque è opportuno utilizzare serramenti con buone caratteristiche fonoisolamenti, ad esempio, un potere fonoisolante dei serramenti $R_w \geq 40 \text{ dB}$ permette di raggiungere un $D_{2m, nT, w}$ di 43 dB in tutti gli ambienti accessori.

Inoltre, utilizzare questo tipo di serramenti nell'ambiente ad uso palestra consente il raggiungimento dei limiti di legge.

Ad esempio, un vetro in grado di fornire le suddette prestazioni, data la presenza del solo termine correttivo K_P finestre = -2 dB, dovrà avere un valore di $R_w = 42 \text{ dB}$

La stratigrafia del vetro potrebbe essere: 55.1a-12-33.1a

(il pedice a indica la presenza di una pellicola plastica con prestazioni acustiche)

In sequenza il prospetto tratto dalla normativa che indica stratigrafia peso e prestazioni di vetri di comune impiego.

Valori di laboratorio dell'Indice di potere fonoisolante di vetrate

| Composizione (vedere legenda) | Spessore totale (mm) | Massa kg/m ² | Potere fonoisolante $R_w (C; C_{tr})$ |
|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------------------|
| 6-12-8 | 26 | 35 | 35 (-1; -5) |
| 4-12-43.1ep | 23 | 25 | 35 (-1; -5) |
| 4-8-44.6 | 22 | 32 | 36 (0; -4) |
| 4-6-55.2 | 21 | 35,5 | 36 (1; -3) |
| 33.1a | 6 | 15 | 36 (-1; -3) |
| 6-9-44ep | 23 | 35 | 37 (-1; -5) |
| 8-12-10 | 30 | 45 | 37 (0; -3) |
| 5-6-64.4 | 23 | 37,5 | 38 (-1; -5) |
| 44.1a | 8 | 20 | 38 (0; -4) |
| 44.1a-6-4 | 19 | 30 | 38 (-1; -4) |
| 8-9-64.1 | 27 | 45 | 39 (0; -4) |
| 6-9-44ep | 27 | 45 | 39 (0; -4) |
| 10-12-12 | 34 | 55 | 39 (0; -3) |
| 55.1a | 10 | 25 | 39 (0; -3) |
| 64.4-6-33.1 | 24 | 42 | 40 (-1; -5) |
| 44.1a-6-6 | 21 | 35 | 40 (-2; -5) |
| 44.1a-16 argon-6 | 31 | 30 | 41 (-2; -7) |
| 64.4-9-53.1 | 29 | 45 | 42 (-1; -5) |
| 55.1a-12-33.1a | 29 | 40,5 | 43 (-1; -6) |
| 44.2a-12-12 | 33 | 51 | 43 (-1; -5) |
| 44.2a-20-12 | 41 | 51 | 44 (-1; -4) |
| 64.2a-20-44.2a | 40 | 47 | 47 (-1; -7) |
| 66.1a-20 SF ₆ -44.1a | 41 | 50,5 | 49 (-2; -7) |
| 66.2a-20 SF ₆ -44.2a | 40 | 47 | 51 (-5; -10) |

Legenda:
 - il numero dopo la virgola indica il numero di plastici;
 - il numero tra i due trattini indica l'intercapedine d'aria;
 - SF₆ = gas esafluoruro inserito;
 - a = presenza di foglio plastico con prestazioni acustiche;
 - ep = presenza di vetro basso emissivo.

IMPORTANTE: L'impiego di serramenti scorrevoli è solitamente fonte di problemi sulla tenuta del bordo perimetrale.

Dove necessarie chiusure scorrevoli è necessario l'impiego della tipologia "alza e scorri".

4.3) Determinazione dell'indice del livello di rumore di calpestio normalizzato

L'indice del livello di rumore di calpestio di solai normalizzato $L_{n,w}$ del solaio interpiano privo di pavimento galleggiante (solaio + massetto alleggerito) risulta essere: $L_{n,w, eg} = 70$ dB

valore stimato secondo quanto prescritto dalla norma UNI 11175, ricordando che la densità areica del solaio privo di pavimento galleggiante è di circa 475 kg/m^2 .

È evidente che per rispettare i valori previsti dalla legge vigente dovrà essere messo in opera un pavimento galleggiante.

Nel caso del rumore da calpestio, il parametro più rappresentativo per un materiale isolante è il valore della rigidità dinamica s' (più bassa è s' e migliore è l'isolamento).

Dal valore di rigidità dinamica del materiale resiliente è possibile stimare la prestazione acustica dell'intero solaio al rumore di calpestio.

Ricordando le relazioni indicate nella normativa si ha:

$$L'_{n,w} = L_{n,w, eg} - \Delta L_w + K$$

dove:

$$\Delta L = 30 \log (f / f_0) \text{ dB}$$

$$\text{con: } f_0 = 160 (s' / m'^2)^{0.5} \quad \text{e} \quad f \text{ di riferimento} = 500 \text{ Hz}$$

Esempio: il materiale resiliente BIPLUS della ditta ISOLMANT dello spessore di circa 14 mm, ha una rigidità dinamica che è $s' = 9 \text{ MN/m}^3$ (dati del produttore).

m'^2 nel caso di un massetto ripartitore di circa $5 \div 6 \text{ cm}$ inclusa pavimentazione è 115 kg/m^2 .

Con questi valori si otterrà un:

$$\Delta L_w = 31 \text{ dB}$$

Secondo recenti studi si ha più realisticamente:

$$\Delta L_w = 15 \log m'^2 / s' + 18$$

da cui si ottiene:

$$\Delta L_w = 34 \text{ dB}$$

Per la determinazione di K è necessario stimare la densità superficiale dei setti che perimetrizzano il solaio e la densità superficiale del solaio stesso.

Al fine di individuare un valore utile alla determinazione delle prestazioni al calpestio, si sono indagati due solai campione selezionati tra quelli che presentano le caratteristiche di isolamento acustico più penalizzate sia dalla geometria degli ambienti che dai materiali impiegati.

Ricordando la densità superficiale del solaio completo di pavimento galleggiante: $m' = 590 \text{ kg/m}^2$

possiamo ricavare le trasmissioni laterali tramite la tabella presente nella norma UNI 11175: $K = 5 \text{ dB}$

Quindi:

$$L'_{n,w} = L_{n,w, eg} - \Delta L_w + K = 70 - 31 + 5 = 44 \text{ dB}$$






Agendo cautelativamente si è trascurato il contributo fornito dalla controsoffittatura.

Analogamente alle trattazioni precedenti si è proceduto alla modellazione tramite il software ECHO 8.2 che, implementato con le formule previsionali (UNI EN ISO 12354) permette una valutazione più puntuale delle trasmissioni laterali.

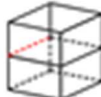


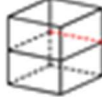
CALCOLO DEL LIVELLO DI RUMORE DA CALPESTIO TRA AMBIENTI

Calpestio tra PALESTRA ed AULA A






Elementi che compongono la struttura

| | | Elemento | Massa superficial e [kg/m ²] | $L_{n,eq,0,w}$ [dB] | R_w [dB] | Strato addizionale | $\Delta L_w/\Delta R_w$ [dB] |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------|------------|---------------------------------------------|---------------------------------|
| S |  | Solaio interpiano | 475,0 | 70,0 | 53,0 | Lato emittente: Massetto galleggiante | 34,0 |
| | | | | | | Lato ricevente: Placcaggio intradosso | 0,0 |
| 1 |  | Partizione tra aule e spazi comuni | 65,0 | | 60,0 | | 0,0 |
| 2 |  | Parete perimetrale | 550,0 | | 53,0 | Placcaggio interno | 16,0 |
| 3 |  | Partizione tra aule e spazi comuni | 65,0 | | 60,0 | | 0,0 |
| 4 |  | Partizione tra aule e spazi comuni | 65,0 | | 60,0 | | 0,0 |

Giunzioni

| Lato | | Tipo di collegamento | Lunghezza [m] |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------|
| 1 |  | A T tra elementi pesanti e leggeri (caso 2) | 7,3 |
| 2 |  | A T tra elementi pesanti e leggeri (caso 1) | 10,5 |
| 3 |  | A T tra elementi pesanti e leggeri (caso 2) | 7,3 |
| 4 |  | A T tra elementi pesanti e leggeri (caso 2) | 10,5 |

Lij - Rumore da calpestio per trasmissione laterale relativo al percorso i-j

| Percorso | | Tipo di collegamento | Lij [dB] |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------|
| S |  | Trasmissione diretta | 35,96 |
| S-1 |  | A T tra elementi pesanti e leggeri (caso 2) | 3,60 |
| S-2 |  | A T tra elementi pesanti e leggeri (caso 1) | 8,68 |
| S-3 |  | A T tra elementi pesanti e leggeri (caso 2) | 3,60 |
| S-4 |  | A T tra elementi pesanti e leggeri (caso 2) | 5,18 |

Indice di valutazione del livello di pressione sonora di calpestio

L'_{n,w} 36,0 dB

Categoria dell'edificio Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli

L'_{n,w} massimo 58,0 dB

Limite verificato

Al piano terreno è presente un importante strato di coibente termico (20 cm), il quale possiede anche qualità resilienti. In ragione del fatto che nel suddetto solaio non dovremo considerare la trasmissione diretta del rumore di calpestio, il solo coibente è sufficiente a mantenere entro bassi valori, il parametro relativo al rumore di calpestio. Al fine di valutare la rigidità dinamica del coibente si è valutato lo strato di Styrodur, o similari, da 16 cm il quale propone, nelle condizioni peggiori, una rigidità dinamica di 120 MN/m³; valore assunto cautelativamente come riferimento non disponendo di informazioni in merito a stratigrafie maggiori (20 cm).

Parametri meccanici (valori medi, valori di riferimento)

Rigidità dinamica


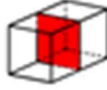
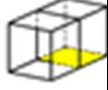
Rigidità dinamica di Styrodur® 3035 CS, 4000 CS e 5000 CS

| Spessore lastre | mm | 30 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 |
|-------------------|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Styrodur® 3035 CS | MN/m ² | 500 | 380 | 260 | 190 | 150 | 130 | 100 | 80 |
| Styrodur® 4000 CS | MN/m ² | 550 | 400 | 280 | 210 | 170 | 150 | 120 | 100 |
| Styrodur® 5000 CS | MN/m ² | 600 | 420 | 300 | 230 | 190 | 170 | 140 | 120 |

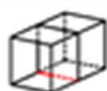
CALCOLO DEL LIVELLO DI RUMORE DA CALPESTIO TRA AMBIENTI

Calpestio tra VANOTECNICO ed AULA A

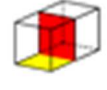
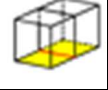
Elementi che compongono la struttura

| | | Elemento | Massa superficiale e [kg/m ²] | $L_{n,eq,0,w}$ [dB] | R_w [dB] | Strato addizionale | $\Delta L_w/\Delta R_w$ [dB] |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------|------------|-----------------------|------------------------------|
| S |  | Solaio | 475,0 | 70,0 | 53,0 | Massetto galleggiante | 34,0 |
| 1 |  | Partizione tra aule e spazi comuni | 65,0 | | 60,0 | | 0,0 |
| 2 |  | Solaio | 475,0 | | 53,0 | | 0,0 |

Giunzioni

| Lato | | Tipo di collegamento | Lunghezza [m] |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------|
| 2 |  | A T tra elementi pesanti e leggeri (caso 1) | 7,3 |

Lij - Rumore da calpestio per trasmissione laterale relativo al percorso i-j

| Percorso | | Tipo di collegamento | L_{ij} [dB] |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------|
| S-1 |  | A T tra elementi pesanti e leggeri (caso 1) | 3,60 |
| S-2 |  | A T tra elementi pesanti e leggeri (caso 1) | 30,67 |

Indice di valutazione del livello di pressione sonora di calpestio

$L'_{n,w}$ 30,7 dB

Categoria dell'edificio Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli

$L'_{n,w}$ massimo 58,0 dB

Limite verificato

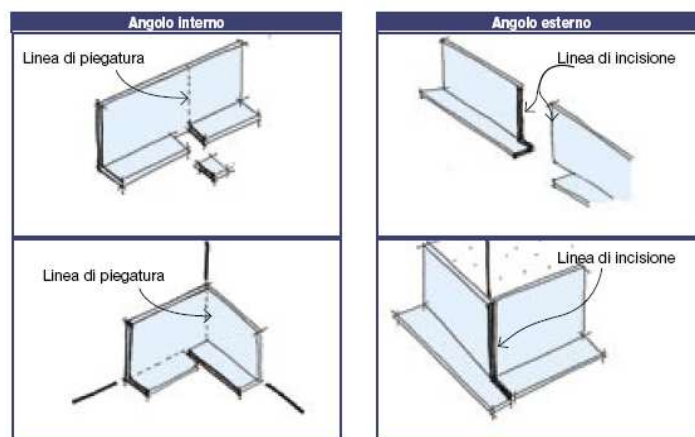
Anche se all'interno della stessa unità il rumore di calpestio percepito è molto basso.

La realizzazione del pavimento galleggiante dovrà seguire i seguenti passaggi:

- messa a livello del sottofondo, raccordando gli impianti presenti con impasto magro cementizio o inerti leggeri, cemento cellulare, ecc.... (per far lavorare in modo corretto il materiale resiliente è necessaria una buona planarità per cui gli impianti dovranno essere accuratamente affogati nel massetto alleggerito)
- posa di materiale resiliente
- applicazione alla base dei muri una fascia perimetrale di materiale resiliente, in modo da svincolare completamente il massetto e creando così una vasca. Tale fascia dovrà essere di altezza adeguata a superare la quota dei pavimenti finiti e rifilata a pavimento finito a livello del pavimento stesso.
- realizzazione di un massetto ripartitore armato con rete metallica.

Al fine di ridurre al minimo le fuoriuscite di rumore dai collegamenti al contorno del solaio e soprattutto per sfruttare appieno le caratteristiche di isolamento del pavimento galleggiante, dovranno essere adottati i seguenti accorgimenti:

- il massetto di livellamento degli impianti dovrà garantire una sufficiente planarità in modo da poter far lavorare correttamente il materiale isolante;
- è necessario l'impiego di una fascia perimetrale, su tutto il perimetro, per un'altezza pari a quella del pavimento finito; tale fascia è di fondamentale importanza in quanto è assolutamente necessario evitare il contatto rigido tra il pavimento e le pareti;

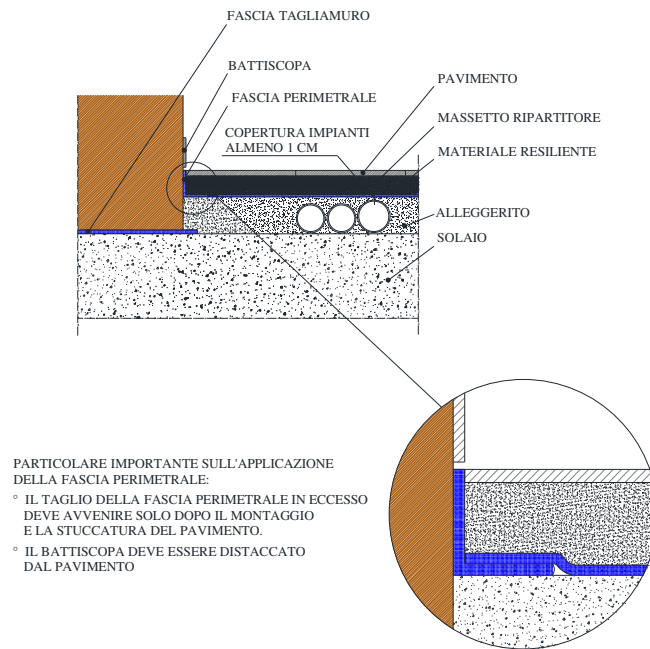


- il materiale isolante da utilizzare per il pavimento galleggiante va accuratamente accostato in modo da garantire la continuità dell'isolamento; a tale proposito si dovrà agire in modo da impedire la connessione tra massetto ripartitore e parti fisse della struttura (es. utilizzando nastro adesivo per collegare i punti di giunzione del materiale resiliente).

- a riduzione del rumore di calpestio è necessario svincolare, mediante giunti elastici, rampe scale e pianerottoli dai muri di separazione. Nel malaugurato caso in cui non sia possibile procedere allo svincolamento è necessario applicare sulla pedata degli scalini e/o dei pianerottoli, uno strato resiliente (esempio pedata in parquet).

- l'applicazione del materiale resiliente è necessaria anche nei pianerottoli e nei locali ad uso comune.
- è necessario separare i massetti in ambienti diversi mediante uno svincolamento in corrispondenza della soglia.

- il battiscopa andrà applicato staccato dal pavimento per impedire che la trasmissione solida si propaghi attraverso questo ultimo alle pareti (eventuali stuccature dovranno essere realizzate mediante l'impiego di materiali elastici (es. silicone).
- è molto importante disgiungere mediante stucchi elastici la giunzione tra pavimento e banchine d'adito a terrazzamenti e degli ingressi



Non rispettare in maniera rigorosa tali accorgimenti incide in modo sostanziale sulla prestazione stimata.

- tutte le scale dovranno essere svincolate dalle strutture verticali e orizzontali di contorno mediante giunti elastici al fine di eliminare le trasmissioni di vibrazioni prodotte dal calpestio sui gradini. Al fine di ridurre ulteriormente la trasmissione si dovrà posare, sotto il rivestimento di ogni scalino e dei pianerottoli, un materassino antivibrante o applicare il pavimento mediante malta cementizia elastica (es. FONOPLAST INDEX).
- tutte le pareti verticali a contatto con le scale dovranno essere scollegate dal solaio, dai gradini, dal pianerottolo e dai pilastri mediante materiale elastico o mediante malta cementizia elastica.



4.4) Determinazione del tempo di riverberazione, STI e C_{50}

Gli ambienti sottoposti a esame sono quelli destinati all'attività didattica e sportiva.

Le aule destinate alla didattica hanno morfologia simile, quindi, è stata indagata la prestazione acustica di una di queste, quella più penalizzata per forma e disposizione.

In base alle leggi e norme assunte come riferimento si evince che il tempo di riverberazione degli ambienti in esame dovrà essere:

Aula A

- Circolare Ministeriale del 22 maggio 1967:

$$\text{media } 250; 500; 1000; 2000 \text{ } T_{\text{rev}} \leq 1.2 \text{ [s]}$$

- Decreto Ministeriale del 18 dicembre 1975;

con il volume dell'aula di circa 250 m³

$$T_{\text{rev}} \leq 0.8 \text{ [s]}$$

- Norma UNI 11367;

con il volume della sala di circa 250 m³

$$T_{\text{ott}} [500+100] = 0.8 \text{ [s]}$$

- Norma UNI 11532-2;

con il volume della sala di circa 250 m³

$$T_{\text{ott}, A4} = 0.76 \text{ [s]} \text{ e } STI > 0.5$$

Palestra

- Circolare Ministeriale del 22 maggio 1967:

$$\text{media } 250; 500; 1000; 2000 \text{ } T_{\text{rev}} \leq 2.2 \text{ [s]}$$

- Decreto Ministeriale del 18 dicembre 1975;

con il volume dell'aula di circa 5965 m³

$$T_{\text{rev}} \leq 2.5 \text{ [s]}$$

- Norma UNI 11367;

con il volume della sala di circa 5965 m³

$$T_{\text{ott}} [500+100] = 2.3 \text{ [s]}$$

- Norma UNI 11532-2;

con il volume della sala di circa 5965 m³

$$T_{\text{ott}, A5} = 1.8 \text{ [s]}$$

Individuati i limiti legislativi, si è proceduto valutando il tempo di riverberazione dell'ambiente.

La conoscenza delle superfici d'ogni materiale all'interno dei locali e dei coefficienti d'assorbimento degli stessi alle frequenze d'interesse (banca dati norma UNI EN 12354-6; appendice 4 di "Manuale di acustica applicata" UTET; database dei programmi di simulazione) ha permesso la valutazione del tempo di riverberazione.

Al fine della valutazione si sono approssimate le superfici d'ogni tipologia di materiale presente negli ambienti; tali ambienti sono stati considerati non arredati e non si è valutato il contributo fonoassorbente di banchi e/o poltroncine, seggiole, ecc...

Caratteristiche degli ambienti, utilizzate per la stima:

- pavimentazione in pc
- pareti in cartongesso
- controsoffittatura in cartongesso (ipotesi per verifica)
- controsoffittatura fonoassorbente
- superficie delle porte interne in formica/legno
- superficie dei serramenti in vetro
- assenza di tendaggi (la presenza di tendaggi contribuisce a diminuire il tempo di riverberazione)

La norma UNI 11532-2 prevede di ipotizzare, l'aula oggetto di indagine, occupata all'80%. Poiché tale condizione determina un netto incremento della superficie fonoassorbente nell'ambiente stesso, se il limite è rispettato ad aula vuota, tanto più bassa la riverberazione acustica. Seguendo tale considerazione si è agito conservativamente facendo in modo di rispettare il limite sulla riverberazione acustica anche ad aula vuota.

Si è proceduto alla stima del tempo di riverberazione, di STI e C_{50} con l'impiego del software ECHO 8.2 di ANIT che considera anche il comportamento in frequenza.

In prima analisi si sono valutati i parametri acustici dell'ambiente privo di sistemi fonoassorbenti.

Le simulazioni hanno fornito i seguenti risultati:

CALCOLO DEL TEMPO DI RIVERBERAZIONE AULA A SENZA CONTROSOFFITTO FONOASSORBENTE

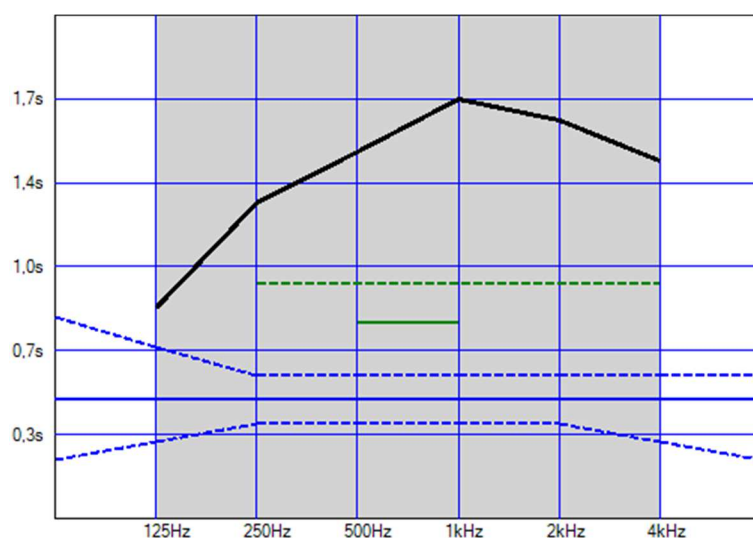
Volume dell'ambiente 250,00 m³

Aree di assorbimento equivalente

| Materiale | Superficie [m ²] | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1 kHz | 2 kHz | 4 kHz |
|---------------------------------------|------------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| Coperture in PVC su pavimenti pesanti | 76,80 | 1,54 | 2,30 | 3,07 | 3,84 | 3,84 | 4,61 |
| Finestre | 12,00 | 3,36 | 2,40 | 1,32 | 0,72 | 0,36 | 0,24 |
| Porte in legno laccate | 2,50 | 0,25 | 0,20 | 0,15 | 0,13 | 0,13 | 0,13 |
| Cartongesso appendinato | 76,80 | 23,04 | 11,52 | 7,68 | 5,38 | 5,38 | 5,38 |
| Cartongesso, 2 strati su montanti | 77,30 | 15,46 | 9,28 | 7,73 | 5,41 | 5,41 | 5,41 |
| Sedia singola imbottita | 20 unità | 2,00 | 4,00 | 5,00 | 6,00 | 7,00 | 7,00 |
| Scaffali | 3,00 | 0,90 | 1,17 | 1,17 | 0,93 | 0,87 | 0,63 |

Risultati

| | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1 kHz | 2 kHz | 4 kHz |
|--------------------------------------|-----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| T calcolato | 0,86 s | 1,28 s | 1,50 s | 1,71 s | 1,62 s | 1,46 s |
| Intervalli di conformità (UNI 11532) | 0,31-0,70 s | 0,39-0,58 s | 0,39-0,58 s | 0,39-0,58 s | 0,39-0,58 s | 0,31-0,58 s |
| T ottimale (UNI 11532) | 0,48 s | | | | | |
| T ottimale (UNI 11367) | | | 0,80 s | | | |
| T massimo (UNI 11367) | | 0,96 s | | | | |
| T massimo (DPCM 5/12/97) | 1,20 s | | | | | |
| T medio (250 Hz - 2000 Hz) | 1,53 s | | | | | |
| | Limite non verificato | | | | | |



T calcolato

T ottimale
UNI 11367

T massimo
UNI 11367

T ottimale
UNI 11532

Intervallo di
conformità

È evidente la necessità di migliorare la risposta acustica dell'ambiente; quindi, si è ipotizzato di applicare elementi fonoassorbenti.

L'intervento più ovvio è quello di sostituire la controsoffittatura in cartongesso con una fonoassorbente.

CALCOLO DEL TEMPO DI RIVERBERAZIONE AULA A CON CONTROSOFFITTO FONOASSORBENTE

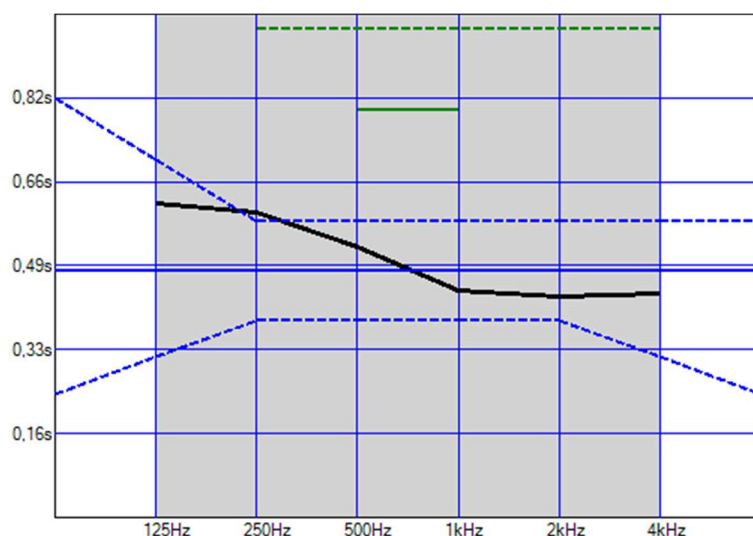
Volume dell'ambiente 250,00 m³

Aree di assorbimento equivalente

| Materiale | Superficie [m ²] | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1 kHz | 2 kHz | 4 kHz |
|---------------------------------------|------------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| Coperture in PVC su pavimenti pesanti | 76,80 | 1,54 | 2,30 | 3,07 | 3,84 | 3,84 | 4,61 |
| Finestre | 12,00 | 3,36 | 2,40 | 1,32 | 0,72 | 0,36 | 0,24 |
| Porte in legno laccate | 2,50 | 0,25 | 0,20 | 0,15 | 0,13 | 0,13 | 0,13 |
| Cartongesso, 2 strati su montanti | 77,30 | 15,46 | 9,28 | 7,73 | 5,41 | 5,41 | 5,41 |
| Cartongesso appendinato | 3,90 | 1,17 | 0,59 | 0,39 | 0,27 | 0,27 | 0,27 |
| Sedia singola imbottita | 20 unità | 2,00 | 4,00 | 5,00 | 6,00 | 7,00 | 7,00 |
| Scaffali | 3,00 | 0,90 | 1,17 | 1,17 | 0,93 | 0,87 | 0,63 |
| INN ACOUSTIC APPENDINATO | 72,90 | 40,10 | 46,66 | 56,13 | 71,44 | 72,90 | 68,53 |

Risultati

| | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1 kHz | 2 kHz | 4 kHz |
|--------------------------------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| T calcolato | 0,62 s | 0,60 s | 0,53 s | 0,45 s | 0,43 s | 0,44 s |
| Intervalli di conformità (UNI 11532) | 0,31-0,70 s | 0,39-0,58 s | 0,39-0,58 s | 0,39-0,58 s | 0,39-0,58 s | 0,31-0,58 s |
| T ottimale (UNI 11532) | 0,48 s | | | | | |
| T ottimale (UNI 11367) | | | 0,80 s | | | |
| T massimo (UNI 11367) | | 0,96 s | | | | |
| T massimo (DPCM 5/12/97) | 1,20 s | | | | | |
| T medio (250 Hz - 2000 Hz) | 0,50 s | | | | | |
| | Limite verificato | | | | | |



T calcolato

T ottimale
UNI 11367

T massimo
UNI 11367

T ottimale
UNI 11532

Intervallo di
conformità

STI - INDICE DI TRASMISSIONE DEL PARLATO

Modello di calcolo
Parlatore

Campo riverberato diffuso con contributo del suono diretto trascurabile
Femmina
Sforzo vocale normale
Livello di pressione sonora a 1 m: 60 dBA

| | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1000 Hz | 2000 Hz | 4000 Hz | 8000 Hz |
|-------------------------------------------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| Tempo di riverberazione | | | | | | | |
| T [s] | 0,62 | 0,60 | 0,53 | 0,45 | 0,43 | 0,44 | -- |
| Direttività della sorgente | | | | | | | |
| Q | 1,3 | 1,3 | 1,6 | 2,0 | 1,6 | 2,0 | -- |
| ID | 1,0 | 1,0 | 2,0 | 3,0 | 2,0 | 3,0 | -- |
| Distanza critica | | | | | | | |
| r_c [m] | 1,14 | 1,16 | 1,23 | 1,34 | 1,36 | 1,35 | -- |
| $5 \cdot r_c$ [m] | 5,70 | 5,78 | 6,15 | 6,70 | 6,80 | 6,74 | -- |
| Livello del rumore di fondo | | | | | | | |
| L_n [dB] | 25,0 | 25,0 | 25,0 | 25,0 | 25,0 | 25,0 | -- |
| Livello del parlato | | | | | | | |
| $L_{s,1m}$ [dB] | 60,0 | 65,3 | 58,1 | 50,9 | 44,2 | 43,3 | -- |
| L_{sr} [dB] | 57,9 | 63,0 | 54,3 | 45,4 | 39,5 | 37,7 | -- |
| L_{sd} [dB] | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | -- |
| Indice di trasferimento della modulazione | | | | | | | |
| MTI | 0,63 | 0,70 | 0,72 | 0,75 | 0,72 | 0,70 | -- |
| Indice di trasmissione del parlato | | | | | | | |
| STI | 0,63 | | | | | | |
| STI minimo | 0,50 | | | | | | |
| Qualità parlato | Buono | | | | | | |

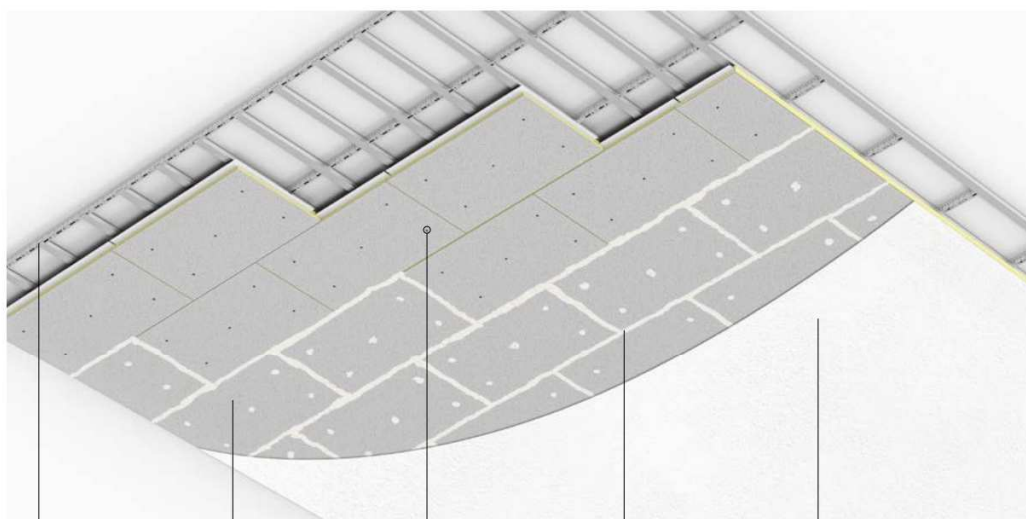
| | | | | | | | |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| Chiarezza | | | | | | | |
| C50 | 3,2 | 3,4 | 4,3 | 5,7 | 6,0 | 5,8 | -- |
| C50 medio | 5,3 | | | | | | |
| C50 minimo | - | | | | | | |

Nella stima effettuata si è ipotizzato l'impiego di materiali della ditta ISOLDESIGN modello INN ACOUSTIC con intercapedine.



IL SISTEMA

Schema del sistema INN ACOUSTIC



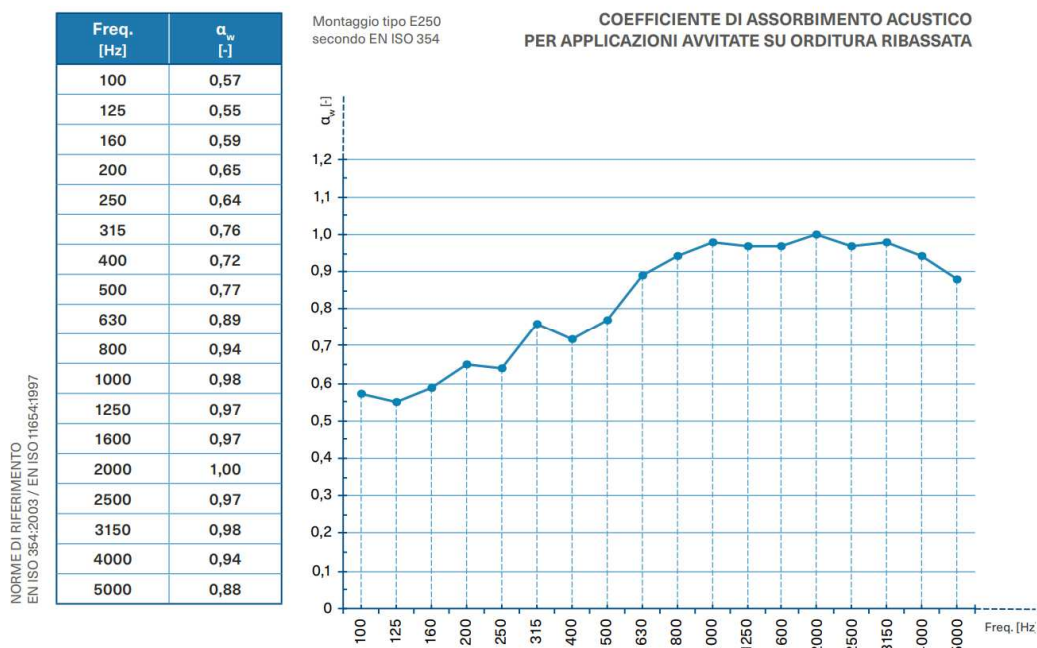
ORDITURA METALLICA
(se prevista)

PANNELLI AVVITATI IN ADERENZA
incollaggio con colla cementizia e fissaggio meccanico

FISSAGGIO MECCANICO
viti e rondelle (dove previsto)

STUCCATURA ACUSTICA SENZA GARZA
lavorazione in opera per sigillare le fughe tra i pannelli e i fori delle viti, mantenendo la fonoassorbente su tutta la superficie.

RIVESTIMENTO FINALE
a base di microgranulato nanotecnologico, copre il sistema rendendolo monolitico



L'intercapedine alloggia l'impiantistica ed ha spessori variabili, comunque, non inferiori a 25 cm.

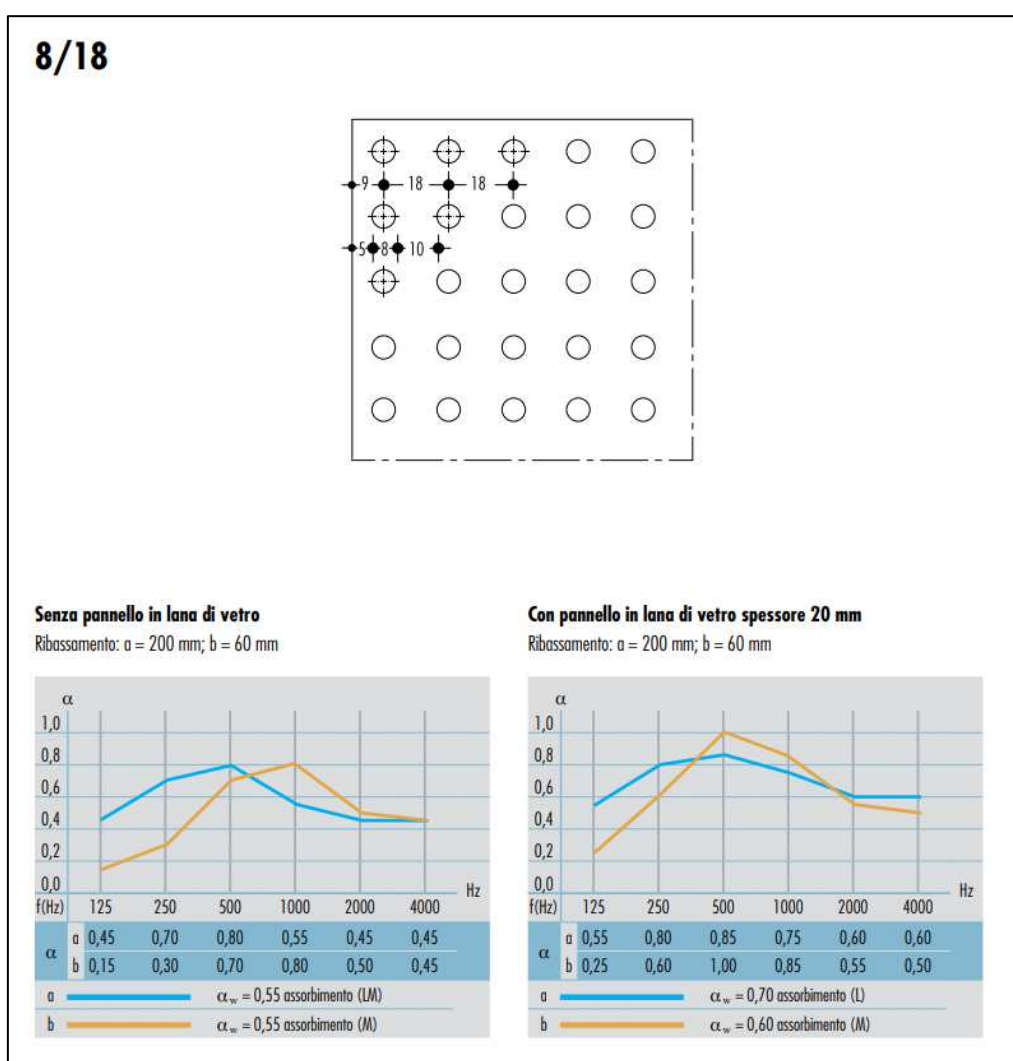
È possibile impiegare anche altre tipologie di materiali che presentino, però, un coefficiente di assorbimento simile è, quindi, importante che la curva del coefficiente di assorbimento acustico sia simile a quella rappresentata.

Una verifica analoga è stata condotta nell'ambiente ad uso palestra; in questo locale è prevista l'applicazione di una controsoffittatura fonoassorbente realizzata con cartongesso forato e lana minerale in estradosso con una intercapedine prima del solaio di copertura dello spessore di circa 15 cm.

Il controsoffitto fonoassorbente dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- lastra di gesso rivestito con foratura 8/18 sul 15.5% spessore 1.25 cm
- lana minerale con densità 40 kg/m³ spessore 5 cm
- intercapedine spessore 15 cm

Ad esempio la ditta Knauf fornisce:



È possibile impiegare anche altre tipologie di materiali che presentino, però, un coefficiente di assorbimento simile, quindi, importante che la curva del coefficiente di assorbimento acustico sia simile a quella rappresentata.

CALCOLO DEL TEMPO DI RIVERBERAZIONE PALESTRA CON CONTROSOFFITTO FONOASSORBENTE

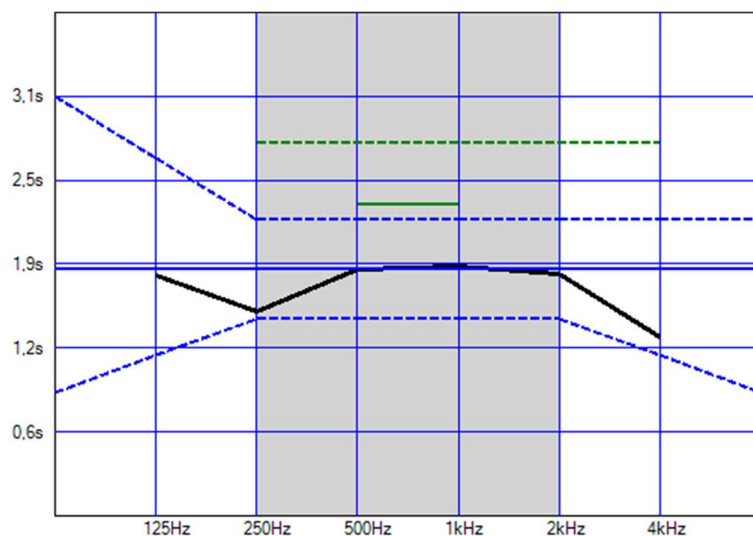
Volume dell'ambiente 5965,00
m³

Aree di assorbimento equivalente

| Materiale | Superficie [m ²] | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1 kHz | 2 kHz | 4 kHz |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Coperture in PVC su pavimenti pesanti | 611,80 | 12,24 | 18,35 | 24,47 | 30,59 | 30,59 | 36,71 |
| Finestre | 118,40 | 33,15 | 23,68 | 13,02 | 7,10 | 3,55 | 2,37 |
| Grandi aperture | 9,40 | 9,40 | 9,40 | 9,40 | 9,40 | 9,40 | 9,40 |
| Porte in legno laccate | 3,40 | 0,34 | 0,27 | 0,20 | 0,17 | 0,17 | 0,17 |
| Cartongesso, 2 strati su montanti | 862,00 | 172,40 | 103,44 | 86,20 | 60,34 | 60,34 | 60,34 |
| Lastre in gesso rivestito, foratura 8/18 sul 15,5% + feltro in lana minerale + intercapedine | 611,80 | 305,90 | 464,97 | 373,20 | 385,43 | 385,43 | 513,91 |

Risultati

| | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1 kHz | 2 kHz | 4 kHz |
|--------------------------------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| T calcolato | 1,78 s | 1,52 s | 1,83 s | 1,85 s | 1,80 s | 1,32 s |
| Intervalli di conformità (UNI 11532) | 1,19-2,66 s | 1,47-2,20 s | 1,47-2,20 s | 1,47-2,20 s | 1,47-2,20 s | 1,19-2,20 s |
| T ottimale (UNI 11532) | 1,83 s | | | | | |
| T ottimale (UNI 11367) | | | 2,31 s | | | |
| T massimo (UNI 11367) | | 2,77 s | | | | |
| T massimo (DPCM 5/12/97) | 2,20 s | | | | | |
| T medio (250 Hz - 2000 Hz) | 1,75 s | | | | | |
| | Limite verificato | | | | | |



T calcolato

T ottimale
UNI 11367

T massimo
UNI 11367

T ottimale
UNI 11532

Intervallo di
conformità

I valori stimati, dato che le pareti opposte della sala, differiscono in modo significativo in termini di assorbimento acustico e non sono presenti elementi di dispersione, si sono ottenuti raggiungendo i limiti di applicabilità del modello e quindi si potrebbero ottenere lievi scostamenti.

Ad ambienti arredati e con la presenza di due persone, è lecito attendersi di misurare in opera valori di tempo di riverberazione in linea con gli intervalli di conformità ottimale previsti dalla norma UNI 11532. Comunque, la soluzione migliore per ben regolare il tempo di riverberazione, e le altre grandezze acustiche, è quella di procedere, in fase di realizzazione, a misure in sito e procedere all'applicazione di materiale fonoassorbente passo-passo (eventualmente alle pareti). Per migliorare la vivibilità degli ambienti, è necessario l'impiego di pannelli fonoassorbenti anche nei locali adibiti a ufficio e accessori (disimpegni, corridoi, etc..).

In seguito alle necessarie misure di verifica ad opera ultimata, è possibile valutare altri interventi correttivi che potrebbero essere condotti al fine di ottimizzare la risposta acustica.

Seguendo tale ottica è possibile intervenire con quadri fonoassorbenti.

I vantaggi offerti da questo tipo di intervento sono notevoli in quanto:

- e possibile selezionare elementi con un mirato coefficiente di assorbimento;
- è molto facile da realizzare;
- è facilmente removibile (eventualmente per procedere alla pulizia);
- non teme gli urti;
- permette la regolazione passo-passo del tempo di riverbero (in seguito a misure si può pensare di aumentare il numero di pannelli fino al raggiungimento del risultato voluto);
- ha costi contenuti;
- può essere serigrafato per ottenere l'effetto estetico desiderato;
- è disponibile in qualsiasi formato.



5) IMPIANTI

Gli impianti tecnologici sono spesso origine di rumori e vibrazioni sia all'interno sia all'esterno degli edifici.

Analizzando gli impianti che normalmente possono causare rumore all'interno degli ambienti, tra le principali sorgenti troviamo:

- terminali per la diffusione, trattamento e distribuzione dell'aria (bocchette, split, canalizzazioni, ventilatori, ecc....)
- tubazioni per la distribuzione dell'acqua
- tubazioni di scarico degli impianti sanitari
- apparecchiature per la produzione di calore (caldaie, refrigeratori, ecc....)
- ascensori.

Per la riduzione del rumore prodotto dagli impianti è necessaria una sinergia tra progettazione edilizia e quella impiantistica, quest'ultima subordinata alla prima.

I limiti posti dalla normativa vigente (per fabbricati ad uso residenziale) sono:

- L_{ASmax} minore o uguale a 35 dB (per servizi a funzionamento discontinuo);
- L_{Aeq} minore o uguale a 35 dB (per servizi a funzionamento continuo);

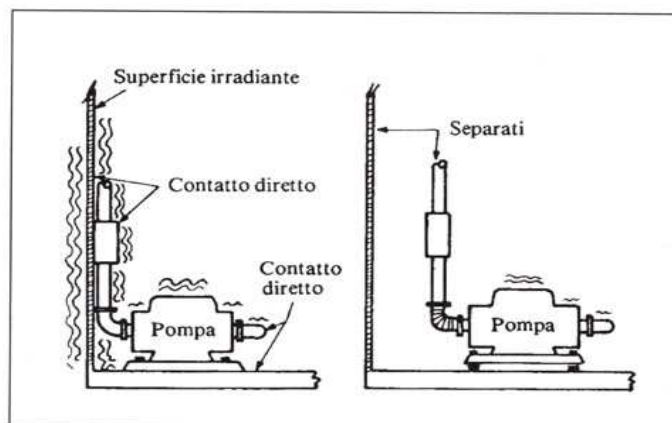
Trasmissione strutturale

L'interazione, tra impianti e strutture, è spesso causa di notevoli disturbi, specialmente per quanto riguarda gli impianti idrico sanitari. Per chiarire questa problematica può essere utile il seguente esempio.

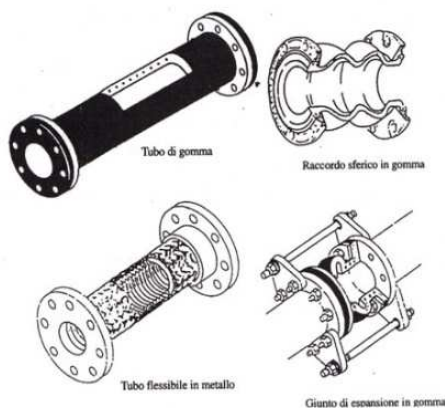
Un'elettropompa collegata rigidamente ad una tubazione per la distribuzione di un fluido, collegata rigidamente alla struttura, si rivela una notevole sorgente di rumore, in quanto le vibrazioni generate dall'elettropompa sono trasmesse alla tubazione e da queste alla struttura, trasformandola così in sorgente rumorosa.

Una possibile soluzione a tale problema è quella di introdurre giunti elastici (solitamente gomma) sia alla base della pompa sia nei sostegni delle tubazioni.

Con tale accorgimento è possibile ridurre notevolmente il rumore che questo tipo d'apparecchiature produce.



Il passo successivo è quello di rendere meno rigida la tubazione con l'inserimento di giunti elastici.



Con l'applicazione di tali giunti la vibrazione prodotta dalla eventuale pompa è notevolmente ridotta e quindi è ridotto il rumore prodotto.

5.1) Impianti a funzionamento continuo

Impianto di riscaldamento

Per impianti a funzionamento continuo s'intendono quelli il cui funzionamento è attivato da sistemi di regolazione automatici. Rientrano in questo caso gli impianti di riscaldamento e gli eventuali impianti di condizionamento o trattamento aria.

Impianto di condizionamento

Tali impianti sono generalmente costituiti dal gruppo di refrigerazione, in una o più unità, il qual è posizionato all'interno degli alloggi, e dallo scambiatore che è posto all'esterno. Per il gruppo refrigeratore vale quanto detto per la caldaia; il suo fissaggio deve prevedere un sistema antivibrante e la stessa cosa vale per la distribuzione se costituita da tubazioni rigide.

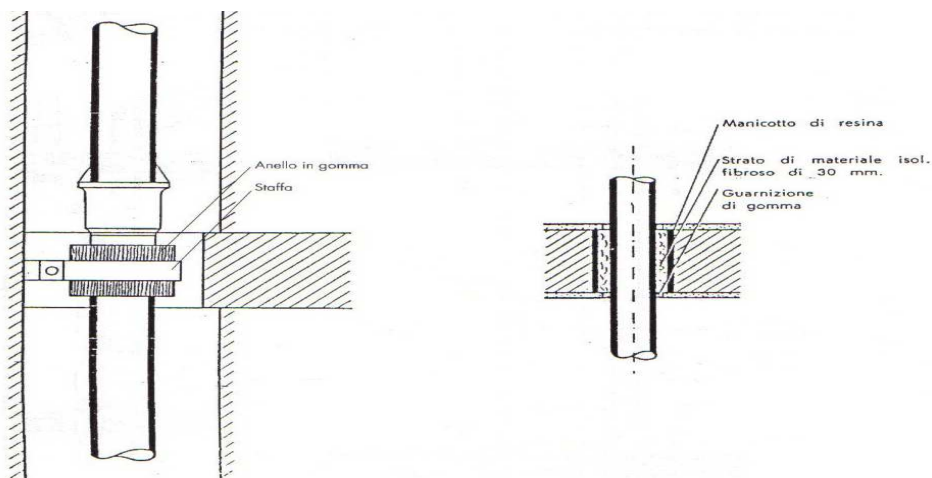
Lo scambiatore esterno dovrà essere scelto privilegiando prodotti a bassa emissione sonora (di tipo silenziato).

5.2) Impianti a funzionamento discontinuo

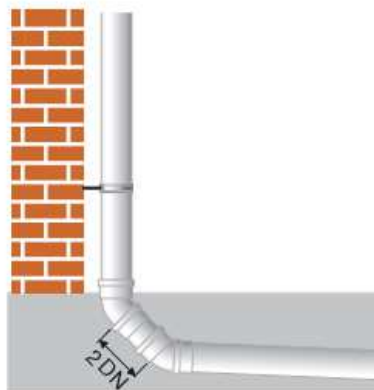
Per impianti a funzionamento discontinuo s'intendono quelli il cui funzionamento è attivato dalle persone. Rientrano in questo caso gli impianti idrici con i loro componenti, rubinetti, cassette di scarico dei wc, ecc. Il rumore di questo tipo d'impianti si può generare in uno o più punti del sistema, e si trasmette efficacemente sia attraverso le tubazioni sia attraverso il fluido, irradiandosi all'interno del fabbricato anche in posizioni distanti dal punto d'emissione.

Prescrizioni per il sistema di distribuzione e scarico di impianti discontinui

- Nei gomiti il rapporto tra il raggio di curvatura ed il diametro del tubo deve essere almeno pari a 4;
- Dovranno essere scelte valvole a ridotto rischio di cavitazione;
- Le valvole devono essere progettate per ridurre la rumorosità utilizzando elementi capaci di regolare il flusso del fluido, per esempio rubinetti del tipo monocomando miscelatori (classificazione gruppo acustico 1 con $L_{ap} < 20$ dB secondo le norme UNI 10234 e ISO 3822);
- Il rumore definito colpo d'ariete, dovuto all'interruzione improvvisa di un flusso stazionario, viene ridotto utilizzando un sistema di compensazione della pressione nel circuito di distribuzione;
- I rumori meccanici, dati dalle risonanze di tipo meccanico e generati dai componenti, vengono parzialmente attenuati utilizzando tubazioni in polipropilene con sezioni superiori a 18-20 mm (diametro elevato implica una minore velocità, e quindi minor rumore, del fluido nella tubazione).
- Le cassette di scarico e lavaggio dei wc dovranno essere del tipo silenziato sia in fase di scarico che in fase di riempimento (solitamente rivestite con pannelli sandwich composti di resina melamminica espansa con interposta lamina di piombo) e non alloggiare nelle pareti di separazione tra unità abitative;
- Le tubazioni, in particolare in corrispondenza degli attraversamenti delle murature, dovranno essere dotate di sistemi elastici atti a ridurre la trasmissione delle vibrazioni (es. neoprene).



- Tutti i punti di appoggio degli elementi sanitari, vasi, vasche e lavandini, devono essere dotati di appoggi elastici aventi la funzione di ridurre la trasmissione per via solida;
- Evitare curve degli scarichi a 90 gradi sostituendole con 2 curve a 45 gradi.

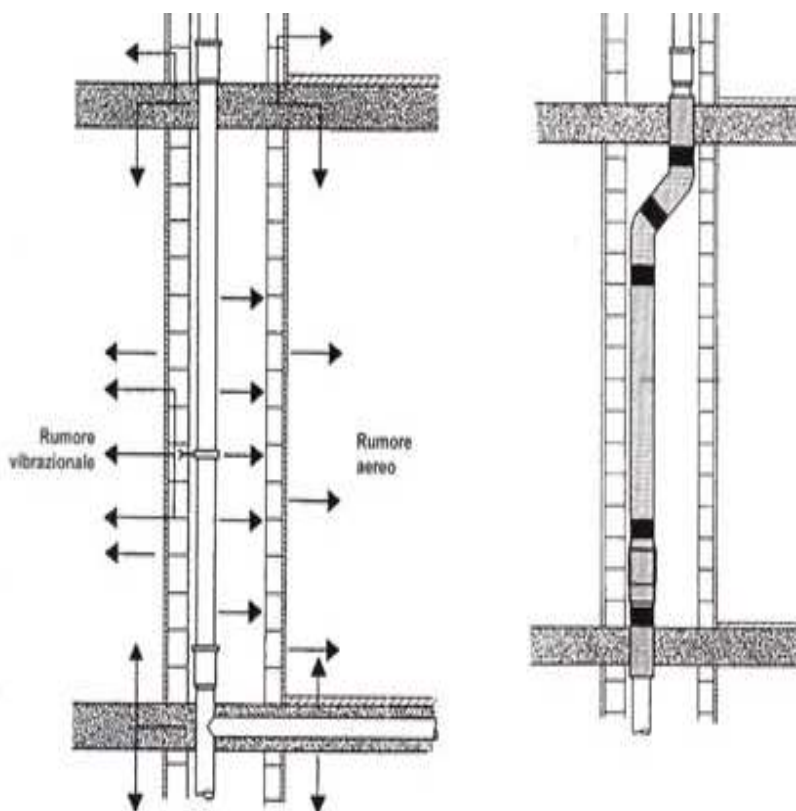
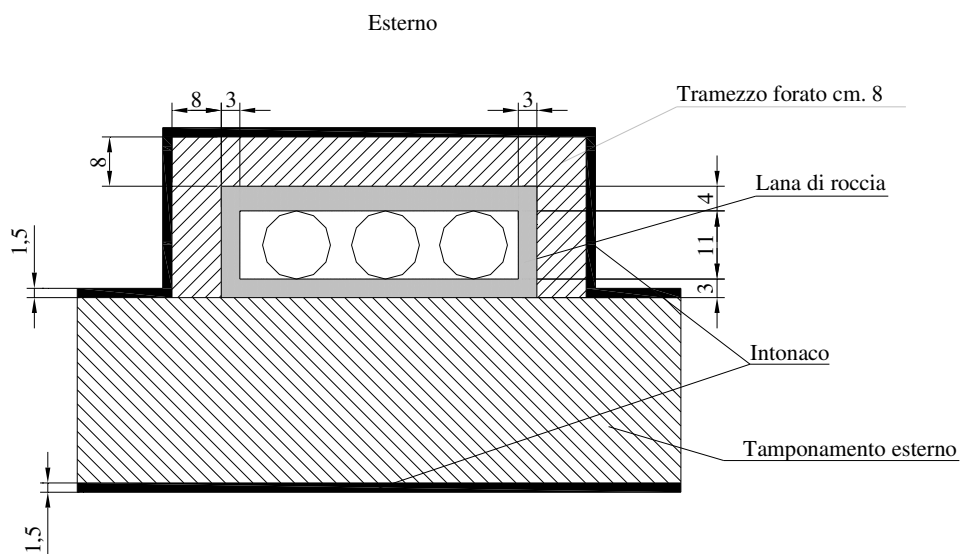


- Evitare dunque strozzature e convoluzioni nel percorso delle tubature, le quali sono causa di moti fluidodinamici turbolenti e quindi rumorosi.
- Le tubazioni degli scarichi devono essere contenute all'interno di un cavedio isolato.

Cavedio per gli scarichi e le tubazioni

Di seguito si riporta una tipologia di cavedio su muratura esterna:

- Intonaco;
- Tamponamento;
- Intercapedine (alloggiamento colonna di scarico);
- Strato resiliente e fonoassorbente (es. lana di roccia);
- Tramezzo forato;
- Intonaco.



Per quanto riguarda le tubazioni di scarico orizzontali all'interno dei massetti, sarà necessario fare in modo che queste ultime attraversino unicamente locali quali bagni, ripostigli o corridoi, per non costituire un canale preferenziale di propagazione del rumore aereo nelle stanze di uso comune.

Al fine di ridurre le vibrazioni occorrerà rivestire la tubazione con materiali a bassa rigidità dinamica ed alta resistenza al flusso d'aria (per esempio resina melamminica espansa).

Ad impedire la trasmissione di rumore aereo è utile avvolgere le tubazioni con lamine di materiale pesante (piombo) o utilizzare tubazioni prefabbricate (es. Geberit o Valsir) che sono isolate con pannelli sandwich composti di polipropilene accoppiato a materiali pesanti.



Tali tubazioni di scarico non dovranno in nessun caso costituire un motivo di interruzione dello strato isolante del pavimento galleggiante.

Prescrizioni per l'installazione della ventilazione meccanica controllata

Interventi sulla sorgente

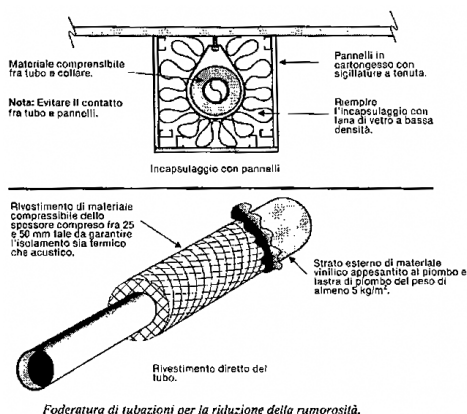
- Tarare gli impianti con bassa velocità di fluidi.
- Fissati i valori di portata eventualmente allargare la sezione di condotti e tubazioni.
- Tarare gli impianti con contenuta resistenza al moto di fluidi.

Interventi su canali d'aria e tubazioni

- Evitare moti turbolenti del flusso di fluido vettore: mantenere un flusso uniforme e a bassa velocità.
- Evitare strozzature e cambi direzione repentini delle tubature e dei canali d'aria.
- Avvolgere con materiale elastico gli attraversamenti di pareti, solai e coperture. Desolidarizzare eventuali canalizzazioni passanti entro la struttura muraria mediante l'impiego di materiali antivibranti di gomma e/o schiume.
- Valutare la possibilità di fare passare i canali entro l'intercapedine del controsoffitto

Interventi sui diffusori

- Scegliere diffusori che presentano bassi valori di generazione del rumore.
- Evitare che il tratto di collegamento tra il canale principale e il diffusore non sia in asse con il diffusore stesso.



Impianti Aerulici - UTA

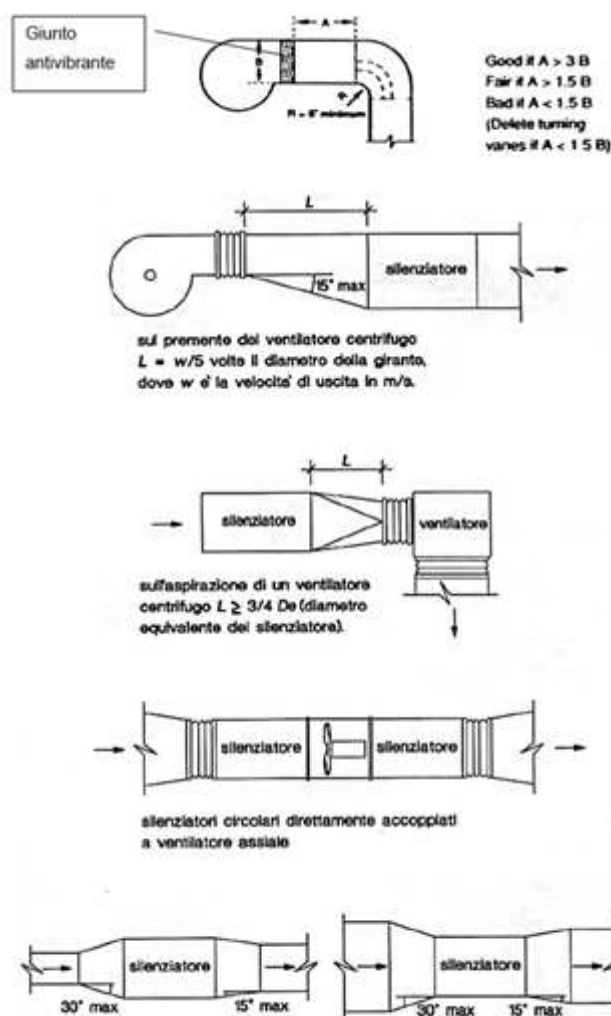
Nella misura e nel luogo in cui saranno presenti, tutti gli impianti aerulici dovranno essere appoggiati a pavimenti o tetti, fissati e ancorati a solai di copertura o pareti, tramite supporti elastici, supporti antivibranti, pendini e molle di sostegno, in modo da impedire possibili "ponti" di trasmissione del rumore e delle vibrazioni.

Interventi sulla sorgente

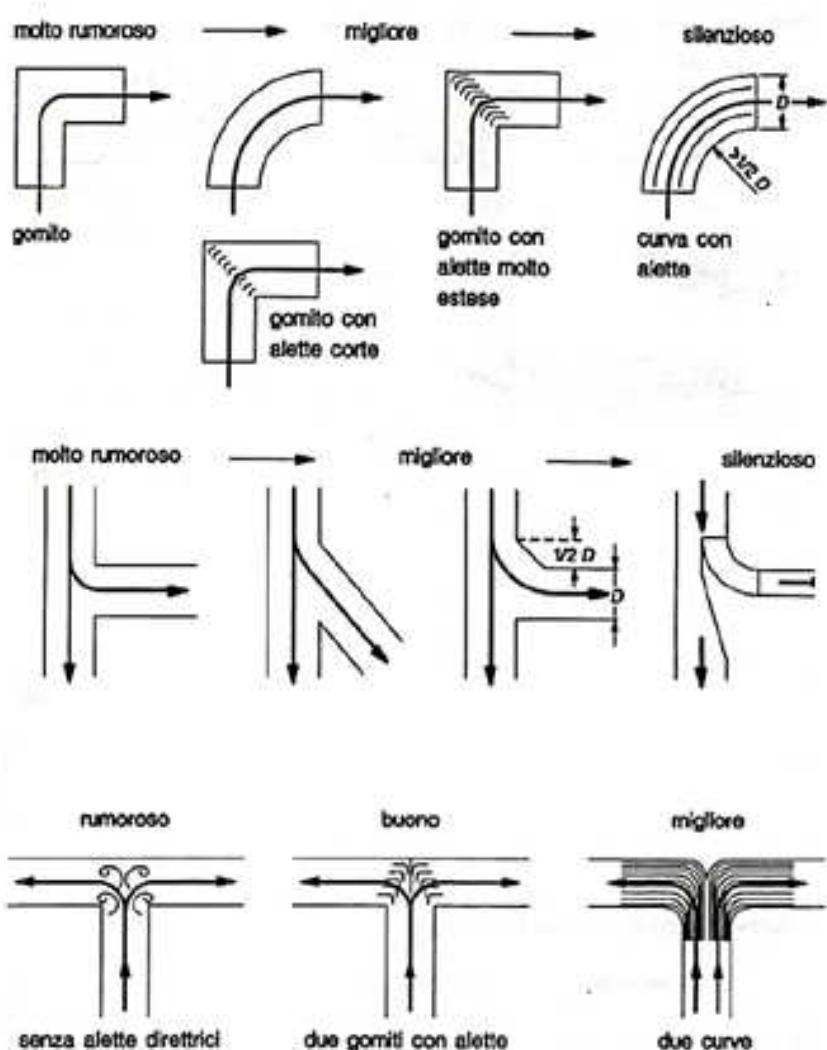
- Utilizzare ventilatori centrifughi con pale ricurve all'indietro (velocità in uscita più bassa)
- Tarare gli impianti con bassa velocità di rotazione dei ventilatori
- Tarare gli impianti con bassa velocità di aria
- Fissati i valori di portata eventualmente allargare la sezione di condotti e tubazioni
- Rivestire le pareti interne della sezione ventilante con materiale fonoassorbente

Canali d'aria o tubazioni

- Evitare strozzature e cambi direzione repentini delle tubature e dei canali d'aria
- Utilizzare un giunto antivibrante tra il ventilatore e il canale



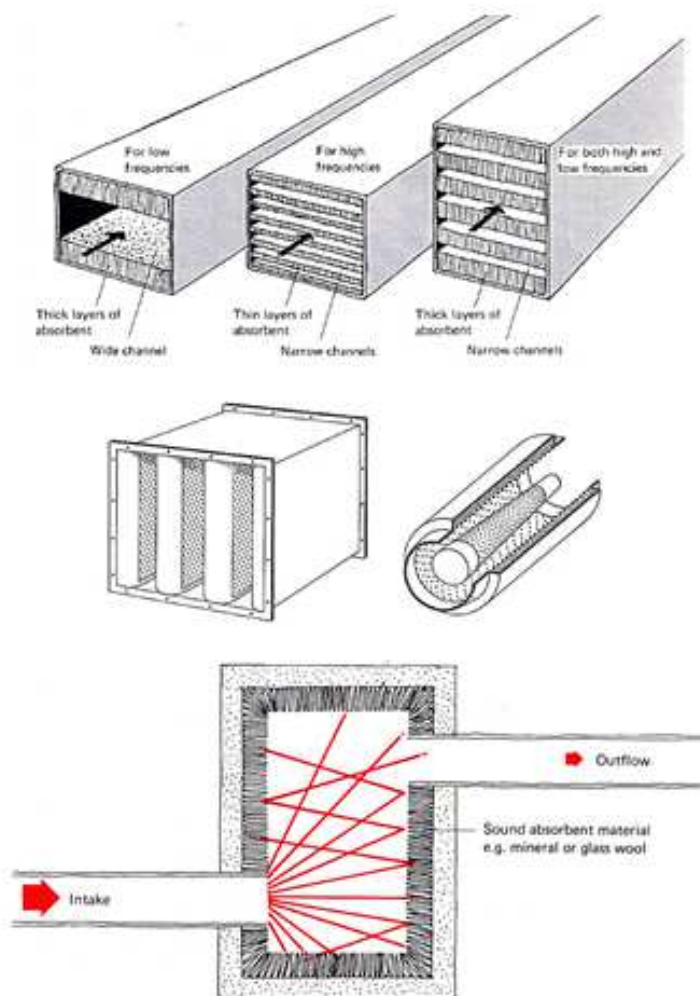
- Predisporre dopo il giunto un tratto rettilineo di canale di lunghezza opportuna
- All'uscita del ventilatore evitare allargamenti di sezione e cambi direzione per una distanza da 3 a 6 volte il diametro di uscita
- L'allargamento di sezione del canale deve prevedere un angolo di inclinazione delle pareti max di 15°
- Nei cambi di direzione repentini utilizzare alette deflettrici
- Le serrande determinano un aumento di rumorosità. Devono essere montate a monte della griglia ad una distanza sufficiente a evitare eccessive turbolenze.



- Avvolgere con materiale elastico (tipo polietilene espanso a celle chiuse) tutti gli attraversamenti di pareti e solai
- Fissare i canali tramite pendini e molle di sostegno

Silenziatori passivi di tipo dissipativo:

- Condotti rettilinei rivestiti
- Silenziatore a setti
- Silenziatori tubolari
- Plenum di distribuzione con rivestimento fonoassorbente



- Utilizzare silenziatori a valle e a monte del ventilatore (UTA, ecc.)
- Inserire silenziatori lontano da curve e lungo tratti rettilinei
- Inserire silenziatori lungo canali di mandata o di ripresa con opportuni raccordi sagomati

Diffusori

- Scegliere diffusori che presentano bassi valori di generazione del rumore
- Evitare che il tratto di collegamento tra il canale principale e il diffusore non sia in asse con il diffusore stesso.

Prescrizioni sulla realizzazione di impianti elettrici

Per un adeguato isolamento acustico delle partizioni verticali e orizzontali si dovrà evitare di realizzare tracce di impianti troppo profondi e simmetrici su entrambi i lati di una stessa parete.

In corrispondenza di nicchie inserite in pareti di cassette elettriche particolarmente grandi dovrà essere impiegata gomma-piombo per foderare la scatola.

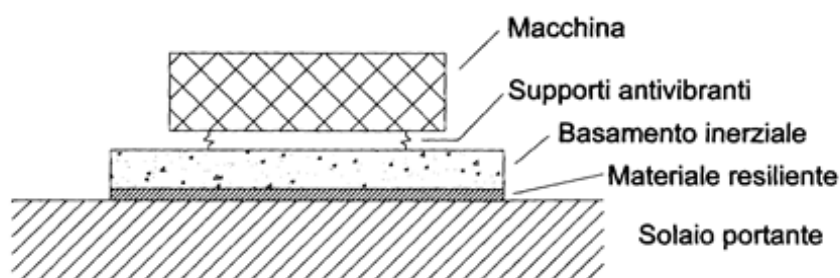
Prescrizioni per l'installazione di ascensori o montacarichi

- Impiegare motori elettrici.
- Evitare in fase di progettazione di posizionare il vano ascensore a contatto diretto con ambienti abitativi
- In caso di contatto tra vano ascensore e unità abitative, realizzare una parete divisoria in calcestruzzo con massa areica di almeno 300 Kg/m² e procedere a contro placcare la parete (lato ambiente abitativo) con strato resiliente (almeno 3 cm) e cartongesso.
- Nel caso si utilizzino ascensori oleodinamici è necessario prevedere il posizionamento del compressore del motore in apposito locale
- Nel caso si utilizzino ascensori a fune è necessario prevedere che il motore poggi su un basamento inerziale dotato di supporti antivibranti
- Le guide, elementi di propagazione per via solida, dovranno essere vincolate alle strutture con interposizione di elementi resilienti (materassini elastici)
- Si raccomanda di curare la perfetta regolazione delle porte di sbarco per evitare rumori dovuti all'apertura/chiusura delle stesse.

Le porte scorrevoli, assimilabili a fonti di rumore discontinuo, dovranno essere applicate su giunti antivibranti.

Prescrizioni per disporre impianti-macchine in esterno

- Realizzare un basamento inerziale sopra un materiale resiliente (solo x impianti di grandi dimensioni e dotati di massa notevole)
- Installare impianti insonorizzati e dotati di piedini antivibranti di appoggio. Mantenere la macchina sollevata da terra e scostata dalla muratura.
- Orientare le emissioni delle macchine verso aree non abitate, non verso gli edifici limitrofi (uffici e abitazioni).
- Isolamento dalle vibrazioni: desolidarizzare eventuali canalizzazioni passanti entro la struttura muraria mediante l'impiego di materiali antivibranti di gomma e/o schiume.



6) CONCLUSIONI

Le verifiche previsionali effettuate secondo le norme UNI hanno mostrato il rispetto dei valori limite stabiliti dalle leggi vigenti.

I dati immessi in calcolo hanno consentito di verificare le condizioni peggiori riscontrabili, pertanto, le valutazioni escluse, nell'ipotesi di essere calcolate, assumerebbero valori conformi alla legge.

L'indagine previsionale ha inteso verificare l'isolamento acustico per ogni ambiente e proprio nei punti di maggior debolezza, ovvero laddove i parametri di input di calcolo sono i peggiori riscontrabili. Per ogni verifica è stato attentamente valutato il materiale da inserire nel capitolato e la modalità di posa.

I materiali da utilizzare, nella forma e nelle caratteristiche indicate in relazione e nel manuale di posa, risultano requisiti fondamentali per ottenere i valori di isolamento a norma di legge.

Si precisa tuttavia che, qualora venisse eseguita una posa in opera dei materiali in maniera non idonea o non conforme al progetto, non verranno raggiunti i valori previsti. È solo la corretta esecuzione del progetto e delle relative prescrizioni sopra descritte, in sede di cantiere, a garantire una efficacia e una resa in termini di isolamento acustico.

Si raccomanda, pertanto, di eseguire controlli in cantiere per verificare la corretta posa in opera dei materiali e dei sistemi edilizi prescritti nella valutazione acustica del progetto.

FORLÌ, 15 maggio 2023

Fase: PROGETTO ESECUTIVO**Oggetto:** Lavori di sostituzione edilizia di due corpi di fabbricato della sede dell'Istituto Professionale Statale "Olivetti-Callegari" in Via Umago n.18 - Ravenna (RA)**Progettista:** Arch. Filippo Pambianco

ALLEGATI

