PROVINCIA DI PERUGIA

SERVIZIO EDILIZIA SCOLASTICA E PROGRAMMAZIONE RETE SCOLASTICA
Ufficio Progettazione Edile e Impiantistica

Comune di ubicazione

Comune di PERUGIA

SERVIZIO EDILIZIA SCOLASTICA
PROGRAMMAZIONE RETE SCOLASTICA

Titolo Progetto

REALIZZAZIONE NUOVO EDIFICIO SCOLASTICO NELLA CITTA' DI PERUGIA I STRALCIO
Finanziamento MUTUI BEI 2018. Importo € 4.000.000,00

PA01	Fase Progettuale **PROGETTO DEFINITIVO**	Data: APRILE 2021
	Rif. Elaborato **PROGETTO ACUSTICO -REQUISITI ACUSTICI PASSIVI** RELAZIONE TECNICA	Rev. 01 del Rev. 02 del
N° Archivio **FP5474**	Stato **STATO DI PROGETTO** / Scala **-**	Rev. 03 del
RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: ing. Giampiero Bondi		Rev. 04 del

NUCLEO DI PROGETTAZIONE

COORDINATORE ALLA PROGETTAZIONE: Ing. Daniela Cecchini

PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA Arch. Fabio Castellani Arch. Stefano Berretta	**IMPIANTI MECCANICI ED ELETTRICI** FLU.PROJECT PROGETTAZIONE IMPIANTI Ing. Michele Bartoccini - Ing. Marco Valigi	**STIMA DEI LAVORI** Geom. Auditore Concetto
PROGETTAZIONE STRUTTURALE Ing. Daniela Cecchini Ing. Irene Boncompagni Ing. Milena Scorteccia	**PROGETTAZIONE ANTINCENDIO** FLU.PROJECT PROGETTAZIONE IMPIANTI Ing. Michele Bartoccini	**RILIEVI TOPOGRAFICI** geom. Stefano Passeri geom. Stefano Santioni
ASSISTENZA AL R.U.P. Geom. Auditore Concetto Geom. Giovanni Benedetti	**GRAFICA** Arch. Fabio Castellani Arch. Stefano Berretta	**STUDIO GEOLOGICO** Dott. Alfredo Cioli Dott. Diego Vantaggi

UFFICIO DIREZIONE LAVORI

ASSISTENZA ALLA DIREZIONE LAVORI --	**CONTABILIZZAZIONE OPERE EDILI**	**CONTABILIZZAZIONE IMPIANTI** --

COLLAUDATORE STATICO: -

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO
Ing. Giampiero Bondi

IL COORDINATORE ALLA PROGETTAZIONE
Ing. Daniela Cecchini

IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROG. ESEC.
Ing. Stefano Brughini

IL DIRETTORE DEI LAVORI
-

1 RIFERIMENTI NORMATIVI 2
2 DESCRIZIONE dell'EDIFICIO SCOLASTICO 7
3 LIMITI DI LEGGE DA RISPETTARE PER L'EDIFICIO SCOALSTICO 7
4 METODOLOGIA UTILIZZATA 9
5 REQUISITI ACUSTICI PASSIVI DELL'EDIFICIO 11
5.1 Potere fonoisolante delle strutture 12
5.2 Potere fonoisolante apparente di partizioni verticali – orizzontali (R'_W) ... 23
5.3 Calcolo dell'isolamento acustico standardizzato di facciata ($D_{2m,nT,w}$) 27
5.4 Calcolo del livello di rumore di calpestio di solai normalizzato ($L'_{n,w)}$ 33
5.5 Tempo di Riverberazione dei Locali e Valutazione STI 37
5.6 Impianti a funzionamento discontinuo 39
6 REQUISITI MINIMI PER L'OTTENIMENTO DEL RISULTATO ACUSTICO 42
7 CONCLUSIONI 50

1 RIFERIMENTI NORMATIVI

Il presente progetto è stato elaborato sulla base della seguente normativa nazionale e delle seguenti norme tecniche di riferimento.

Legislazione statale

- Legge n° 447 del 26.10.1995 "Legge quadro sull'inquinamento acustico";
- D.P.C.M. 14 novembre 1997 "Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore";
- D.P.C.M. 5 dicembre 1997 "Determinazione dei requisiti acustici degli edifici";
- D.M. 16 marzo 1998 "Tecniche di rilevamento e misurazione dell'inquinamento acustico";
- D.M. 11 Ottobre 2017 Criteri Ambientali Minimi "per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici".

Legislazione Regionale (Umbria)

- Legge Regionale Umbria n. 01 del 21 Gennaio 2015 "Testo Unico Governo del Territorio e materie correlate".
- Regolamento Regionale n. 02 del 18 Febbraio 2015 "Norme regolamentari attuative della Legge Regionale n. 01 del 21 Gennaio 2015 "Testo Unico Governo del Territorio e materie correlate".

Norme tecniche:

- UNI EN ISO 12354-1 (ed. 2017) "*Acustica in edilizia – Isolamento dal rumore per via aerea tra ambienti";*
- UNI EN ISO 12354-2 (ed. 2017) "*Acustica in edilizia – Isolamento acustico al calpestio tra ambienti*";
- UNI EN ISO 12354-3 (ed. 2017) "*Acustica in edilizia –Isolamento acustico contro il rumore proveniente dall'esterno per via aerea*";
- UNI EN ISO 12354-4 (ed. 2017) "*Acustica in edilizia – Trasmissione del rumore interno all'esterno*";

- UNI EN 12354 (ed. 2017) "*Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti*";
    - Parte 5: Livelli sonori dovuti agli impianti tecnici (2009)
    - Parte 6: Assorbimento acustico in ambienti chiusi (2006)
- UNI TR 11175 (2005) **–** *Guida alle norme serie UNI EN 12354 per la previsione delle prestazioni acustiche degli edifici. Applicazione alla tipologia costruttiva nazionale;*
- UNI 11532-1(2018): **–**- *Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinanti*;
- UNI 11296 (2018) (Posa serramenti) 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;*
- UNI 11516 (2013): (Posa massetti galleggianti) *Indicazioni di posa in opera dei sistemi di pavimentazione galleggiante per l'isolamento acustico.*

Campo di applicazione e contenuti del D.P.C.M. 5/12/1997

La L. 26 ottobre 1995, n. 447 all'art.2, comma 1, lettera b) definisce *ambiente di vita* ogni ambiente interno ad un edificio destinato alla permanenza di persone o di comunità ed utilizzato per le diverse attività umane, fatta eccezione per gli ambienti destinati ad attività produttive per i quali resta valida la disciplina di cui al D. Lgs. 277/1991 come modificato dal D. Lgs. 195/2006, salvo per quanto concerne l'immissione di rumore da sorgenti sonore esterne ai locali in cui si svolgono le attività produttive;

Il D.P.C.M. 5/12/1997 determina i requisiti acustici delle sorgenti sonore interne agli edifici ed i requisiti acustici passivi degli edifici e dei loro componenti in opera, al fine di ridurre l'esposizione umana al rumore. Ai fini dell'applicazione di tale decreto, gli "*ambienti abitativi*" sono distinti nelle categorie indicate nella tabella 1.

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

Tab. 1 - D.P.C.M. 05/12/97

Il D.P.C.M. 05/12/1997 definisce:

- *componenti degli edifici:* le partizioni orizzontali e verticali;
- *servizi a funzionamento discontinuo:* gli ascensori, gli scarichi idraulici, i bagni, i servizi igienici e la rubinetteria;
- *servizi a funzionamento continuo:* gli impianti di riscaldamento, aerazione e condizionamento

Le grandezze che caratterizzano i requisiti acustici passivi degli edifici, sempre secondo tale decreto sono:

1. il *tempo di riverberazione* (**T**), definito dalla norma ISO 3382:1975
2. il *potere fonoisolante apparente di elementi di separazione fra ambienti* (**R**);
3. l'*isolamento acustico standardizzato di facciata* ($\mathbf{D_{2m,nT}}$);
4. il *livello di rumore di calpestio di solai normalizzato* ($\mathbf{L_n}$);
5. il livello massimo di pressione sonora, ponderata A con costante di tempo slow ($\mathbf{L_{ASmax}}$);
6. il *livello continuo equivalente di pressione sonora*, ponderata A ($\mathbf{L_{Aeq}}$)

Gli indici di valutazione che caratterizzano i requisiti acustici passivi degli edifici sono:

1. Indice del potere fonoisolante apparente di partizioni fra ambienti (**R_w**) da calcolare secondo la norma UNI EN ISO 12354-1:2017.
2. Indice dell'isolamento acustico standardizzato di facciata (**$D_{2m,nT,w}$**) da calcolare secondo la norma UNI EN ISO 12354-3:2017;
3. Indice del livello di rumore di calpestio di solai, normalizzato (**$L_{n,w}$**) da calcolare secondo la procedura descritta dalla norma UNI EN ISO 12354-2:2017;

La rumorosità prodotta dagli impianti tecnologici non deve superare i seguenti limiti:

1. 35 dB(A) **L_{Amax}** con costante di tempo slow per i servizi a funzionamento discontinuo;
2. 25 dB(A) **L_{Aeq}** per i servizi a funzionamento continuo.

Il D.P.C.M. 05/12/1997 riporta i valori limite degli indici di valutazione che caratterizzano i requisiti acustici passivi dei componenti degli edifici e delle sorgenti sonore interne come riportato nella tabella 2.

Categorie	**Rw (*)**	**$D_{2m,nT}$**	**$L_{n,w}$**	**L_{ASmax}**	**L_{Aeq}**
D	55	45	58	35	25
A, C	50	40	63	35	35
E	50	48	58	35	25
B, F, G	50	42	55	35	35

Tab. 2 - D.P.C.M. 05/12/97

(*) Valori riferiti a elementi di separazione tra due distinte unità immobiliari.

Inoltre come riportato nell'allegato 2 par. 2.3.5.6. relativo ai "criteri ambientali minimi" (CAM), le grandezze che caratterizzano i requisiti acustici passivi dell'edificio devono soddisfare il livello di prestazione superiore, riportato nel prospetto A.1 dell'Appendice A della norma 11367 (tab.3).

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

Tab. 3 – prospetto A.1 dell'Appendice A della norma 11367

È importante ricordare che la normativa fa espresso riferimento ai requisiti acustici passivi degli edifici e dei componenti in opera ciò significa che il rispetto dei requisiti di legge può essere valutato a posteriori, cioè ad ultimazione delle opere e che la garanzia del risultato auspicato può ragionevolmente essere raggiunta soltanto nel caso di perfetta esecuzione a regola d'arte.

Si consiglia pertanto di prestare particolare attenzione a tutti i suggerimenti costruttivi indicati nella presente relazione per ridurre al minimo il peggioramento della prestazione acustica dovuto sia al fiancheggiamento che alla non accurata fase di realizzazione.

2 DESCRIZIONE dell'EDIFICIO SCOLASTICO

L'edificio, a pianta rettangolare, occuperà una superficie lorda in pianta di circa 796 mq e si svilupperà su tre livelli: piano terra, piano primo a quota +3,82 m e piano secondo a quota 7,54 m.

Al piano terra saranno individuabili i seguenti locali: ingresso principale; cinque aule e due blocchi servizi igienici.

Inoltre saranno presenti due locali, entrambi dotati di acceso direttamente dall'esterno, che verranno utilizzati rispettivamente per l'alloggiamento delle apparecchiature elettriche (quadro generale e inverter dell'impianto fotovoltaico) e per l'alloggiamento di un generatore di calore alimentato a gas metano della potenza al focolare inferiore a 116 kW e di tutte le apparecchiature a servizio dell'impianto di climatizzazione e produzione di acqua calda sanitaria.

Al piano primo, a quota +3,82 m, saranno individuabili i seguenti locali: cinque aule didattiche, un blocco servizi igienici di piano, un ufficio amministrativo e l'aula insegnanti.

Al piano secondo, a quota + 7,54 m, saranno individuabili i seguenti locali: cinque aule didattiche, il blocco servizi igienici di piano, un ufficio amministrativo, un locale utilizzato come ripostiglio/deposito a servizio del personale ATA e uno spazio "connettivo" in cui sarà realizzato un piccolo bar a servizio degli studenti, degli insegnanti e di tutto il personale presente nell'edificio scolastico.

I tre piani dell'edificio saranno collegati tra loro mediante due sale, entrambe con rampe della larghezza di 1,80 m, di cui una interna "A" e una esterna "B".

3 LIMITI DI LEGGE DA RISPETTARE PER L'EDIFICIO SCOALSTICO

Sulla base di quanto esposto i locali costituenti l'edificio scolastico sono classificati in Categoria E (Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili) per i quali,

occorre verificare che le grandezze che caratterizzano i requisiti acustici passivi degli edifici siano "conformi" a quelli indicati nella tabella "4":

CATEGORIA	R'_W	$D_{2m,n,T,W}$	L'_{nW}	$L_{AS,max}$	L_{Aeq}
E: Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili	50	48	58	35	25

Tab. 4 – Limiti requisiti acustici DPCM 05/12/1997

Inoltre come riportato nell'allegato 2 par. 2.3.5.6. relativo ai "criteri ambientali minimi" (CAM), le grandezze che caratterizzano i requisiti acustici passivi dell'edificio devono fare riferimento sia ai valori riportati nel prospetto A.1 dell'Appendice A della norma 11367, (tab. 5) che a quelli indicati nella Norma UNI 11532 riportati nella tabella 6

	Prestazione di base	**Prestazione superiore**
Descrittore dell'isolamento acustico normalizzato di facciata, D2m,nT,w (dB)	38	**43**
Descrittore del potere fonoisolante apparente di partizioni fra ambienti di differenti unità immobiliari, R'w (dB)	50	**56**
Descrittore del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato fra ambienti di differenti unità immobiliari L'nw (dB)	63	**53**
Livello sonoro corretto immesso da impianti a funzionamento continuo, Lic in ambienti diversi da quello di installazione, dB(A)	32	**28**
Livello sonoro corretto immesso da impianti a funzionamento discontinuo, Lid in ambienti diversi da quello di installazione, dB(A)	39	**34**
Descrittore dell'isolamento acustico normalizzato di partizioni fra ambienti sovrapposti della stessa unità immobiliare, DnT, w (dB)	50	**55**
Descrittore dell'isolamento acustico normalizzato di partizioni i fra ambienti adiacenti della stessa unità immobiliare, DnT, w (dB)	45	**50**
Descrittore del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato fra ambienti sovrapposti della stessa unità immobiliare, L'nw (dB)	63	**53**

Tab. 5 – Prospetto A.1 Appendice A della norma 11367

	C50 dB	**STI dB**
Ambienti adibiti al parlato	≥ 0	≥ 0,6
Ambienti adibiti ad attività sportive	≥ -2	≥ 0,5

Tab.6 – Valori consigliati dei parametri C50 e STI Appendice C Norma UNI 11367

4 METODOLOGIA UTILIZZATA

Il D.P.C.M. 5/12/97 prescrive che le prestazioni di isolamento acustico dei componenti siano assicurate in opera: in altri termini nella fase di progettazione è necessario disporre di un metodo di calcolo analitico che consenta di prevedere con sufficiente approssimazione tali prestazioni a partire dalle caratteristiche acustiche dei singoli elementi che compongono l'edificio. Queste sono normalmente rilevabili dalle certificazioni di laboratorio fornite dai produttori dei vari componenti edilizi (pareti, solai, serramenti, ecc.), oppure dai dati reperibili in letteratura e dipendono in buona parte dalle modalità costruttive e di montaggio che si ritiene di dover adottare.

La serie di norme UNI EN ISO 12354: 2017 (*Acustica edilizia, stima delle prestazioni acustiche degli edifici a partire dalla prestazione dei componenti*), e la UNI TR 11175: 2005 (*Acustica in edilizia - Guida alle norme serie UNI EN 12354 per la previsione delle prestazioni acustiche degli edifici. Applicazione alla tipologia costruttiva nazionale*) riportano metodi di calcolo utilizzabili per tale valutazione.

<u>In particolare il *MODELLO DI CALCOLO SEMPLIFICATO* basato sugli indici di valutazione, risulta il criterio adottato per tale studio.</u>

Occorre evidenziare che l'attendibilità dei metodi di calcolo è strettamente vincolata:

- alla veridicità delle certificazioni acustiche dei componenti edilizi;
- alla effettiva utilizzazione in corso d'opera dei componenti certificati;
- alla esecuzione a regola d'arte dei componenti oggetto di valutazione (pareti, solai);
- alla corretta installazione dei serramenti (finestre, porte);
- alle incertezze insite nel modello stesso, e comunque presenti in ogni valutazione analitica del tipo in esame.

Accuratezza

L'esperienza prevalente nell'applicazione di simili modelli è stata finora acquisita con edifici dove gli elementi strutturali di base erano omogenei. In tali situazioni la

previsione dell'indice di valutazione tramite modello semplificato mostra una tendenza a sopravalutare leggermente l'isolamento.

Impianti tecnologici a funzionamento continuo e discontinuo

La norma UNI 11367 del 2010 *"Classificazione acustica delle unità immobiliari – Procedura di valutazione e verifica in opera"* nell'appendice D, spiega quali siano gli impianti tecnologici a funzionamento continuo e discontinuo e ne descrive un metodo di misura per il rumore in opera.

Tuttavia, attualmente, non sono presenti specifiche norme UNI per la previsione teorica della propagazione del rumore emesso da tali impianti.

Gli impianti a funzionamento continuo sono caratterizzati da emissione sonora con carattere essenzialmente stazionario, ovvero quelli il cui livello di pressione sonora rilevato subisce oscillazioni non maggiori di 5 dB per tutta la durata del funzionamento (ad esempio impianti di riscaldamento, raffrescamento, climatizzazione, ventilazione meccanica).

Gli impianti a funzionamento discontinuo sono quelli caratterizzati da emissione di livello sonoro con variazioni fluttuanti o intermittenti e da brevi periodi di funzionamento rispetto al tempo di inattività durante l'arco della giornata, ovvero quelli il cui livello di pressione sonora varia con oscillazioni maggiori di 5 dB (ad esempio impianti sanitari, di scarico, ascensori, montacarichi).

Le grandezze da considerare sono le seguenti:

- LAeq Livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato A, per il rumore stazionario prodotto dagli impianti a funzionamento continuo;
- LASmax Livello massimo di pressione sonora ponderato A, rilevato con caratteristica dinamica slow, per il rumore generato dagli impianti a funzionamento discontinuo e per fasi non stazionarie del rumore prodotto dagli impianti a funzionamento continuo.

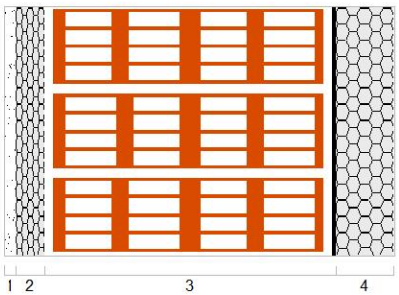
5 REQUISITI ACUSTICI PASSIVI DELL'EDIFICIO

Sono state elaborate soluzioni acusticamente conformi mediante l'impiego di materiali studiati per le specifiche applicazioni. Le prestazioni acustiche dei prodotti sono state dedotte seguendo il seguente ordine di priorità:

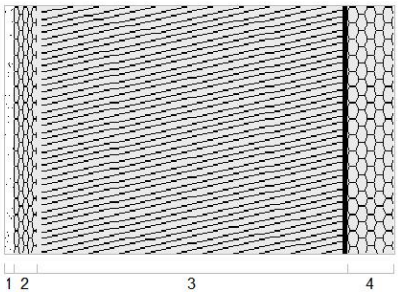
- certificati di laboratorio;
- certificati eseguiti in opera in condizioni di similarità;
- Leggi empiriche di letteratura associate all'utilizzo di coefficienti di sicurezza.

Di seguito si riportano per le diverse stratigrafie dei componenti opachi che caratterizzano l'edificio oggetto della presente in valore calcolato di $\mathbf{R_w}$ e di $\mathbf{L_w}$.

5.1 Potere fonoisolante delle strutture

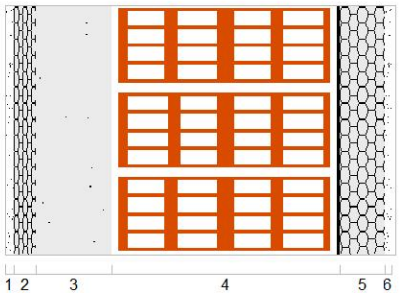
PARETE ESTERNA PORTANTE	**PE – 01**	
DESCRIZIONE COMPONENTE	SPESSORE [mm]	MASSA SUPERFICIALE
Parete esterna del tipo facciata ventilata realizzata con blocco in laterizio, tipo Superpor FBM o similare, densità 583 kg/mc sp. 30,0 cm con controparete interna realizzata con lastra in cartongesso sp. 1,25 cm con interposto pannello in polistirene espanso estruso, densità 35 kg/mc sp. 3,0 cm, e isolata all'esterno con pannello in lana di roccia, tipo Fixrock Rocwool o similare, densità 70 kg/mc sp. 6,0 cm. La parete è rifinita all'esterno in alluminio.	402,5	180,15 kg/mq
	1. Lastra in Cartongesso sp. 1,25 cm 2. Pannello isolante in polistirene espanso estruso sp. 3,0 cm 3. Blocco Termico tipo Superpor FBM sp. 30,0 cm 4. Pannello isolante in lana di roccia, tipo Fixrock VF, sp. 6,0 cm	
POTERE FONOISOLANTE	**R_W = 55,0 dB**	

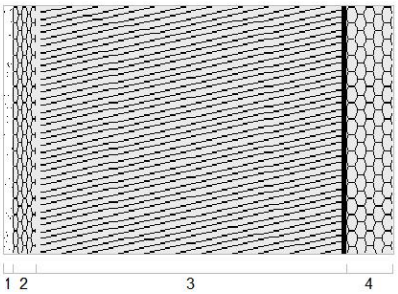
PARETE ESTERNA SETTO IN CLS	**PE – 02**	
DESCRIZIONE COMPONENTE	SPESSORE [mm]	MASSA SUPERFICIALE
Parete in cls esterna realizzata con cls, densità 2000 kg/mc sp. 40,0 cm, con controparete interna realizzata con lastra in cartongesso sp. 1,25 cm con interposto pannello in polistirene espanso estruso, densità 35 kg/mc sp. 3,0 cm, e isolata all'esterno con pannello in lana di roccia, tipo Fixrock Rocwool o similare, densità 70 kg/mc sp. 6,0 cm.	502,5	805,25 kg/mq

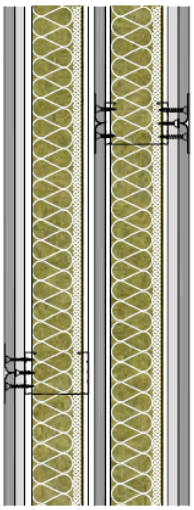


1. Lastra in Cartongesso sp. 1,25 cm
2. Pannello isolante in polistirene espanso estruso sp. 3,0 cm
3. Setto in cls sp. 40,0 cm
4. Pannello isolante in lana di roccia, tipo Fixrock VF, sp. 6,0 cm

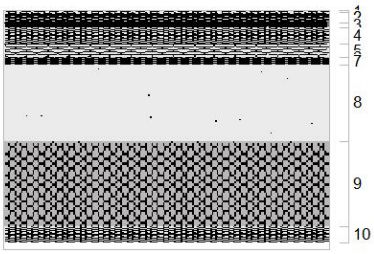
POTERE FONOISOLANTE	**R_W = 60,0 dB**

PARETE INTERNA VERSO LOCALE NON RISCALDATO	**PI - 01**	
DESCRIZIONE COMPONENTE	SPESSORE [mm]	MASSA SUPERFICIALE
Parete esterna in muratura realizzata con blocco in laterizio, tipo Superpor FBM o similare, densità 583 kg/mc sp. 30,0 cm, con controparete interna realizzata con lastra in cartongesso sp. 1,25 cm con interposto pannello in polistirene espanso estruso, densità 35 kg/mc sp. 3,0 cm, e isolata all'esterno con pannello in lana di roccia, tipo Fixrock Rocwool o similare, densità 70 kg/mc sp. 6,0 cm e rasatura. La parete poggia, per la sua intera lunghezza su strato di materiale antivibrante.	512,5	180,28 kg/mq
	1. Lastra in Cartongesso sp. 1,25 cm 2. Pannello isolante in polistirene espanso estruso sp. 3,0 cm 3. Intercapedine aria sp. 10,0 cm 4. Blocco Termico Superpor FBM sp. 30,0 cm 5. Pannello isolante in lana di roccia, tipo Fixrock VF, sp. 6,0 cm 6. Rasatura per termocappotto sp. 1,0 cm	
POTERE FONOISOLANTE	**R_W = 55,0 dB**	

PARETE INTERNA SETTO PILASTRO VERSO LOCALE NON RISCALDATO	**PI - 02**	
DESCRIZIONE COMPONENTE	SPESSORE [mm]	MASSA SUPERFICIALE
Parete in cls esterna realizzata con cls, densità 2000 kg/mc sp. 40,0 cm, con controparete interna realizzata con lastra in cartongesso sp. 1,25 cm con interposto pannello in polistirene espanso estruso, densità 35 kg/mc sp. 3,0 cm, e isolata all'esterno con pannello in lana di roccia, tipo Fixrock Rocwool o similare, densità 70 kg/mc sp. 6,0 cm.	502,5	805,25 kg/mq
	1. Lastra in Cartongesso sp. 1,25 cm 2. Pannello isolante in polistirene espanso estruso sp. 3,0 cm 3. Setto in cls sp. 40,0 cm 4. Pannello isolante in lana di roccia, tipo Fixrock VF, sp. 6,0 cm	
POTERE FONOISOLANTE	**R_W = 60,0 dB**	

PARETE INTERNA DIVISORIA AULE	**PI 03**	
DESCRIZIONE COMPONENTE	SPESSORE [mm]	MASSA SUPERFICIALE
Parete interna realizzata a quattro lastre in gessofibra sp. 1,25 cm ciascuna, due per parte con interposto doppio pannello isolante in lana di roccia tipo Rockwool mod. 211, densità 40 kg/mc sp. 4,0 cm, montati su montanti in acciaio zincato a forma di C, sezione 50 mm sp. 0,6 mm, e su due guide, inferiore e superiore con profili in acciaio zincato a forma di U, dimensione della sezione 40x50 mm sp. 0,6 mm. La parete poggia, per la sua intera lunghezza su strato di materiale antivibrante.	160	45,80 kg/mq
	1. Lastra in Gesso fibra sp. 1,25 cm 2. Lastra in Gesso fibfra sp. 1,25 cm 3. Orditura metallica sp. 5,0 cm con interposto pannello in lana di roccia tipo Rockwool 211 sp. 4,0 cm 4. Intercapedine aia sp. 1,0 cm 5. Orditura metallica sp. 5,0 cm con interposto pannello in lana di roccia tipo Rockwool 211 sp. 4,0 cm 6. Lastra in Gesso fibra sp. 1,25 cm 7. Lastra in Gesso fibra sp. 1,25 cm	
POTERE FONOISOLANTE	**R_W = 64,0 dB**	

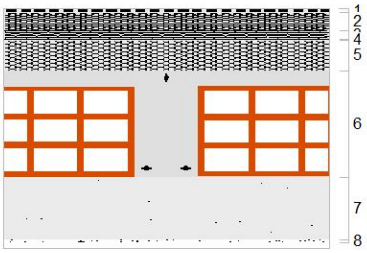
SOLAIO PIANO TERRA	**SOL01**	
DESCRIZIONE COMPONENTE	SPESSORE [mm]	MASSA SUPERFICIALE
Solaio aerato realizzato con igloo e sottofondo di cemento magro sp. 10,0 cm, soletta in cls con rete, densità 2400 kg/mc sp. 5,0 cm; l'isolamento per il calpestio è realizzato con pavimento galleggiante con sottofondo di argilla espansa, densità 800 kg/mc sp. 10,0 cm, e sottofondo in sabbia e cemento, densità 2000 kg/mc sp. 6,5 cm, con interposto pannello isolante in polistirene espanso estruso, per il contenimento del pannello radiante sp.3,0 cm, e isolante anticalpestio tipo ISOLGOMMA Grey G5 sp. 0,5 cm rigidità dinamica 26 NM/mc o equivalente i, pavimento in gres sp.1,5.	1395,1	1764,68 kg/mq



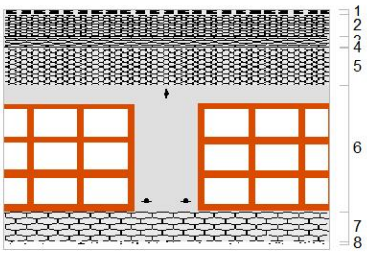
1. Piastrelle in gres sp. 1,5 cm
2. Sottofondo sabbia e cemento sp. 6,5 cm
3. Pannello isolante in polistirene espanso estruso sp. 3,0 cm
4. Pannello anticalpestio sp. 0,5 cm
5. Sottofondo di argilla espansa sp. 10,0 cm
6. Pannello isolante in polistirene espanso estruso sp. 8,0 cm
7. Polietilene in fogli sp. 0,1 cm
8. Soletta in cls con rete sp. 5,0 cm
9. Intercapedine aria sp. 45,0 cm
10. Massetto in cls con rete sp. 5,0 cm
11. Sottofondo di cemento magro sp. 10,0 cm

POTERE FONOISOLANTE A SOLAIO NUDO	**R_W = 54,0 dB**
LIVELLO NORMALIZZATO DI CALPESTIO	**L_w = 81,4 dB**

SOLAIO INTERPIANO	**SOL02**	
DESCRIZIONE COMPONENTE	SPESSORE [mm]	MASSA SUPERFICIALE
Solaio in predalles sp. 32,0 cm; l'isolamento per il calpestio è del tipo a pavimento galleggiante con sottofondo di argilla espansa, densità 800 kg/mc sp. 10,0 cm, e sottofondo in sabbia e cemento, densità 2000 kg/mc sp. 6,0 cm, con interposto pannello isolante in polistirene espanso estruso, per il contenimento del pannello radiante, densità 50 kg/mc sp. 3,0 cm, e isolante anticalpestio, tipo ISOLGOMMA Grey G5 sp. 0,5 cm rigidità dinamica 26 NM/mc o equivalente, pavimento in gres sp.1,5, controsoffitto con intercapedine aria sp. 20,0 cm e pannello in cartongesso.	760,0	728,36 kg/mq

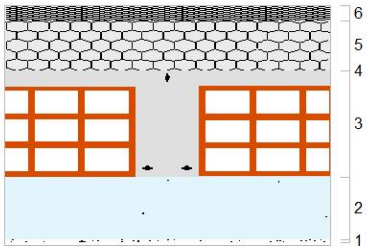
	1. Piastrelle in gres sp. 1,5 cm 2. Sottofondo sabbia e cemento sp. 6,0 cm 3. Pannello isolante in polistirene espanso estruso sp. 3,0 cm 4. Pannello anticalpestio sp. 0,5 cm 5. Sottofondo di argilla espansa sp. 10,0 cm 6. Solaio Predalles sp. 32,0 cm 7. Intercapedine aria sp. 20,0 cm 8. Pannello in cartongesso sp. 1,0 cm
POTERE FONOISOLANTE A SOLAIO NUDO	**R_W = 54,0 dB**
LIVELLO NORMALIZZATO DI CALPESTIO	**L_w = 81,4 dB**

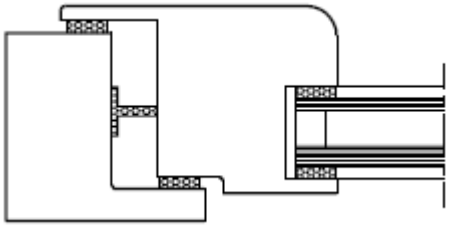
SOLAIO DI CALPESTIO SALA INSEGNANTI	**SOL03**	
DESCRIZIONE COMPONENTE	SPESSORE [mm]	MASSA SUPERFICIALE
Solaio in predalles sp. 32,0 cm; l'isolamento per il calpestio è del tipo a pavimento galleggiante con sottofondo di argilla espansa, densità 800 kg/mc sp. 10,0 cm, e sottofondo in sabbia e cemento, densità 2000 kg/mc sp. 6,0 cm, con interposto pannello isolante in polistirene espanso estruso, per il contenimento del pannello radiante, densità 50 kg/mc sp. 3,0 cm, e isolante anticalpestio, tipo ISOLGOMMA Grey G5 sp. 0,5 cm rigidità dinamica 26 NM/mc o equivalente, pavimento in gres sp.1,5, controsoffitto con pannello in Stiferite Class SK o similare, densità 35 kg/mc sp. 8,0 cm e pannello in cartongesso.	640,0	730,90 kg/mq



1. Piastrelle in gres sp. 1,5 cm
2. Sottofondo sabbia e cemento sp. 6,0 cm
3. Pannello isolante in polistirene espanso estruso sp. 3,0 cm
4. Pannello anticalpestio sp. 0,5 cm
5. Sottofondo di argilla espansa sp. 10,0 cm
6. Solaio Predalles sp. 32,0 cm
7. Pannello isolante in Stiferite Class SK sp. 8,0 cm
8. Pannello in cartongesso sp. 1,0 cm

POTERE FONOISOLANTE A SOLAIO NUDO	**R_W = 54,0 dB**
LIVELLO NORMALIZZATO DI CALPESTIO	**L_w = 81,4 dB**

COPERTURA	**COP01**	
DESCRIZIONE COMPONENTE	SPESSORE [mm]	MASSA SUPERFICIALE
Copertura inclinata realizzata con soletta in laterizio sp. 22,0 cm, massetto in cls con rete, densità 2400 kg/mc sp. 5,0 cm, guaina traspirante sp. 0,4 cm, isolata con pannello in lana di roccia, ditta Rockwool mod. Durock o equivalente sp. 16,0 cm, e coperta in alluminio.	762,0	586,66 kg/mq
	1. Pannello in cartongesso sp. 1,0 cm 2. Intercapedine aria sp. 20,0 cm 3. Solaio Predalles sp. 32,0 cm 4. Velo di vetro bitumato sp. 0,2 cm 5. Pannello isolante in polistirene espanso estruso sp. 16,0 cm 6. Sottofondo sabbia e cemento sp. 5,0 cm	
POTERE FONOISOLANTE	**R_W = 54,0 dB**	

SUPERFICI VETRATE	**FIN01**	
DESCRIZIONE COMPONENTE	SPESSORE [mm]	POTERE FONOISOLANTE
Serramento in PVC taglio termico, avente potere fonoisolante misurato sperimentalmente uguale o maggiore di 44 dB e con guarnizione esterna in corrispondenza della battuta dei telai, guarnizione centrale e guarnizione interna.	-	**R_W = 44,0 dB**
		

Per isolare la parete esterna in maniera precisa occorre tenere in considerazione gli elementi di facciata e di separazione tra ambiente di seguito descritti

Porte

Il potere fonoisolante di progetto, R_w, del serramento è valutato in conformità alla norma UNI EN 12354-3:2002 appendice B sulla base delle prestazioni di isolamento acustico offerte dal tamponamento di facciata, della superficie opaca del tamponamento, delle dimensioni della porta di accesso.

Le porte esterne di ogni aula dovranno essere realizzate con una massa superficiale adeguata, per facilitare il raggiungimento di un adeguato requisito acustico passivo.

Si consiglia una porta all'ingresso delle Aule avente un potere fonoisolante non inferiore ai 32,0 dB.

Occorrerà che la tolleranza di battuta tra la porta e il telaio non deve essere superiore ai 6 mm, in senso verticale, e ai 3 mm in senso orizzontale. E' importante che la sigillatura delle battute venga fatta con l'uso di appositi nastri autoadesivi in gomma o neoprene che vengono compressi nella battuta tra porta e telaio. E' importante che il telaio sia fissato alla muratura in modo da evitare cavità o crepe e che sia effettuata una adeguata sigillatura della parte bassa della porta.

Isolamento tra differenti aule

Per evitare ponti acustici che in sede di calcolo non possono essere previsti occorre anche in questo caso prestare particolare attenzione agli errori di posa, come ad esempio una parete divisoria in cui non vengono curati i giunti verticali, tracce impiantistiche e scatole elettriche che indeboliranno il potere fonoisolante della parete creando ponti acustici. Un altro errore tipico che si riscontra con le controparti laterali è quello mostrato nella figura 1, in cui è evidenziato il passaggio preferenziale di rumore attraverso il ponte acustico creato nel nodo parete divisoria-perimetrale.

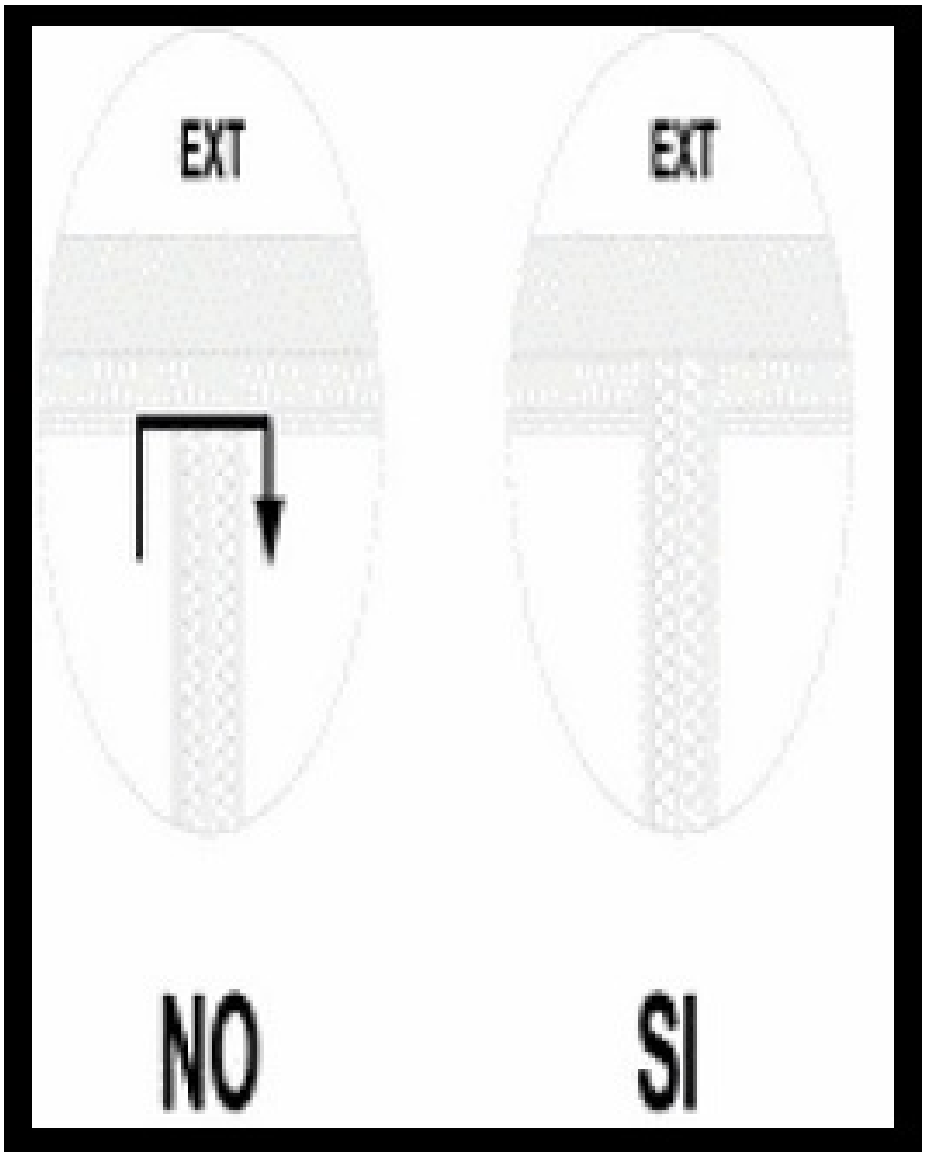


Figura 1 – Indicazione posa in opera parete divisoria con parete perimetrale

<u>Isolamento dai rumori di calpestio</u>

Per limitare i ponti acustici per limitare la trasmissione di rumori di calpestio da un ambiente all'altro è necessario staccare completamente il pavimento emittente dal solaio che lo sostiene attraverso un materiale elastico. Il concetto principale è quello di disconnettere il più possibile il pavimento da tutte le strutture rigide circostanti per impedire il passaggio delle vibrazioni e quindi dell'onda sonora. Ogni contatto rigido creato per errore durante la posa del sistema è a tutti gli effetti un ponte acustico.

Occorre quindi seguire le precise indicazioni, fornite dai produttori di sistemi per l'isolamento di calpestio, su come posare i propri materiali senza incorrere in errori.

Isolamento dai rumori degli impianti a funzionamento continuo e discontinuo

Gli impianti tecnologici sono fonte di vibrazioni che si trasmettono attraverso le strutture rigide e si propagano all'interno degli ambienti abitativi sotto forma di rumore di solito molto disturbante. Anche per gli impianti il concetto più importante è quello di interrompere tutte le vie di passaggio delle vibrazioni con l'interposizione di materiali elastici che funzionano come ammortizzatori tra impianti e strutture. Per evitare i ponti acustici occorre seguire le indicazioni del produttore del sistema per posare correttamente.

5.2 Potere fonoisolante apparente di partizioni verticali – orizzontali (R'_W)

L'applicazione delle formulazioni riportate sopra, considerate le caratteristiche dimensionali dei singoli elementi che costituiscono le pareti dell'edificio, le dimensioni interne dei singoli ambienti e l'indice di valutazione (R_W) del potere fonoisolante medio dei singoli elementi, con stratigrafia indicata dal progettista e riportata nei precedenti paragrafi, ha fornito i seguenti risultati teorico/previsionali.

I calcoli sono stati fatti su partizioni di aule tipo.

Partizioni Verticali

PT – AULA 1 – AULA 2		
Vol. ambiente sorgente (m^3)	186,90	
Vol. ambiente ricevente (m^3)	186,00	
Superficie parete (m^2)	16,20	
	Valore di riferimento	**Valore di progetto**
Indice R'_W	**56,0**	**60,7**
Indice Dn,Tw	**50,0**	**66,5**

PT – AULA 3 – AULA 4		
Vol. ambiente sorgente (m^3)	243,90	
Vol. ambiente ricevente (m^3)	191,10	
Superficie parete (m^2)	21,10	
	Valore di riferimento	**Valore di progetto**
Indice R'_W	**56,0**	**58,6**
Indice Dn,Tw	**50,0**	**63,4**

PT – AULA 4 – AULA 5		
Vol. ambiente sorgente (m^3)	243,90	
Vol. ambiente ricevente (m^3)	201,00	
Superficie parete (m^2)	21,10	
	Valore di riferimento	**Valore di progetto**
Indice R'_W	**56,0**	**58,6**
Indice Dn,Tw	**50,0**	**63,6**

P1 – AULA 1 – AULA 2		
Vol. ambiente sorgente (m^3)	187,20	
Vol. ambiente ricevente (m^3)	186,90	
Superficie parete (m^2)	16,20	
	Valore di riferimento	**Valore di progetto**
Indice R'_W	**56,0**	**60,6**
Indice Dn,Tw	**50,0**	**66,4**

P1 – AULA 3 – AULA 4		
Vol. ambiente sorgente (m^3)	171,90	
Vol. ambiente ricevente (m^3)	170,10	
Superficie parete (m^2)	21,40	
	Valore di riferimento	**Valore di progetto**
Indice R'_W	**56,0**	**58,6**
Indice Dn,Tw	**50,0**	**62,9**

P1 – AULA 4 – AULA 5		
Vol. ambiente sorgente (m^3)	172,20	
Vol. ambiente ricevente (m^3)	170,10	
Superficie parete (m^2)	24,30	
	Valore di riferimento	**Valore di progetto**
Indice R'_W	**56,0**	**58,9**
Indice Dn,Tw	**50,0**	**62,1**

P1 – AULA 2 – UFFICIO		
Vol. ambiente sorgente (m^3)	187,20	
Vol. ambiente ricevente (m^3)	49,80	
Superficie parete (m^2)	9,82	
	Valore di riferimento	**Valore di progetto**
Indice R'_W	**56,0**	**57,0**
Indice Dn,Tw	**50,0**	**59,2**

P2 – AULA 1 – AULA 2		
Vol. ambiente sorgente (m^3)	186,90	
Vol. ambiente ricevente (m^3)	130,50	
Superficie parete (m^2)	16,20	
	Valore di riferimento	**Valore di progetto**
Indice R'_W	**56,0**	**57,8**
Indice Dn,Tw	**50,0**	**62,0**

P2 – AULA 3 – AULA 4		
Vol. ambiente sorgente (m^3)	171,90	
Vol. ambiente ricevente (m^3)	170,10	
Superficie parete (m^2)	21,40	
	Valore di riferimento	**Valore di progetto**
Indice R'_W	**56,0**	**58,6**
Indice Dn,Tw	**50,0**	**62,9**

P2 – AULA 4 – AULA 5		
Vol. ambiente sorgente (m^3)	172,20	
Vol. ambiente ricevente (m^3)	170,10	
Superficie parete (m^2)	24,30	
	Valore di riferimento	**Valore di progetto**
Indice R'_W	**56,0**	**58,9**
Indice Dn,Tw	**50,0**	**62,1**

Le pareti divisorie devono essere realizzate anche sopra il controsoffitto, fino al solaio superiore.

Il calcolo deve considerarsi teorico ipotizzando che la parete sia stata realizzata secondo regola dell'arte.

L'impianto elettrico sarà realizzato in maniera tale che le tracce siano più piccole possibili, siano realizzate a regola d'arte in maniera tale che la parete non perda la massa volumica, e che le tubazioni, ove possibile passino all'interno della parete divisoria, in modo da far perdere il meno possibile alla parete divisoria il potere fonoisolante.

Partizioni Orizzontali

In considerazione della massa superficiali dei solai interpiano e vista la presenza degli strati soprastanti destinati ad ospitare il massetto di sacrificio per gli impianti, lo strato resiliente e la pavimentazione, la presenza all'intradosso di controsoffitto ecc. il potere fonoisolante delle partizioni orizzontali risulta ampiamente verificato indipendentemente dal volume degli ambienti e dal contributo delle trasmissioni laterali.

5.3 Calcolo dell'isolamento acustico standardizzato di facciata ($D_{2m,nT,w}$)

Per l'isolamento acustico standardizzato si è andata ad analizzare le facciate ritenute acusticamente più sfavorite ovvero quella con maggiore superficie vetrata.

L'applicazione delle formulazioni di calcolo, considerate le caratteristiche dimensionali dei singoli elementi che andranno a costituire le facciate esterne, le dimensioni interne dei singoli ambienti e l'indice di valutazione (R_W) del potere fonoisolante medio dei singoli elementi, ha fornito i seguenti risultati teorico/previsionali:

PT – AULA 1		
Volume (m^3)	186,90	
Superficie facciata (m^2)	37,44	
Superficie infissi (m^2)	10,67	
Forma della facciata	0dB	
Trasmissioni laterali K	2	
	Valore di riferimento	**Valore di progetto**
$D_{2m,nT,w}$	**48,0**	**50,4**

PT – AULA 2		
Volume (m^3)	186,00	
Superficie facciata (m^2)	37,44	
Superficie infissi (m^2)	10,67	
Forma della facciata	0dB	
Trasmissioni laterali K	2	
	Valore di riferimento	**Valore di progetto**
$D_{2m,nT,w}$	**48,0**	**50,3**

PT – AULA 3		
Volume (m^3)	191,10	
Superficie facciata (m^2)	17,65	
Superficie infissi (m^2)	9,85	
Forma della facciata	-1dB	
Trasmissioni laterali K	2	
	Valore di riferimento	**Valore di progetto**
$D_{2m,nT,w}$	**48,0**	**50,9**

PT – AULA 4		
Volume (m^3)	243,90	
Superficie facciata (m^2)	35,84	
Superficie infissi (m^2)	10,96	
Forma della facciata	-1dB	
Trasmissioni laterali K	2	
	Valore di riferimento	**Valore di progetto**
$D_{2m,nT,w}$	**48,0**	**51,4**

PT – AULA 5		
Volume (m^3)	201,00	
Superficie facciata (m^2)	17,65	
Superficie infissi (m^2)	9,85	
Forma della facciata	-1dB	
Trasmissioni laterali K	2	
	Valore di riferimento	**Valore di progetto**
$D_{2m,nT,w}$	**48,0**	**51,1**

P1 – AULA 1		
Volume (m^3)	186,90	
Superficie facciata (m^2)	37,66	
Superficie infissi (m^2)	9,81	
Forma della facciata	0dB	
Trasmissioni laterali K	2	
	Valore di riferimento	**Valore di progetto**
$D_{2m,nT,w}$	**48,0**	**51,7**

P1 – AULA 2		
Volume (m^3)	187,20	
Superficie facciata (m^2)	37,66	
Superficie infissi (m^2)	9,81	
Forma della facciata	0dB	
Trasmissioni laterali K	2	
	Valore di riferimento	**Valore di progetto**
$D_{2m,nT,w}$	**48,0**	**51,8**

P1 – AULA 3		
Volume (m^3)	171,90	
Superficie facciata (m^2)	24,74	
Superficie infissi (m^2)	7,04	
Forma della facciata	0dB	
Trasmissioni laterali K	2	
	Valore di riferimento	**Valore di progetto**
$D_{2m,nT,w}$	**48,0**	**50,8**

P1 – AULA 4		
Volume (m^3)	170,10	
Superficie facciata (m^2)	24,86	
Superficie infissi (m^2)	8,24	
Forma della facciata	0dB	
Trasmissioni laterali K	2	
	Valore di riferimento	**Valore di progetto**
$D_{2m,nT,w}$	**48,0**	**50,1**

P1 – AULA 5		
Volume (m^3)	172,20	
Superficie facciata (m^2)	24,77	
Superficie infissi (m^2)	7,04	
Forma della facciata	0dB	
Trasmissioni laterali K	2	
	Valore di riferimento	**Valore di progetto**
$D_{2m,nT,w}$	**48,0**	**50,8**

P1 – SALA INSEGNANTI		
Volume (m^3)	153,90	
Superficie facciata (m^2)	32,70	
Superficie infissi (m^2)	9,20	
Forma della facciata	0dB	
Trasmissioni laterali K	2	
	Valore di riferimento	**Valore di progetto**
$D_{2m,nT,w}$	**48,0**	**49,2**

P2 – AULA 1		
Volume (m^3)	186,90	
Superficie facciata (m^2)	37,66	
Superficie infissi (m^2)	9,74	
Forma della facciata	0dB	
Trasmissioni laterali K	2	
	Valore di riferimento	**Valore di progetto**
$D_{2m,nT,w}$	**48,0**	**51,7**

P2 – AULA 2		
Volume (m^3)	130,50	
Superficie facciata (m^2)	26,84	
Superficie infissi (m^2)	7,04	
Forma della facciata	0dB	
Trasmissioni laterali K	2	
	Valore di riferimento	**Valore di progetto**
$D_{2m,nT,w}$	**48,0**	**49,6**

P2 – AULA 3		
Volume (m^3)	171,90	
Superficie facciata (m^2)	24,74	
Superficie infissi (m^2)	7,04	
Forma della facciata	0dB	
Trasmissioni laterali K	2	
	Valore di riferimento	**Valore di progetto**
$D_{2m,nT,w}$	**48,0**	**50,8**

P2 – AULA 4		
Volume (m^3)	170,10	
Superficie facciata (m^2)	24,86	
Superficie infissi (m^2)	8,24	
Forma della facciata	0dB	
Trasmissioni laterali K	2	
	Valore di riferimento	**Valore di progetto**
$D_{2m,nT,w}$	**48,0**	**50,1**

P2 – AULA 5		
Volume (m^3)	172,20	
Superficie facciata (m^2)	24,74	
Superficie infissi (m^2)	7,04	
Forma della facciata	0dB	
Trasmissioni laterali K	2	
	Valore di riferimento	**Valore di progetto**
$D_{2m,nT,w}$	**48,0**	**50,8**

P2 – UFFICIO		
Volume (m^3)	49,80	
Superficie facciata (m^2)	13,76	
Superficie infissi (m^2)	2,40	
Forma della facciata	0dB	
Trasmissioni laterali K	2	
	Valore di riferimento	**Valore di progetto**
$D_{2m,nT,w}$	**48,0**	**50,0**

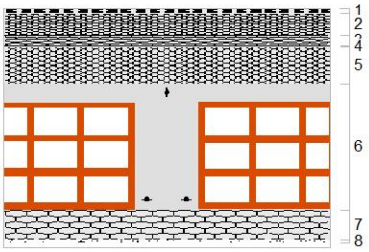
Il calcolo deve considerarsi teorico ipotizzando che la parete sia stata realizzata secondo regola dell'arte.

5.4 Calcolo del livello di rumore di calpestio di solai normalizzato ($L'_{n,w}$)

Per l'ottenimento di un risultato conforme è stata scelta la soluzione del "pavimento galleggiante". Il massetto flottante infatti è la soluzione ideale per l'isolamento al calpestio. Il sistema è realizzato in modo da creare una massa, costituita da massetto e pavimentazione, posizionata sopra un materassino resiliente che ricopre il ruolo di molla con funzione smorzante. Con il sistema "pavimento galleggiante" si riducono le

onde sonore prodotte dal calpestio e dai rumori impattivi che si trasmettono al pavimento dalla movimentazione di oggetti.

La stratigrafia del pavimento galleggiante è quella già indicata prima nel pavimento interpiano, sotto riportata:

	1. Piastrelle in gres sp. 1,5 cm 2. Sottofondo sabbia e cemento sp. 6,0 cm 3. Pannello isolante in polistirene espanso estruso sp. 3,0 cm **4. Pannello anticalpestio sp. 0,5 cm** 5. Sottofondo di argilla espansa sp. 10,0 cm 6. Solaio Predalles sp. 32,0 cm 7. Intercapedine aria sp. 20,0 cm 8. Pannello in cartongesso sp. 1,0 cm

Tab. 12 – Stratigrafia solaio interpiano tipo

Sono riportati esempi di calcolo per alcuni locali considerando che gli altri locali hanno caratteristiche, di dimensioni e geometria, simili a questi. I calcoli hanno fornito i seguenti indici di livello di rumore di calpestio:

P1 AULA 1 – PT AULA 1	
Volume ricevente(m^3)	186,90
Superficie	62,30
Strato addizionale	Si
$L'_{n,w}$	**50,8**

P1 AULA 2 – P0 AULA 2	
Volume ricevente(m^3)	186,00
Superficie	62,00
Strato addizionale	Si
$L'_{n,w}$	**50,8**

P1 AULA 3 – P0 AULA 3	
Volume ricevente(m^3)	110,01
Superficie	36,67
Strato addizionale	Si
$L'_{n,w}$	**50,9**

P1 AULA 4 – P0 AULA 4	
Volume ricevente(m^3)	243,90
Superficie	56,70
Strato addizionale	Si
$L'_{n,w}$	**50,4**

P1 AULA 5 – P0 AULA 5	
Volume ricevente(m^3)	201,00
Superficie	57,40
Strato addizionale	Si
$L'_{n,w}$	**50,6**

P2 AULA 2 – P1 AULA 2	
Volume ricevente(m^3)	187,20
Superficie	43,50
Strato addizionale	Si
$L'_{n,w}$	**50,7**

P2 AULA 3 – P1 AULA 3	
Volume ricevente(m^3)	171,90
Superficie	57,30
Strato addizionale	Si
$L'_{n,w}$	**50,4**

P2 AULA 4 – P1 AULA 4	
Volume ricevente(m^3)	170,10
Superficie	56,70
Strato addizionale	Si
$L'_{n,w}$	**50,4**

P2 AULA 5 – P1 AULA 5	
Volume ricevente(m^3)	172,20
Superficie	57,40
Strato addizionale	Si
$L'_{n,w}$	**50,4**

Il calcolo mediante le formule descritte sopra, considerando le caratteristiche progettuali dell'edificio, ha fornito, un indice di valutazione del livello di rumore di calpestio inferiore ai limiti, di cui al D.P.C.M. 05/12/1997 e/o D.M. 11 Ottobre 2017, per i locali con destinazione d'uso scolastica.

Si precisa inoltre che i materiali dovranno essere scelti previa verifica delle loro caratteristiche mediante l'acquisizione della certificazione degli stessi.

5.5 Tempo di Riverberazione dei Locali e Valutazione STI

Per la verifica della qualità acustica degli ambienti interni si fa riferimento a diversi parametri, di cui il più importante e conosciuto risulta essere il tempo di riverberazione, che rappresenta il tempo necessario affinché un livello sonoro stazionario presente nell'ambiente decada di 60 dB ed influenza in maniera sensibile la qualità percettiva della voce e della musica.

I valori limite ottimali sono definiti dal Decreto Ministeriale del 18/12/1975, e dal D.M. 11 Ottobre 2017 Criteri Ambientali Minimi "per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici":

- Per le aule la media dei tempi di riverberazione misurati alle frequenze 250 - 500 - 1000 - 2000 Hz, non deve superare 1,2 sec ad aula arredata, con la presenza di due persone al massimo;

E' stato calcolato il tempo di riverbero delle aule che secondo normativa deve essere

$$T60 < 1,2 \text{ sec}$$

Per il calcolo del valore del Tempo di riverbero sono state adottate le seguenti ipotesi di base:

- Materiale costituente le pareti verticali: cartongesso in lastre con pitturazione;
- Materiale costituente la pavimentazione: piastrelle in gres;
- Superfici vetrate pesanti prive di tendaggi;
- Materiale costituente il controsoffitto: Pannelli in cartongesso fonoassorbente sp. 10 mm;
- Percentuale del 50% della superficie in pianta occupata da arredi nelle aule scolastiche;

Dai calcoli effettuati il tempo di riverbero per alcune aule scolastiche tipo è sempre inferiore al limite normativo i cui valori vengono riportati in tabella:

Elenco Aule	**Tempo di riverbero T60 (sec)**	**Valore limite T60 (sec)**
Piano Terra		
Aula 1	**0,5**	1,2
Aula 3	**0,5**	1,2
Aula 4	**0,5**	1,2
Piano Primo		
Aula 3	**0,5**	1,2
Aula 4	**0,5**	1,2

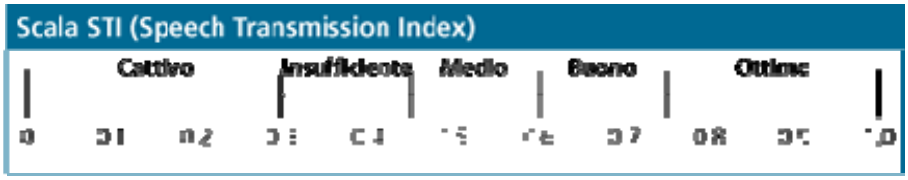
Tab. 13 – Tempo di riverbero di alcuni locali

Nelle aule scolastiche si può ipotizzare inoltre un buon livello di intelligibilità della parola, della qualità di ascolto e di comprensione di una conversazione, che sono strettamente correlati al tempo di riverbero.

Sono numerosi i fattori che influiscono sul livello di intelligibilità della parola e, tra questi, il segnale della parola in sé stesso, la direzione del suono, il livello di rumore di fondo, il tempo di riverbero e la configurazione del locale.

Il modo più diffuso di esprimere il livello di intelligibilità della parola è l'uso di indici di intelligibilità della parola (STI: Speech Transmission Index) su una scala da 0 a 1, e l'indice di chiarezza (C50).

I valori di STI che si possono ottenere sono quelli riportati in tabella:



Il valore STI opportuno per un'aula scolastica deve essere superiore a 0,55, e l'indice di chiarezza C50 deve essere superiore a 2.

I calcoli effettuati hanno fornito i seguenti risultati:

Elenco Aule	**STI > 0,55**	**Qualità del parlato (CEI EN60268-16)**	**C50 min = 2**
Piano Terra			
Aula 1	**0,63**	**Buono**	**4,69**
Aula 3	**0,63**	**Buono**	**4,67**
Aula 4	**0,61**	**Buono**	**4,25**
Piano Primo			
Aula 3	**0,64**	**Buono**	**4,76**
Aula 4	**0,64**	**Buono**	**4,77**

Tab. 7–Valori calcolati dei parametri C50 e STI per alcuni locali

5.6 Impianti a funzionamento discontinuo

La rumorosità prodotta dagli impianti tecnologici non deve superare i seguenti limiti:

1. 35 dB(A) L_{Amax} per i servizi a funzionamento discontinuo;
2. 25 dB(A) L_{Aeq} per i servizi a funzionamento continuo.

Per quanto riguarda il livello sonoro derivante dagli impianti, risulta al momento essere rispettato, con valori di L_{Aeq} < 25 dB e valori di $L_{AS,max}$ < 35 dB. Dovranno essere comunque adottate tutte le misure per il corretto posizionamento e posa in opera di tali impianti al fine di rispettare i valori limite imposti dalla legge.

<u>Impianti a funzionamento discontinuo</u>

Per quanto riguarda gli impianti a funzionamento discontinuo quali ascensori, scarichi idraulici, servizi igienici, ecc. a servizio dell'edificio si raccomanda di porre la massima attenzione nel disaccoppiamento dell'impianto stesso dalla struttura dell'edificio e di prediligere sistemi certificati acusticamente.

Di seguito gli interventi da realizzare per prevenire e/o ridurre il disturbo verso gli utenti dell'edificio.

Tubazioni (tipo di funzionamento: Discontinuo)

Interventi:

- A monte dell'impianto dovrà essere installato un riduttore di pressione.
- Le tubazioni di distribuzione principale dovranno essere racchiuse in appositi cavedi con adeguato potere fonoisolante.

Scarichi (tipo di funzionamento: Discontinuo)

Interventi:

- Non dovranno essere utilizzate connessioni rigide con le strutture.
- La sezione del collettore dovrà essere aumentata per ridurre la velocità di deflusso delle acque.
- Dovranno essere evitate le pendenze elevate del tubo di collegamento fra sifone e colonna di scarico, per ridurre i tipici "gorgoglii".

Gli scarichi potenzialmente rumorosi dovranno essere realizzati con tubazioni in polipropilene insonorizzato a tre strati (con densità 1,2-1,5 kg/dmc) e dotati di bicchiere di innesto guarnizione elastomerica preinstallata e/o opportunamente isolati mediante una guaina, Sonik NS/70, comunque con materiali con densità non inferiore a 100 kg/mc. La colonna di scarico principale dovrà essere realizzata all'interno di un cavedio in muratura apposito. Le tubazioni dovranno essere fissate tramite l'utilizzo di collari corredati da kit fonoassorbente; i cambiamenti di direzione dovranno essere fatti al di sotto della soletta evitando curve a 90° con tratti di smorzamento con due curve a 45° separate da un tratto uguale a due volte il diametro.

Impianti a funzionamento continuo

Gli interventi da suggerire e da adottare e per prevenire e/o ridurre il disturbo dovuto agli impianti a funzionamento continuo verso gli utenti dell'edificio sono:

Impianti di riscaldamento (tipo di funzionamento: Continuo)

Interventi:

- Le tubazioni dovranno essere dotate di giunti elastici e ancoraggi flessibili.
- Il sistema di generazione, chiller a pompa di calore, posto all'esterno dovrà essere schermata con struttura ad elevato potere fonoisolante.

Impianti elettrici (tipo di funzionamento: Continuo)

Interventi:

- Le scatole elettriche e i quadri elettrici non dovranno essere posizionati sui due lati di una stessa parete in corrispondenza l'uno dell'altro.

6 REQUISITI MINIMI PER L'OTTENIMENTO DEL RISULTATO ACUSTICO

La normativa vigente normativa consente di valutare il rispetto dei requisiti acustici passivi degli edifici a posteriori, cioè ad ultimazione delle opere. E' importante pertanto ricordare che la garanzia del risultato auspicato può ragionevolmente essere raggiunta soltanto nel caso di perfetta esecuzione a regola d'arte. Si consiglia quindi di prestare particolare attenzione a tutti i suggerimenti di posa indicati dai fornitori per ridurre al minimo il peggioramento della prestazione acustica dovuto sia al fiancheggiamento che alla non accurata fase di realizzazione.

Per ottenere i requisiti acustici preventivati in sede di progetto, di seguito vengono forniti alcuni suggerimenti e alcune fondamentali regole nella posa dei materiali.

Solaio

- Il sottofondo di posa deve essere liscio e pulito.
- Realizzare tutte le tamponature interne, opportunamente scollegate dai solai con un supporto elastico sottile da posizionare sotto i paramenti;
- Applicare fascia perimetrale acustica profilo angolare in aderenza a tutte le murature, pilastri soglie ecc. onde evitare connessioni rigide tra le strutture orizzontali e quelle verticali. Evitare bolle d'aria nella applicazione della fascia e permettere alla fascia di debordare dalla quota del massetto finito e della successiva pavimentazione

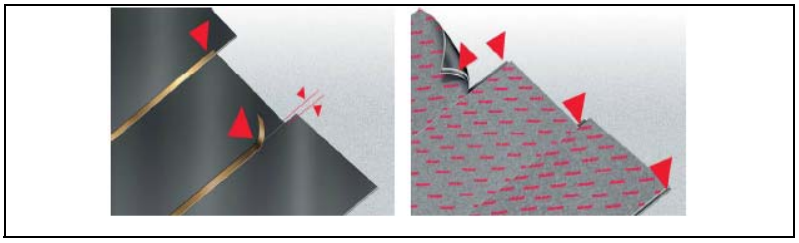


Figura 2 – Posa in opera del pannello anticalpestio e nastratura

- Fare attenzione alla realizzazione degli angoli concavi e convessi, e al posizionamento della striscia attorno a muri di separazione di ambienti aperti.
- Sopra il massetto, avendo cura di evitare interruzioni, dovrà essere posizionato l'isolante composto da granuli di gomma EPDM ancorati a caldo con lattice

carbossidato ad un supporto in tessuto non tessuto antistrappo da 100 g/mq con bordo laterale per la sovrapposizione dei rotoli

- Accostare i pannelli tra di loro, evitando la formazione di vuoti dietro l'isolante, coprendo interamente la striscia perimetrale, sigillando le giunzioni dei rotoli con apposito nastro in tessuto antistrappo "Stick";

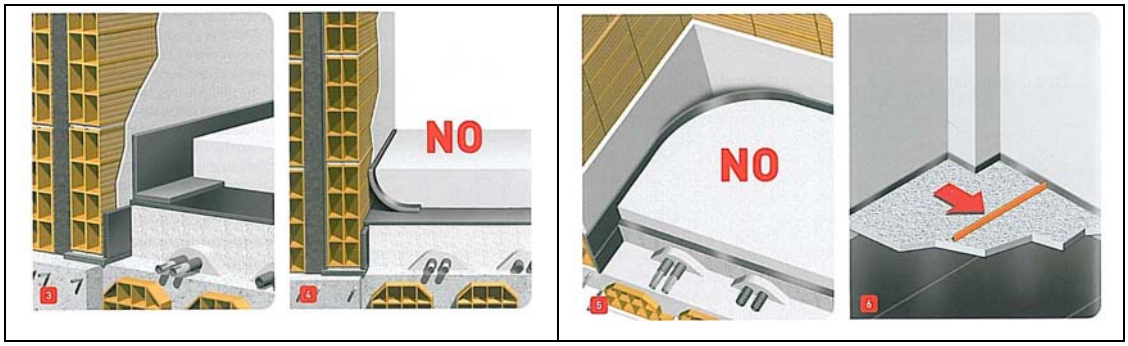


Figura 3 – Particolare posa della fascia tagliamuro e perimetrale

- Prima di procedere alla posa del massetto di finitura verificare di avere effettuato una perfetta vasca a tenuta all'interno della quale il massetto possa galleggiare senza connessioni rigide né con il solaio né con le pareti;
- Realizzare il massetto di sabbia e cemento, di almeno 100 - 120 kg/mq;
- Per battiscopa in ceramica o marmo e rivestimenti in piastrella avere cura di lasciare qualche millimetro tra lo stesso e il pavimento quando viene incollato onde evitare una perdita di potere fono isolante per la trasmissione attraverso la coesione rigida tra pavimento battiscopa e muro
- Rifilare l'eccedenza della fascia solo a posa avvenuta della pavimentazione

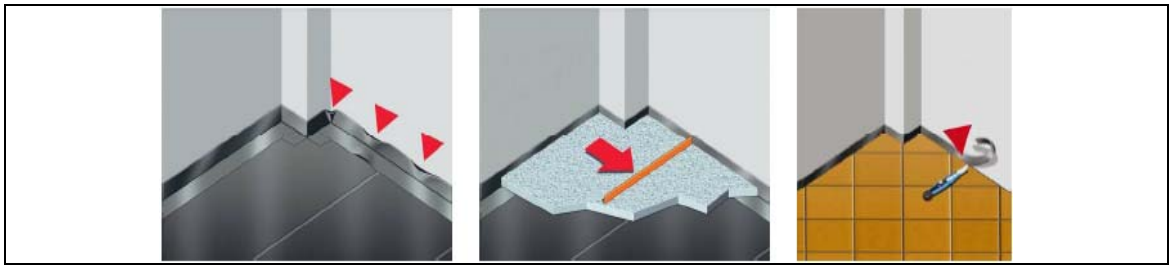


Figura 4 – Rifilatura fascia perimetrale

Parete divisoria

- Applicare sotto i paramenti uno strato desolarizzante per scollegare le parti rigide e impedire la trasmissione del rumore, tipo feltro ad alta grammatura avente una faccia impregnata a saturazione parziale da una speciale miscela bituminosa e rifinita con tessuto polipropilenico, massa superficiale 950 g/mq, sp. 2,8 mm, per impedire la trasmissione del rumore al piano sottostante attraverso la struttura orizzontale stessa;
- Mettere in opera le murature a regola d'arte senza fessurazioni;
- Realizzare la parete divisoria anche sopra l'eventuale controsoffitto;
- Gli impianto e le tubazioni di scarico dovranno passare attraverso appositi cavedi;
- I cavedi dovranno essere opportunamente insonorizzati tramite sulle superfici interne di un pannello isolante;
- L'installazione di scatole dell'impianto elettrico, la loro collocazione nelle pareti di separazione di locali differenti, deve essere sfalzata.

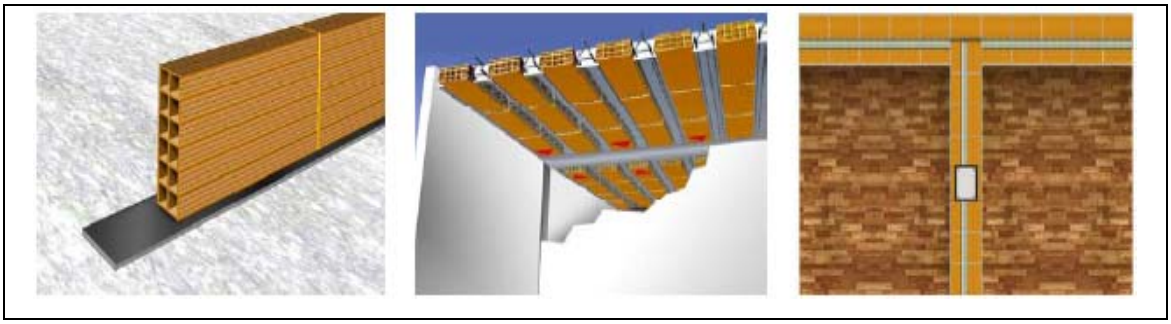


Figura 5 – Posa parete divisoria

Parete esterna

- La parete deve essere posata utilizzando le tradizionali tecniche costruttive a regola d'arte;
- Si raccomanda di realizzare la parete avendo cura di sigillare completamente tutti i giunti orizzontali e verticali con malta;

- Tutti gli infissi dovranno essere provvisti di apposita certificazione con marcatura CE ai sensi della norma UNI EN 14351. Il potere fonoisolante Rw si intende per l'intero infisso, vetro più serramento. Vista la richiesta di infissi con potere fonoisolante maggiore di 44 dB si prevede l'accettazione di infissi per i quali siano state effettuate certificazioni di potere fonoisolante Rw in laboratorio secondo la norma UNI EN 140-3.
- Le prestazioni in opera dei serramenti in generale dipendono, oltre che dalle sue caratteristiche intrinseche, dalla qualità dei vari componenti che lo costituiscono, dalla qualità del loro assemblaggio, dalla qualità del montaggio sul muro e da quella del muro medesimo. Sarà allora necessario eseguire al meglio il raccordo tra infisso e struttura muraria, riducendo quanto più possibile la presenza di spazi d'aria tra telaio fisso e struttura muraria attraverso la creazione di un giunto dotato di adeguati cordoli di sigillatura e di eventuali materiali di riempimento. In generale l'istallazione delle finestre dovrà essere eseguita secondo quanto previsto dalla norma UNI 10818:1999 e successive modifiche.
- Si raccomanda una esatta sigillatura della finestra con la parete. Per l'installazione di infissi certificati da un laboratorio accreditato, la posa dovrà essere effettuata a regola d'arte secondo le indicazioni di posa fornite dalla casa costruttrice; gli infissi dovranno essere corredati di tutti gli accessori ed i dispositivi di sigillatura previsti dalla casa costruttrice e posti in opera all'atto della certificazione del serramento;

Porte

Le porte delle aule dovranno essere realizzate con una massa superficiale adeguata. La tolleranza di battuta tra la porta e il telaio non dovrà essere superiore ai 6 mm, in senso verticale, e ai 3 mm in senso orizzontale. E' importante che la sigillatura delle battute venga fatta con l'uso di appositi nastri autoadesivi in gomma o neoprene che

dovranno essere compressi nella battuta tra porta e telaio. E' importante che il telaio sia fissato alla muratura in modo da evitare cavità o crepe e che sia effettuata una adeguata sigillatura della parte bassa della porta.

Tubazioni di scarico

- Utilizzare tubazioni in polipropilene mineralizzato insonorizzato a tre strati (con densità 1,2-1,5 kg/dmc), dotati di bicchiere di innesto guarnizione elastomerica monolabbro preinstallata;
- Avere cura di fasciare i tubi di scarico con Guaina isolante FonodBAM in polietilene espanso a celle chiuse dello sp. 5 mm; nel WC a solaio dovrà essere rivestito tutto il tratto di collegamento dello stesso alla colonna;
- Porre attenzione a realizzarne il fissaggio al muro attraverso collari di fissaggio in materiale plastico insonorizzante;
- L'eventuale fissaggio tra loro di vari tubi di scarico sarà fasciato con nastro autoadesivo;
- La cassetta WC dovrà essere insonorizzata;
- La colonna di scarico principale dovrà essere realizzata all'interno di un cavedio in muratura apposito in muratura di 140 kg/m^2.;
- I cambiamenti di direzione dovranno essere fatti al di sotto della soletta evitando curve a 90° con tratti di smorzamento con due curve a 45° separate da un tratto uguale a due volte il diametro.

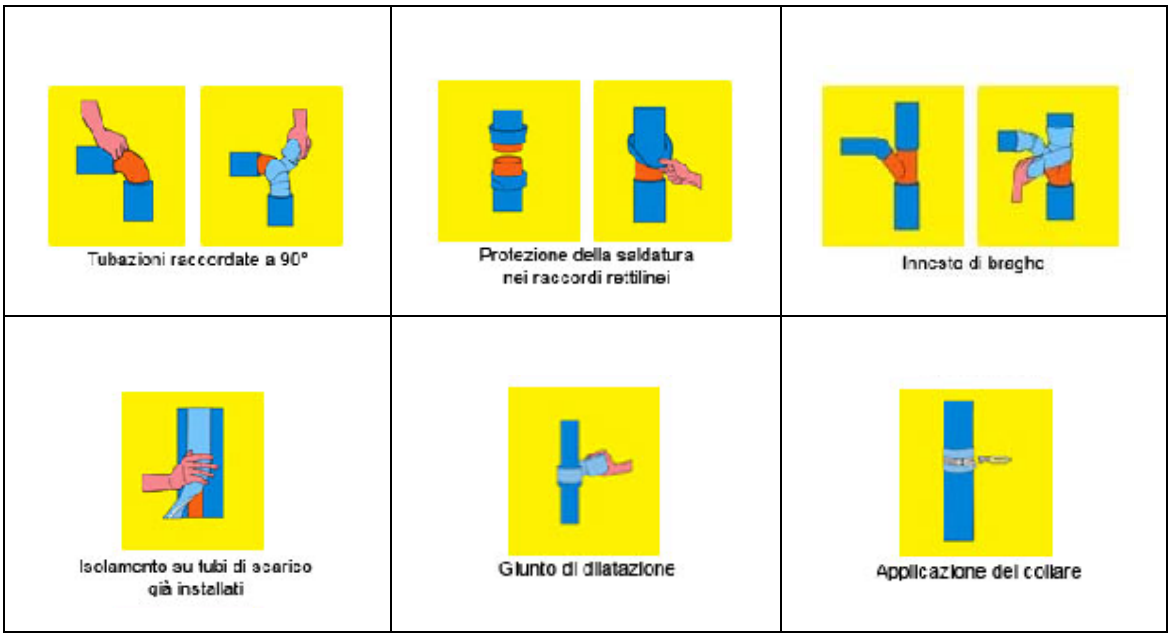
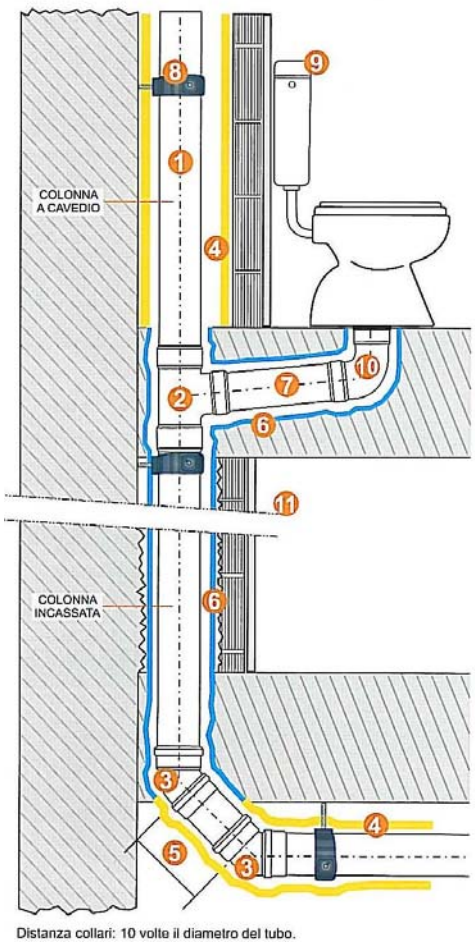


Figura 6 –Isolamento delle tubazioni

Esempio colonna di scarico:



1. Sistema di scarico insonorizzato
2. Braga a 87 ½° per agevolare l'immissione dello scarico orizzontale in colonna
3. Curva a 45°
4. Materiale fonoassorbente ad elevata prestazione
5. Tronchetto di lunghezza pari a due volte il diametro del tubo
6. Guiana isolante FONO dBAM in polietilene a cellule espanse chiuse sp. 5,0 mm
7. Sistema di scarico insonorizzato in PPblu mineralizzato a tre strati
8. Collare di fissaggio POLOCLIP HS ad alta prestazione insonorizzante e guaina disaccoppiante
9. Cassetta di scarico insonorizzata dotata di galleggiante Magnetic
10. Curva allaccio WC insonorizzata con PP e sostanze minerali
11. Chiusura cavedio

Figura 7 – Posa del condotto di scarico entro cavedio

Isolamento acustico sanitari

E' importante che non venga mai fissato nessun impianto sanitario direttamente agli elementi strutturali (muri, pilastri, ecc). Si raccomanda infatti di fissarli sulle contropareti in cartongesso o in muratura, opportunamente rinforzate.

WC e bidet:

- Tutti i sanitari (e loro accessori) con appoggio diretto sul pavimento o staffati a parete dovranno essere disgiunti dalla struttura mediante applicazione di materiale resiliente a bassa rigidità dinamica (tipo gomma 50 MN/m^3).

  La cassetta di scarico deve essere del tipo silenziata, in modo tale da ridurre la rumorosità del meccanismo di scarico e carico acqua.

  Nei casi di installazione di cassette da incasso, questa non deve ridurre lo spessore della parete divisoria.

Isolamento acustico impianto di distribuzione acqua sanitaria e rubinetteria

Relativamente agli impianti per l'adduzione di acqua fredda, la presenza costante di acqua nelle condutture riduce l'eventualità che si abbia rumore per scorrimento e gorgoglio dei fluidi. Se le tubazioni devono attraversare muri e solai sarà necessario ricorrere a idonei accorgimenti di posa in opera. A tale proposito si dovrà tenere in considerazione i seguenti suggerimenti:

- ricorrere a rivestimenti localizzati con manicotti in gomma;
- ancorare o sospendere la tubazione ad una struttura portante mediante l'ausilio di supporti antivibranti in acciaio e gomma;

Isolamento acustico rumorosità ascensore

Qualunque sistema in movimento o dotato di parti in movimento (motore, ruote, pulegge, volani, etc) dovranno essere fissati a parete e/o soffitto/pavimento mediante giunti e tasselli elastici e/o staffe antivibranti.

L'ascensore dovrà essere regolato per ridurre la velocità prima di fermarsi al piano e per una apertura delle porte a bassa accelerazione.

Impianto elettrico

Per la posa in opera dell'impianto elettrico interno alle aule si devono tenere presenti le seguenti prescrizioni di posa:

- In generale in considerazione della destinazione d'uso dei locali sarà preferibile effettuare la posa in opera di impianti elettrici a vista entro canaline in materiale plastico piuttosto che sotto traccia;
- Dove possibile, l'installazione delle scatole portafrutto dell'impianto non deve essere effettuata, o quanto più limitata, su pareti di confine con altre aule.

  Nell'impossibilità di seguire quanto sopra, si prevede l'installazione delle suddette scatole su pareti perimetrali in modo non allineato per le diverse aule;

7 CONCLUSIONI

Quanto precedentemente riportato consente di ipotizzare, in fase progettuale, il rispetto degli indici di valutazione stabiliti dal D.P.C.M. 5/12/1997 e dal D.M. 11 Ottobre 2017, per edifici adibiti a scuole, tenendo presente tutte le prescrizioni realizzative descritte. L'attendibilità dei dati indicati potrà essere accertata in corso d'opera o successivamente attraverso rilievi fonometrici redatti in conformità alla normativa vigente.

Le prestazioni acustiche dei materiali che saranno utilizzati dovranno essere certificate dalle case produttrici o dai rivenditori.

La verifica della corretta esecuzione dei lavori secondo le indicazioni del presente progetto, spetterà al Direttore dei Lavori, il quale dovrà inoltre sottoscrivere, una certificazione sulla conformità delle opere realizzate al progetto di cui sopra ai fini del rilascio del certificato di abitabilità.

Il Tecnico
Ing. Michele Bartoccini