

dεp studio

via XXIV maggio, 1/a 25030 paratico bs
t 035 4262329 info@depstudio.eu
www.depstudio.eu

arch. marco gottini
via domenico suardi, 26 24060 casazza bg
t 340 6416806

arch. paola belussi
via XXIV maggio, 1/a 25030 paratico bs
t 348 7363171

ing. lorenzo mussinelli
via dei mille, 31 24067 sarnico bg
t 346 8641424

ing. alessandro nani
via marconi, 29/s 24021 albino bg
t 328 4188334

arch. francesca parma
via barcella, 16 25032 chiari bs
t 333 6912650



Cofinanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Città di
PALAZZOLO SULL'OGGIO
Comune della Provincia di Brescia

progetto
realizzazione di nuova mensa - plesso scolastico primaria sacro cuore
CUP: J41B21014500006

CO-FINANZIATO CON PIANO NAZIONALE RIPRESA E RESILIENZA - PNRR M4 C1 I1.2
Missione 4: istruzione e ricerca
Componente 1 - potenziamento dell'offerta dei servizi di istruzione: dagli asili nido alle Università
Investimento 1.2 - "piano di estensione del tempo pieno e mense"

committente
comune di palazzolo sull'oglio, bs
via XX settembre 32, 25036
t 030 7405500 - CF 00400530176

indirizzo
via omboni, palazzolo sull'oglio, bs

stato progetto
esecutivo

data
dicembre 2022

scala
-

revisione
0

progetto architettonico
requisiti acustici passivi
328 E rap

Nuova sala mensa – plesso scolastico primaria Sacro Cuore
Via Omboni – 25036 Palazzolo sull'Oglio (BS)

Valutazione previsionale dei requisiti acustici passivi degli edifici

Art. 3, comma 1, lettera e L. 26/10/95 n° 447 – D.P.C.M. 05/12/97
 DM 11 ottobre 2017 – C.A.M. - Allegato 2 - Paragrafo 2.3.5.6



Relazione elaborata da:
Ambiente&Sicurezza Consulting S.n.c.
 Via Villa Eleonora 23 – 27100 Pavia - Tel. Fax 0382 460908
www.ambienteesicurezzaconsulting.it

Indice

1.0	Premessa.....	3
2.0	Legislazione di riferimento.....	4
2.1	D.P.C.M. 5/12/1997	4
2.2	D.M. 11/10/2017	5
3.0	Riferimenti normativi.....	7
3.1	Elenco norme tecniche per la progettazione dei requisiti acustici passivi.....	7
3.2	Elenco norme tecniche per la classificazione acustica delle unità immobiliari	7
3.3	Elenco norme tecniche per la misura in opera dei requisiti acustici passivi	8
3.4	Elenco norme tecniche per la posa in opera di sistemi costruttivi.....	8
3.5	Calcolo degli indici di valutazione	8
4.0	Tavole di progetto.....	9
5.0	Identificazione dei limiti di legge	11
6.0	Isolamento acustico per via aerea della facciata	12
	Descrizione delle strutture	12
7.0	Isolamento acustico normalizzato rispetto ad ambienti di uso comune o collettivi collegato mediante accessi o aperture ad ambienti abitativi.....	19
8.0	Mitigazione della rumorosità degli impianti tecnologici.....	20
9.0	Ottimizzazione della risposta e delle condizioni di comfort acustico degli ambienti interni secondo la UNI11532-2	23
10.0	Conclusioni.....	25
11.0	Allegati	26

1.0 Premessa

La presente relazione si occuperà della valutazione e del calcolo dei requisiti acustici passivi, inerente alla realizzazione di una nuova sala mensa all'interno del plesso scolastico primaria Sacro Cuore in Via Omboni, a Palazzolo (BS).

Per quanto concerne i requisiti acustici richiesti all'edificio (in termini di isolamento acustico e di rumorosità ammissibile degli impianti a servizio degli stessi), occorre fare riferimento al D.P.C.M. 5/12/1997 *"Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici"*, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale Italiana n° 297 del 22/12/1997.

La valutazione previsionale dei requisiti acustici passivi verrà eseguita ai sensi del D.P.C.M. 5/12/97 *"Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici"*, in accordo con i metodi di calcolo delle serie di norme UNI EN ISO 12354.

Oltre a quanto indicato nel D.P.C.M. 5/12/97, occorre rispettare anche il DM 11 ottobre 2017 – *Criteri Ambientali Minimi*, dove all'allegato 2 Paragrafo 2.3.5.6 vengono indicate le caratteristiche minime acustiche che l'edificio in progetto dovrà avere.

Si precisa che i calcoli e le valutazioni qui esposti, sono stati realizzati sulla base del progetto e delle indicazioni stratigrafiche e dei materiali costruttivi forniti dalla committenza.

2.0 Legislazione di riferimento

2.1 D.P.C.M. 5/12/1997

In attuazione dell'art. 3, primo comma, lettera e), della Legge quadro sull'inquinamento acustico n. 447 del 26/10/1995, in data 5 dicembre 1997 è stato emanato dalla Presidenza del Consiglio dei ministri il decreto dal titolo <<Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici>>.

Tale provvedimento è stato pubblicato sulla G.U. n. 297 del 22/12/1997 ed è entrato in vigore il 21 febbraio 1998.

Per quanto riguarda i requisiti acustici passivi degli edifici vengono assunti come parametri di riferimento quelli di seguito elencati:

- Indice di valutazione dell'isolamento acustico standardizzato di facciata $D_{2m,nT,w}$;
- Indice di valutazione del potere fonoisolante apparente di partizioni verticali e orizzontali tra ambienti R'_{w} , da riferirsi ad elementi di separazione tra due distinte unità immobiliari;
- Indice di valutazione del rumore di calpestio di solai normalizzato $L'_{n,w}$.

Rumore prodotto da impianti tecnologici

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

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

Sono servizi a funzionamento discontinuo gli ascensori, gli scarichi idraulici, i bagni, i servizi igienici e la rubinetteria. Sono servizi a funzionamento continuo gli impianti di riscaldamento, aerazione e condizionamento.

Il Decreto impone che ad opera ultimata i requisiti acustici siano rispettati.

A seconda delle tipologie degli edifici considerati e della loro destinazione d'uso, si hanno differenti requisiti acustici passivi da rispettare (Vedasi tabelle A – B).

Tabella A: classificazione degli ambienti abitativi

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

Tabella B: requisiti acustici passivi degli edifici, dei loro componenti e degli impianti tecnologici

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

Il 14 agosto 2001 è poi entrata in vigore la Legge Regionale n. 13 <<Norme in materia di inquinamento acustico>>, il cui articolo 7 è dedicato proprio ai requisiti acustici passivi degli edifici prevedendo esplicite richieste di verifica fin dalla fase progettuale.

Dove:

R'_w (Indice di potere fonoisolante apparente)

è il valore **minimo** di isolamento al rumore tra differenti unità immobiliari

$D_{2m,nT,w}$ (Indice di isolamento acustico di facciate)

è il valore **minimo** di isolamento dai rumori provenienti dall'esterno

$L'_{n,w}$ (Indice di livello di rumore di calpestio di solai)

è il valore **massimo** di rumore di calpestio percepito

L_{ASmax} (Livello massimo di pressione sonora ponderata A con costante di tempo slow)

è il valore **massimo** di rumore per gli impianti a funzionamento discontinuo

L_{Aeq} (Livello continuo equivalente di pressione sonora ponderata A)

è il valore **massimo** di rumore per gli impianti a funzionamento continuo

2.2 D.M. 11/10/2017

I valori dei requisiti acustici passivi dell'edificio devono corrispondere almeno a quelli della "prestazione superiore" ai sensi della norma UNI 11367.

Ospedali, case di cura e scuole devono soddisfare il livello di **"prestazione superiore"**
(App. A - UNI 11367 Classificazione acustica)



Appendice A – Prospetto A1 – Ospedali e scuole	Prestazione superiore
Isolamento di facciata ($D_{2m,nT,w}$)	≥ 43
Partizioni fra ambienti di differenti U.I. (R'_w)	≥ 56
Calpestio fra ambienti di differenti U.I. ($L'_{n,w}$)	≤ 53
Livello impianti continui, (L_c), installati in altri ambienti	≤ 28
Livello massimo impianti discontinui, (L_d), installati in altri ambienti	≤ 34
Isolamento acustico partizioni ambienti sovrapposti stessa U.I. ($D_{nT,w}$)	≥ 55
Isolamento acustico partizioni ambienti adiacenti stessa U.I. ($D_{nT,w}$)	≥ 50
Calpestio fra ambienti sovrapposti della stessa U.I. ($L'_{n,w}$)	≤ 53

L'isolamento acustico tra ambienti di uso comune collegati mediante porte ad ambienti abitativi deve rispettare almeno i valori caratterizzati come "prestazione buona" nell'Appendice B della UNI 11367.

Livello prestazionale	Descrittore dell'isolamento acustico normalizzato rispetto ad ambienti di uso comune o collettivi collegato mediante accessi o aperture ad ambienti abitativi $D_{nT,W}$ [dB]	
	Ospedali e scuole	Altre destinazioni d'uso
Prestazione ottima	≥ 34	≥ 40
Prestazione buona	≥ 30	≥ 36
Prestazione di base	≥ 27	≥ 32
Prestazione modesta	≥ 23	≥ 28

UNI 11532:2 – Settore scolastico

Categoria	$h \leq 2,5$ m	$h > 2,5$ m
A6.1: Vani scala	Nessuna richiesta	
A6.2: Spogliatoi	$A/V \geq 0,15$	$\frac{A}{V} \geq \frac{1}{[4,80 + 4,69 \log(h)]}$
A6.3: Ambienti espositivi, spazi studio, laboratori biblioteche	$A/V \geq 0,20$	$\frac{A}{V} \geq \frac{1}{[3,13 + 4,69 \log(h)]}$
A6.4: reception, mense	$A/V \geq 0,25$	$\frac{A}{V} \geq \frac{1}{[2,13 + 4,69 \log(h)]}$
A6.5: Sale da pranzo, aule e spogliatoi scuole materne e nido	$A/V \geq 0,30$	$\frac{A}{V} \geq \frac{1}{[1,47 + 4,69 \log(h)]}$

- Ambienti non occupati
- Si applicano nelle singole ottave da 250 a 2000 Hz

3.0 Riferimenti normativi

3.1 Elenco norme tecniche per la progettazione dei requisiti acustici passivi

UNI EN ISO 12354-1:2017 - Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni dei prodotti - Parte 1: Isolamento dal rumore per via aerea tra ambienti.

UNI EN ISO 12354-2:2017 - Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni dei prodotti - Parte 2: Isolamento acustico al calpestio tra ambienti.

UNI EN ISO 12354-3:2017 - Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni dei prodotti - Parte 3: Isolamento acustico dal rumore proveniente dall'esterno per via aerea.

UNI EN ISO 12354-4:2017 - Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni dei prodotti - Parte 4: Trasmissione del rumore interno all'esterno.

UNI EN 12354

- **Parte 5:** Livelli sonori dovuti agli impianti tecnici.
- **Parte 6:** Assorbimento acustico in ambienti chiusi.

UNI TR 11175 – Acustica in edilizia. Guida alle norme serie UNI EN 12354 per la previsione delle prestazioni acustiche degli edifici. Applicazione alla tipologia costruttiva nazionale.

UNI 11532 – Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinati.

In alcuni casi, considerate le tipologie costruttive adottate, sono state utilizzate formule matematiche tratte dalla più recente bibliografia, le quali, in base alla nostra esperienza, risultano essere maggiormente aderenti ai risultati delle misurazioni in opera ed a favore di sicurezza.

Il problema dei rumori generati dagli impianti tecnologici viene affrontato proponendo una serie di prescrizioni di dettaglio.

3.2 Elenco norme tecniche per la classificazione acustica delle unità immobiliari

UNI 11367 – Classificazione acustica delle unità immobiliari. Procedura di valutazione e verifica in opera.

UNI 11444 – Classificazione acustica delle unità immobiliari – Linee guida per la selezione delle unità immobiliari in edifici con caratteristiche non seriali.

3.3 Elenco norme tecniche per la misura in opera dei requisiti acustici passivi

UNI EN ISO 16283-1:2018 - Misure in opera dell'isolamento in edifici e di elementi di edificio – Parte 1: Isolamento acustico per via aerea.

UNI EN ISO 16283-2:2016 – Misure in opera dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio– Parte 2: Isolamento dal rumore di calpestio.

UNI EN ISO 16283-3:2016 - Misure in opera dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio – Parte 3: Isolamento acustico di facciata

UNI EN ISO 16032:2005 – Misurazione del livello di pressione sonora di impianti tecnici in edifici – Metodo tecnico progettuale.

UNI EN ISO 10052:2010 – Misurazioni in opera dell'isolamento acustico per via aerea, del rumore da calpestio e della rumorosità degli impianti – Metodo di controllo.

UNI 8199:2016 – Collaudo acustico di impianti a servizio di unità immobiliari – Linee guida contrattuali e modalità di misurazione all'interno degli ambienti serviti

UNI EN ISO 3382 – Misurazione dei parametri acustici degli ambienti (Tempo di riverberazione e altri parametri).

- Parte 1: Sale da spettacolo.
- Parte 2: Tempo di riverberazione negli ambienti ordinari.
- Parte 3: Open space.

3.4 Elenco norme tecniche per la posa in opera di sistemi costruttivi

UNI 11296:2009 (Posa serramenti)

Acustica – Linee guida per la progettazione, la selezione, l'installazione e il collaudo dei sistemi per la mitigazione ai ricettori del rumore originato da infrastrutture di trasporto.

UNI 11516:2013 (Posa massetti galleggianti)

Indicazioni di posa in opera dei sistemi di pavimentazione galleggiante per l'isolamento acustico.

3.5 Calcolo degli indici di valutazione

UNI EN ISO 717 (Acustica – Valutazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio)

Parte 1 – Isolamento di rumori aerei;

Parte 2 – Isolamento di rumore di calpestio.

4.0 Tavole di progetto

Di seguito si riportano alcuni disegni, non in scala dell'intervento.

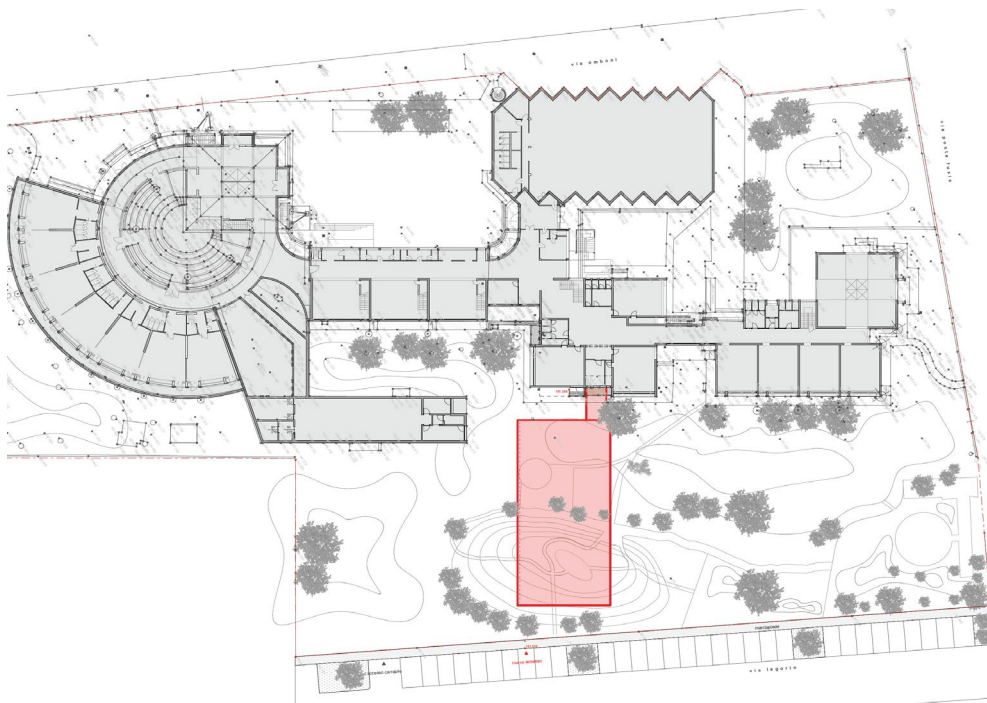


Figura 1 – Planimetria generale



Figura 2 – Tavola di progetto



Figura 3 – Prospetti



Figura 4 – Sezioni

5.0 Identificazione dei limiti di legge

L'intervento ha destinazione d'uso:

1. “edifici adibiti a residenza o assimilabili;” – CAT. E, dove osserviamo i seguenti limiti:

Ospedali, case di cura e scuole devono soddisfare il livello di “**prestazione superiore**” (App. A - UNI 11367 Classificazione acustica)



Appendice A – Prospetto A1 – Ospedali e scuole	Prestazione superiore
Isolamento di facciata ($D_{2m,nT,w}$)	≥ 43
Partizioni fra ambienti di differenti U.I. (R'_{w})	≥ 56
Calpestio fra ambienti di differenti U.I. ($L'_{n,w}$)	≤ 53
Livello impianti continui, (L_{ic}), installati in altri ambienti	≤ 28
Livello massimo impianti discontinui, (L_{id}) installati in altri ambienti	≤ 34
Isolamento acustico partizioni ambienti sovrapposti stessa U.I. ($D_{nT,w}$)	≥ 55
Isolamento acustico partizioni ambienti adiacenti stessa U.I. ($D_{nT,w}$)	≥ 50
Calpestio fra ambienti sovrapposti della stessa U.I. ($L'_{n,w}$)	≤ 53

L'isolamento acustico tra ambienti di uso comune collegati mediante porte ad ambienti abitativi deve rispettare almeno i valori caratterizzati come “prestazione buona” nell'Appendice B della UNI 11367.

Livello prestazionale	Descrittore dell'isolamento acustico normalizzato rispetto ad ambienti di uso comune o collettivi collegato mediante accessi o aperture ad ambienti abitativi $D_{nT,W}$ [dB]	
	Ospedali e scuole	Altre destinazioni d'uso
Prestazione ottima	≥ 34	≥ 40
Prestazione buona	≥ 30	≥ 36
Prestazione di base	≥ 27	≥ 32
Prestazione modesta	≥ 23	≥ 28

Per il caso in esame relativo all'isolamento acustico di facciata delle scuole, restano prevalenti i limiti del DPCM.

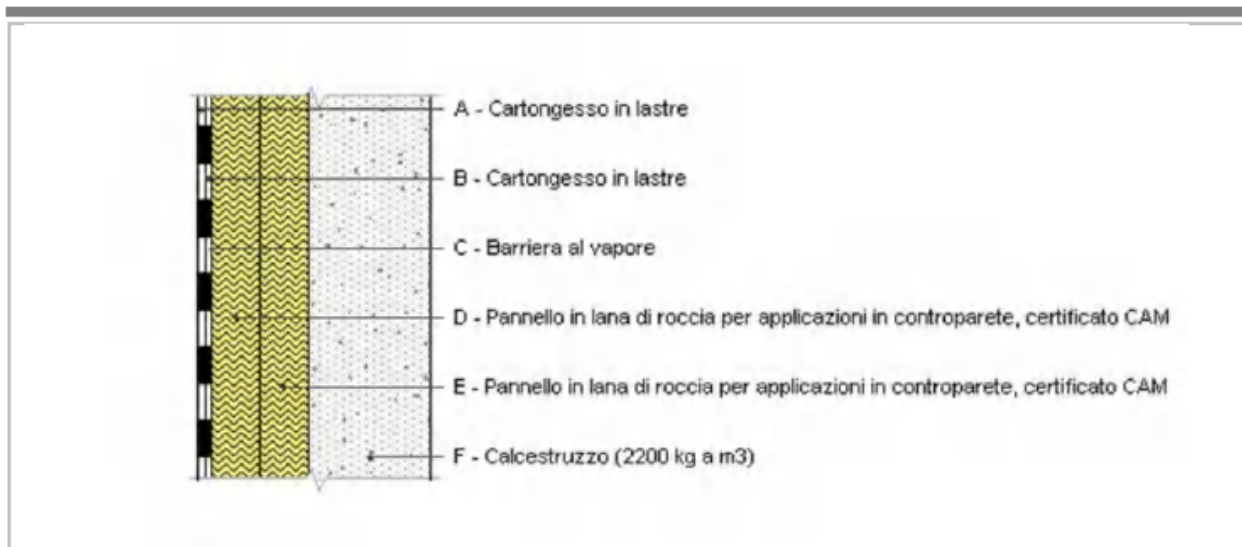
6.0 Isolamento acustico per via aerea della facciata

Descrizione delle strutture

Di seguito si analizzano le strutture verticali delle facciate previste dal progetto architettonico.

Parete esterna isolata 101

101PAR - Parete esterna con cartongesso, isolamento 100+100 mm e CLS 250 mm



Spessore	475,5 mm	Trasmittanza	0,167 W/m²K
Resistenza	5,998 m²K/W	Massa superf.	587 kg/m²
Tipologia	Parete		
Descrizione			

Stratigrafia

	Strato	Spessore s	Conduttività λ	Resistenza R	Densità ρ	Capacità C	Fattore μ
		mm	W/(mK)	m²K/W	Kg/m³	kJ/(kgK)	-
	Adduttanza interna (flusso orizzontale)	-	-	0,130	-	-	-
A	Cartongesso in lastre	12,5	0,210	0,060	900	1,30	8,7
B	Cartongesso in lastre	12,5	0,210	0,060	900	1,30	8,7
C	Barriera al vapore	0,5	0,230	0,002	360	1,50	99 999,0
D	Pannello in lana di roccia per applicazioni in controparete, certificato CAM	100,0	0,036	2,778	70	1,03	1,0
E	Pannello in lana di roccia per applicazioni in controparete, certificato CAM	100,0	0,036	2,778	70	1,03	1,0
F	Calcestruzzo (2200 kg a m3)	250,0	1,650	0,152	2 200	1,00	70,0
	Adduttanza esterna (flusso orizzontale)	-	-	0,040	-	-	-
	TOTALE	475,5		5,998			

Per i calcoli relativi a detta struttura, valutando il potere fonoisolante del calcestruzzo si assume un **Potere fonoisolante $R_w = 60$ dB**

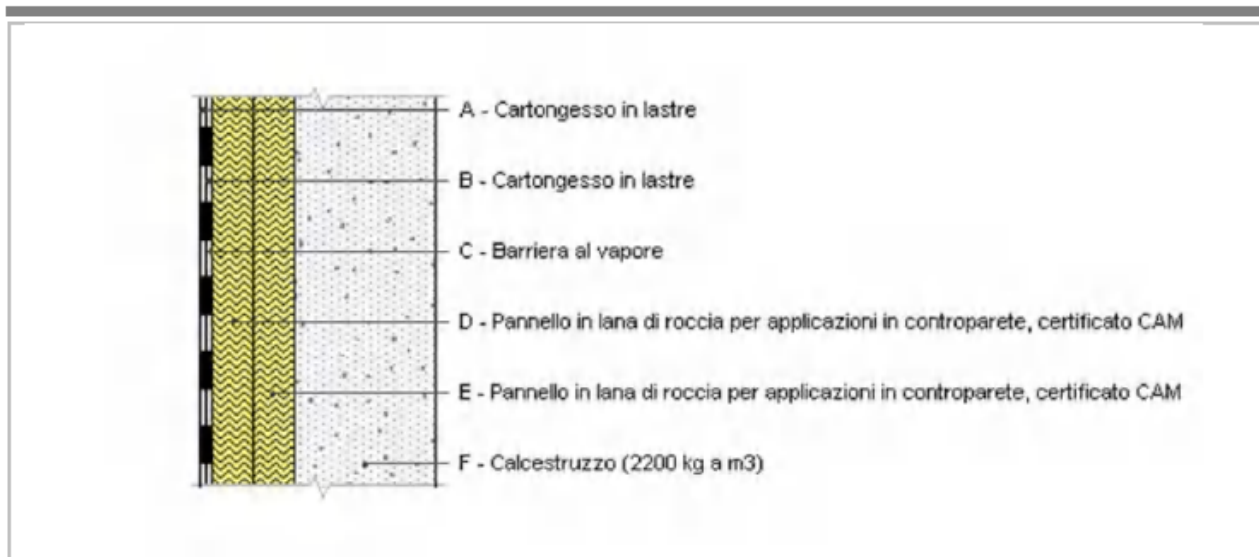
Utilizzando la formula UNI EN ISO 12354:2017 – **$R_w = 37,5 \log(m') - 42$**

Si specifica che, il contributo della controparete è di 15 dB.

R_w globale = 75 dB

Parete esterna isolata 102

102PAR - Parete esterna con cartongesso, isolamento 100+100 mm e CLS 350 mm



Spessore	575,5 mm	Trasmittanza	0,165 W/m²K
Resistenza	6,059 m²K/W	Massa superf.	807 kg/m²
Tipologia	Parete		
Descrizione			

Stratigrafia

	Strato	Spessore s mm	Conduttività λ W/(mK)	Resistenza R m²K/W	Densità ρ Kg/m³	Capacità C kJ/(kgK)	Fattore μ -
	Adduttanza interna (flusso orizzontale)	-	-	0,130	-	-	-
A	Cartongesso in lastre	12,5	0,210	0,060	900	1,30	8,7
B	Cartongesso in lastre	12,5	0,210	0,060	900	1,30	8,7
C	Barriera al vapore	0,5	0,230	0,002	360	1,50	99 999,0
D	Pannello in lana di roccia per applicazioni in controparete, certificato CAM	100,0	0,036	2,778	70	1,03	1,0
E	Pannello in lana di roccia per applicazioni in controparete, certificato CAM	100,0	0,036	2,778	70	1,03	1,0
F	Calcestruzzo (2200 kg a m3)	350,0	1,650	0,212	2 200	1,00	70,0
	Adduttanza esterna (flusso orizzontale)	-	-	0,040	-	-	-
	TOTALE	575,5		6,059			

Per i calcoli relativi a detta struttura, valutando il potere fonoisolante del calcestruzzo si assume un *Potere fonoisolante* $R_w = 66 \text{ dB}$.

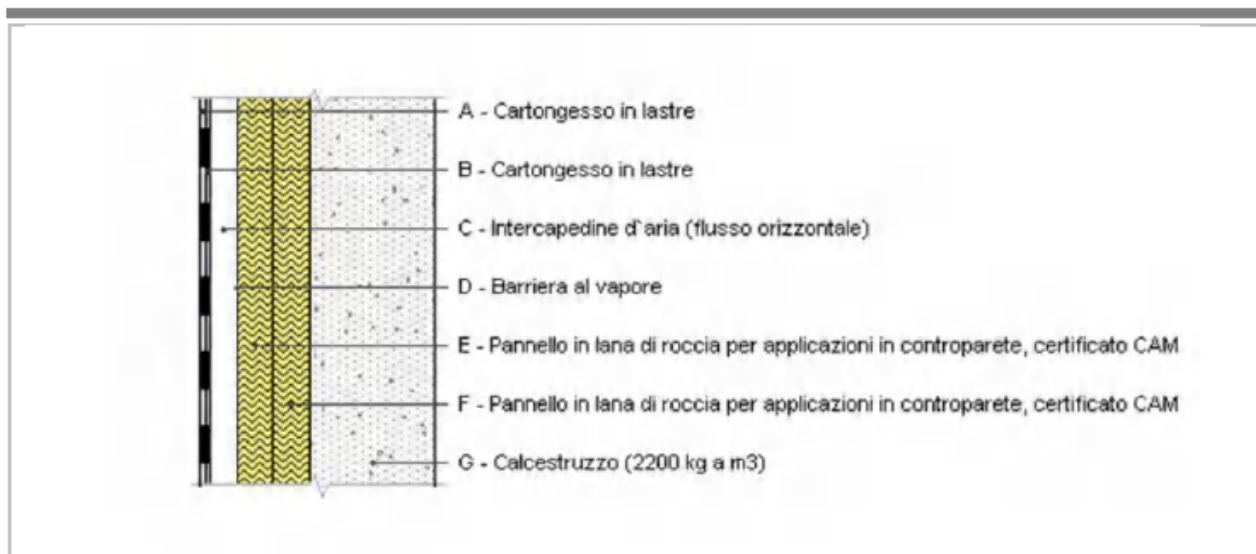
Utilizzando la formula UNI EN ISO 12354:2017 – $R_w = 37,5 \log(m') - 42$

Si specifica che, il contributo della controparete è di 15 dB.

$R_w \text{ globale} = 81 \text{ dB}$

Parete esterna isolata 103

103PAR - Parete esterna con cartongesso, aria 70 mm, isolamento 100+100 mm e CLS 300 mm



Spessore	650,5 mm	Trasmittanza	0,164 W/m²K
Resistenza	6,104 m²K/W	Massa superf.	807 kg/m²
Tipologia	Parete		
Descrizione			

Stratigrafia

	Strato	Spessore s mm	Conduttività λ W/(mK)	Resistenza R m²K/W	Densità ρ Kg/m³	Capacità C kJ/(kgK)	Fattore μ
	Adduttanza interna (flusso orizzontale)	-	-	0,130	-	-	-
A	Cartongesso in lastre	12,5	0,210	0,060	900	1,30	8,7
B	Cartongesso in lastre	12,5	0,210	0,060	900	1,30	8,7
C	Intercapedine d'aria (flusso orizzontale)	75,0	1,670	0,045	1	1,00	1,0
D	Barriera al vapore	0,5	0,230	0,002	360	1,50	99 999,0
E	Pannello in lana di roccia per applicazioni in controparete, certificato CAM	100,0	0,036	2,778	70	1,03	1,0
F	Pannello in lana di roccia per applicazioni in controparete, certificato CAM	100,0	0,036	2,778	70	1,03	1,0
G	Calcestruzzo (2200 kg a m3)	350,0	1,650	0,212	2 200	1,00	70,0
	Adduttanza esterna (flusso orizzontale)	-	-	0,040	-	-	-
	TOTALE	650,5		6,104			

Per i calcoli relativi a detta struttura, valutando il potere fonoisolante del calcestruzzo si assume un **Potere fonoisolante $R_w = 63$ dB**.

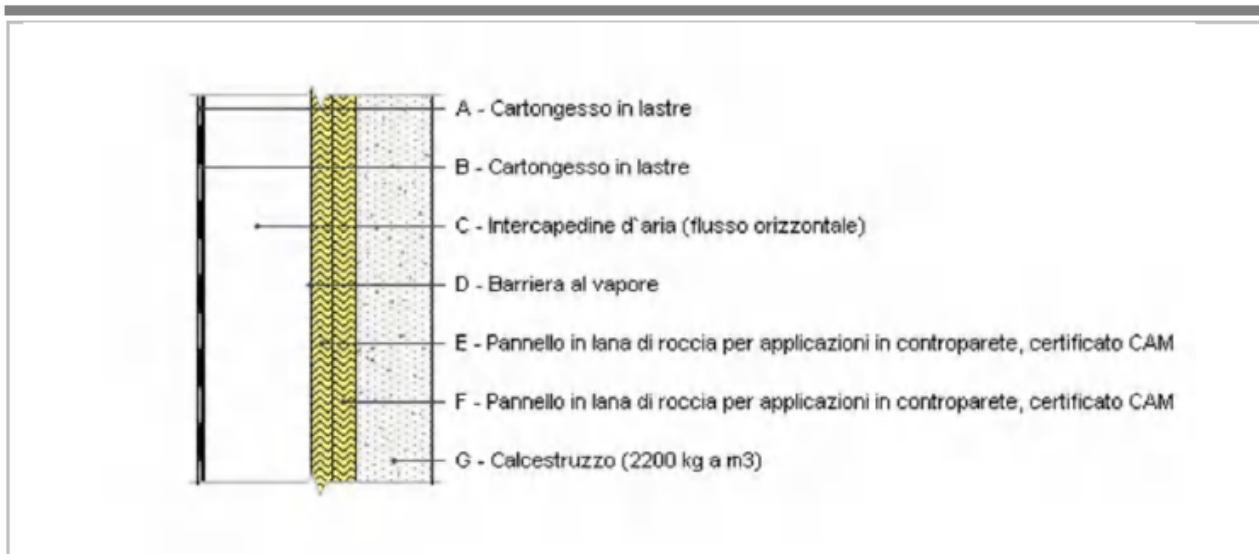
Utilizzando la formula UNI EN ISO 12354:2017 – **$R_w = 37,5 \log(m') - 42$**

Si specifica che, il contributo della controparete è di 15 dB.

R_w globale = 78 dB

Parete esterna isolata 104

104PAR - Parete esterna con cartongesso, aria 475 mm, isolamento 100+100 mm e CLS 300 mm



Spessore	1 050,5 mm	Trasmittanza	0,158 W/m²K
Resistenza	6,343 m²K/W	Massa superf.	807 kg/m²
Tipologia	Parete		
Descrizione			

Stratigrafia

	Strato	Spessore s mm	Conduttività λ W/(mK)	Resistenza R m²K/W	Densità ρ Kg/m³	Capacità C kJ/(kgK)	Fattore μ
	Adduttanza interna (flusso orizzontale)	-	-	0,130	-	-	-
A	Cartongesso in lastre	12,5	0,210	0,060	900	1,30	8,7
B	Cartongesso in lastre	12,5	0,210	0,060	900	1,30	8,7
C	Intercapedine d'aria (flusso orizzontale)	475,0	1,670	0,284	1	1,00	1,0
D	Barriera al vapore	0,5	0,230	0,002	360	1,50	99 999,0
E	Pannello in lana di roccia per applicazioni in controparete, certificato CAM	100,0	0,036	2,778	70	1,03	1,0
F	Pannello in lana di roccia per applicazioni in controparete, certificato CAM	100,0	0,036	2,778	70	1,03	1,0
G	Calcestruzzo (2200 kg a m3)	350,0	1,650	0,212	2 200	1,00	70,0
	Adduttanza esterna (flusso orizzontale)	-	-	0,040	-	-	-
	TOTALE	1 050,5		6,343			

Per i calcoli relativi a detta struttura, valutando il potere fonoisolante del calcestruzzo si assume un *Potere fonoisolante* $R_w = 63 \text{ dB}$.

Utilizzando la formula UNI EN ISO 12354:2017 – $R_w = 37,5 \log(m') - 42$

Si specifica che, il contributo della controparete è di 15 dB.

$R_w \text{ globale} = 78 \text{ dB}$

Per ottenere il rispetto della normativa riguardo all'indice di isolamento acustico di facciata, sarà necessario impiegare vetrocamere caratterizzate da un indice di valutazione del potere fonoisolante $R_w \geq 45$ dB.

Di tali elementi, il valore acusticamente significativo è l'indice di valutazione del potere fonoisolante R_w .

E' dunque possibile che un produttore di questo elemento, sia in grado di realizzare (in base a diverse tecniche costruttive) un articolo caratterizzato dallo stesso indice R_w con spessori dell'elemento stesso differenti. In questo caso, se certificato, la scelta avviene esclusivamente in base ad altri fattori (economici, estetici, ecc), in quanto dal punto di vista acustico, i due elementi sono da considerarsi equivalenti.

I serramenti relativi alle specchiature suddette dovranno essere caratterizzati da una classe di permeabilità all'aria uguale alla A4 (secondo la classificazione prevista dalle norme UNI EN 1026 del 2001 e UNI EN 12207 del 2000) ed essere caratterizzati da un indice di valutazione del potere fonoisolante R_w non inferiore a quello della porzione vetrata.

Di fondamentale importanza, pena un importante decadimento delle prestazioni di isolamento acustico e termico, l'accuratezza della posa del telaio e falso telaio, affinché non siano presenti interstizi tra essi.

Si ricorda come, ai sensi della direttiva 92/59/CEE e successiva 2001/95/CE, recepita con il DM n° 115 del 1995, seguita dal D.P.R.- 16/01/96 e relativa circolare N° 156 AA.GG/STC del 1996, le superfici vetrate debbano sottostare ai requisiti di sicurezza e resistenza meccanica prescritti.

Ciò comporta, per la gran parte delle specchiature, l'utilizzo di elementi stratificati.

Il giunto primario dovrà essere riempito con schiuma poliuretanica monocomponente ad elevata elasticità, in modo da consentire l'isolamento anche in caso di movimenti naturali di altri materiali.

Una schiuma particolarmente rigida potrebbe creare effetti di distacco del materiale sigillante nei punti di contatto con il controtelaio e la muratura.

Il giunto secondario è costituito dallo spazio presente tra il controtelaio ed il telaio del serramento e dovrà essere realizzato con nastro auto espandente; inoltre, particolare attenzione dovrà essere adottata per la sigillatura del quarto lato con nastri in schiuma di pvc.

Si raccomanda una posa certificata conforme alla UNI 11673-1.

L'eventuale sostituzione di prodotti indicati in questa relazione può avvenire solo mantenendo inalterate le caratteristiche fisiche degli stessi (spessore, densità, percentuale di foratura, rigidità dinamica degli strati anticalpestio ecc..) e sotto esclusiva responsabilità del progettista e/o del D.L.

Il metodo di calcolo dell'indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato della facciata utilizzato per le valutazioni è quello esplicitato nel Capitolo 3.1 del presente elaborato.

Il calcolo dell'indice $D_{2m,nt,W}$ è stato effettuato con l'ausilio del software ECHO.

I calcoli dell'indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato della facciata sono stati effettuati per ambienti tipo, rappresentativi delle dimensioni e delle tecnologie costruttive del caso in esame.

I serramenti considerati rispondono ai requisiti delle norme UNI EN 12207:00 e UNI EN 12152:2003 e presentano come caratteristica della tenuta all'aria un valore pari a 4.

Si riportano i modelli di calcolo utilizzati, descritti nella norma tecnica UNI EN ISO 12354-3:2017.

$$R' = \left[-10 \lg \left(\sum_{i=1}^n \tau_{e,i} + \sum_{f=1}^m \tau_f \right) \right] \text{ dB} \quad (1)$$

dove

$\tau_{e,i}$ è il fattore di trasmissione della potenza sonora irradiato da un elemento i di facciata, dovuto alla trasmissione diretta del suono incidente su tale elemento, e la potenza sonora incidente sull'intera facciata;

τ_f è il fattore di trasmissione della potenza sonora irradiato da una facciata o da un elemento laterale f nell'ambiente ricevente, dovuta alla trasmissione laterale, e la potenza sonora incidente sull'intera facciata;

n è il numero di elementi della facciata per la trasmissione diretta;

m è il numero degli elementi laterali della facciata.

$$D_{2m,nT} = R' + \Delta L_{fs} + \left[10 \lg \left(C_{sab} \frac{V}{T_0 S} \right) \right] \text{ dB} \quad (4)$$

dove

C_{sab} è la costante di Sabine, in secondi per metro con $C_{sab} = 0,16 \text{ s/m}$.

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

S è l'area totale della facciata vista dall'interno (cioè la somma delle aree di tutti gli elementi di facciata), in metri quadri;

ΔL_{fs} è l'isolamento acustico per la forma della facciata, in decibel.

Locale	Locale considerato	R_w serramento	D_{2m,nt,W}	D_{2m,nt,W}
Mensa	Lato sud	45,0	51,7	≥ 48,0
	Lato nord	45,0	51,7	

Tabella 1: Tabella riassuntiva dei valori dell'indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato.

Si precisa che l'indice di valutazione del potere fonoisolante R_w della porta d'ingresso non dovrà essere inferiore a 38 dB e una classe di permeabilità all'aria uguale alla A4 (secondo la classificazione prevista dalle norme UNI EN 1026 del 2001 e UNI EN 12207 del 2000).

La controparete su orditura metallica autoportante ha la caratteristica di essere svincolata dalla parete di base e questo provoca un maggior incremento di potere fonoisolante rispetto alle contropareti in placcaggio alla struttura di base.

La guida a "U" sul pavimento/soffitto ed i montanti a "C" sulle pareti dovranno avere apposito materiale resiliente in polietilene.

7.0 Isolamento acustico normalizzato rispetto ad ambienti di uso comune o collettivi collegato mediante accessi o aperture ad ambienti abitativi

I calcoli dell'isolamento acustico normalizzato rispetto ad ambienti di uso comune o collettivi collegato mediante accessi o aperture ad ambienti abitativi **D_{nT,w}** sono stati effettuati negli ambienti sensibili, presi a campione, rappresentativi delle dimensioni e delle tecnologie costruttive del caso in esame.

Il calcolo dell'indice **D_{nT,w}** è stato effettuato mediante la seguente formula:

$$D_{nT,w} = R'_w + 10 \lg \frac{0,16 \cdot V}{T_0 \cdot S_s} \cong R'_w + 10 \lg \frac{V}{3 \cdot S_s} \text{ (dB)}$$

Locale (ricevente-emittente) AMBIENTI AFFIANCATI	D _{nT,w}	D _{nT,w} Appendice B della UNI 11367
Locale Mensa – Disimpegno	41,0	≥ 30,0

Tabella 2: Tabella riassuntiva isolamento acustico normalizzato rispetto ad ambienti di uso comune o collettivi collegato mediante accessi o aperture ad ambienti abitativi

8.0 Mitigazione della rumorosità degli impianti tecnologici

Impianto ad uso idrosanitario: i rumori nelle condotte sono legati a fenomeni di turbolenza, cavitazione e al cosiddetto “colpo d’ariete”.

La turbolenza è dovuta al fatto che il moto di un fluido in una condotta raramente è laminare: considerate le usuali velocità di flusso nelle tubazioni (ordine di grandezza di 2,5 m/s) e le caratteristiche fisiche del fluido (di solito acqua), le caratteristiche del moto sono tipicamente turbolente (numero di Reynolds superiore a 2200).

Le emissioni rumorose maggiori, quindi più fastidiose, si hanno in corrispondenza di componenti relativi alle tubazioni come gomiti, ostruzioni ed espansioni, ove si possono realizzare situazioni di intensa turbolenza.

La cavitazione è un fenomeno che si verifica in corrispondenza di una restrizione locale nel cammino del flusso che provoca elevate velocità e basse pressioni. Se la pressione diminuisce al di sotto di un valore critico, si possono formare bolle di vapore che si muovono a valle della restrizione.

In questo modo la velocità diminuisce e di conseguenza la pressione aumenta provocando la rottura improvvisa delle bolle con vivaci fluttuazioni della pressione locale.

Il colpo dell'ariete si verifica quando un flusso stazionario di un sistema di distribuzione del liquido viene improvvisamente interrotto, ad esempio chiudendo una valvola ad azione veloce. Infatti, l'improvvisa interruzione del flusso produce un brusco incremento di pressione nel punto di interruzione, e l'intero sistema di distribuzione viene eccitato e fatto vibrare dal colpo ricevuto. Il fronte d'onda prodotto può riflettersi avanti ed indietro numerose volte nelle parti del sistema, finché non abbia dissipato tutta la sua energia.

Per la riduzione della rumorosità è sufficiente scegliere valvole che limitino lentamente il flusso anche quando vengono azionate rapidamente.

Le lamentele più frequenti connesse agli impianti idrosanitari sono dovute a:

- 1) rumore singolo di breve durata (ad esempio risciacquo del WC)
- 2) deflusso con rumore continuo (ad esempio scarico della vasca da bagno o del lavandino)

Nelle condotte la rumorosità viene caratterizzata in base alla tratta in cui è generata:

- a) rumore di caduta, nella zona verticale della condotta,
- b) rumore d'urto, nei cambiamenti di direzione (soprattutto se bruschi, ad angolo retto),
- c) rumore di deflusso, nella zona orizzontale della condotta.

Il contenimento della rumorosità passa attraverso alcuni elementari provvedimenti quali:

- 1) prevedere sempre che le tubazioni accompagnino il flusso con curve dolci, senza repentini cambi di direzione;
- 2) evitare brusche ostruzioni od espansioni, favorendo invece situazioni in cui le variazioni siano graduali e progressive;
- 3) scegliere componenti idraulici (rubinetti, valvole, ecc.) efficienti e di qualità superiore;
- 4) fasciare le tubazioni con sandwich di ovatta vegetale con anima in laminato smorzante FoniVeg o similare, in modo da limitare la trasmissione del rumore delle tubazioni;
- 5) curare con particolare attenzione i passaggi strutturali, evitando ancoraggi rigidi ed utilizzando sempre gli speciali collari in gomma antivibrante per il fissaggio delle tubazioni.

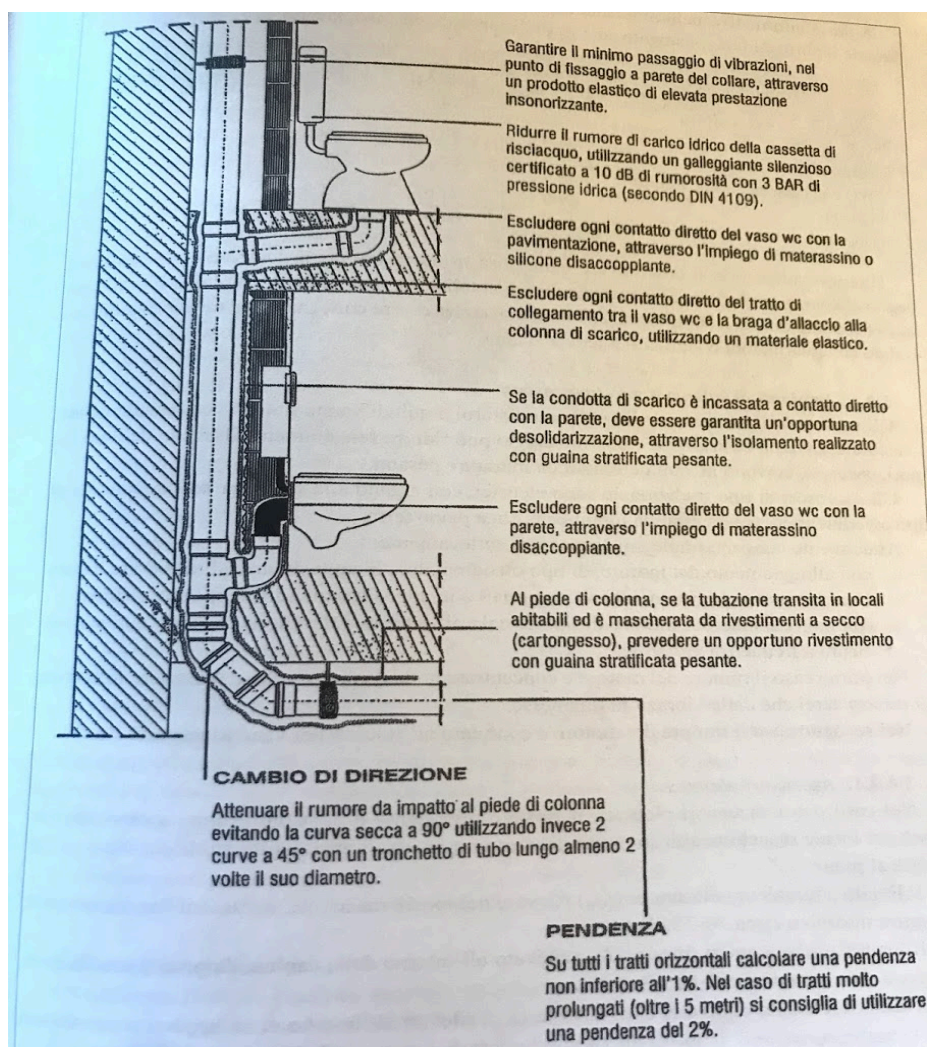


Figura 5 – Particolare tubazione di scarico

Per evitare che la rumorosità prodotta dagli impianti tecnologici si propaghi a locali sensibili, gli aspetti di isolamento acustico dell'impiantistica andranno trattati con cura ed approfonditi in fase di appalto delle opere e di realizzazione delle stesse.

Impianti di climatizzazione e/o unità di climatizzazione

I problemi possono tuttavia manifestarsi per quegli impianti, di generosa potenza, poste all'esterno. In questo caso, i problemi che si riscontrano sono solitamente di due tipi:

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

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

L'impianto è stato installato ove risulta meno impattante, avendo premura, in ogni caso, di garantire il rispetto dei livelli massimi di rumore.

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

Impianti tecnologici in controsoffitto

- installazione di silenziatori sull'espulsione ed estrazione;
- installazione supporti antivibranti per macchina a bassa frequenza di risonanza;
- saranno acusticamente isolati i passaggi delle tubazioni e delle canalizzazioni attraverso le partizioni, per mantenere sostanzialmente invariato il potere fonoisolante della parete attraversata e per evitare contatti rigidi tra tubazioni e strutture che comporterebbero la propagazione di vibrazioni (e quindi di rumore) anche in ambienti distanti;
- le griglie di ripresa dell'aria saranno trattate e presenteranno adeguati livelli di potenza sonora generati dal flusso dell'aria indicate nei dati di progetto.

9.0 Ottimizzazione della risposta e delle condizioni di comfort acustico degli ambienti interni secondo la UNI11532-2

La qualità acustica di un ambiente è spesso caratterizzata attraverso un parametro fisico, il Tempo di Riverberazione, che può essere misurato oppure calcolato a partire da specifici modelli matematici.

Tale parametro è definito come il tempo impiegato da un segnale acustico a decadere di 60 dB rispetto al livello di pressione sonora esistente, in condizioni stazionarie, in un locale ove sia attiva una sorgente sonora da (cui, per brevità, viene chiamato anche T60).

Il Tempo di Riverberazione dipende dalla modalità di riflessione delle onde sonore incidenti sulle superfici del locale e dalla capacità di tali superfici di assorbire l'energia acustica.

Un Tempo di Riverberazione elevato si può avere ad esempio all'interno di una chiesa antica (si ha la sensazione uditiva che il suono permanga nello spazio a lungo) dove qualitativamente può essere percepito come gradevole.

Un T60 lungo non è adatto per locali come aule scolastiche, palestre, mense, sale conferenze: in questo caso una buona progettazione acustica deve prevedere un T60 adeguato, altrimenti si generano fastidiosi effetti di riverbero e rimbombo ed il locale non è più fruibile per lo scopo preposto in quanto al suo interno si genera confusione e disturbo.

Il tempo di riverberazione ottimale si può ottenere variando le caratteristiche di fono assorbimento delle partizioni orizzontali e verticali che delimitano il locale.

Per abbassare il T60 occorre, in linea generale, aumentare la capacità delle superfici di intrappolare e dissipare l'energia sonora. Questa capacità viene descritta da un parametro noto come coefficiente di assorbimento acustico, variabile tra 0 e 1, che rappresenta il rapporto tra la quantità di energia sonora incidente su una superficie e la quantità di energia assorbita e trasmessa (ovvero non riflessa).

Si riporta il calcolo del tempo di riverbero ai sensi della UNI 11532-2 Relativo alla Categoria A6.4

CALCOLO DEL TEMPO DI RIVERBERAZIONE

SALA MENSA

Volume dell'ambiente 900,00 m³

Aree di assorbimento equivalente

Materiale	Superficie [m ²]	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Piastrelle	240,00	2,40	2,40	4,80	4,80	4,80	4,80
Soffitto in legno e imbotti	283,00	42,45	28,30	28,30	14,15	14,15	14,15
Finestre	70,00	8,40	5,60	3,50	2,80	2,10	1,40
Tavoli	63,00	8,82	6,30	5,04	5,04	5,04	5,04
Cartongesso	150,00	52,50	67,50	45,00	45,00	52,50	45,00
Sedie*	0,00	19,80	39,60	49,50	59,40	69,30	69,30
Celenit ABE	130,00	32,50	91,00	130,00	123,50	110,50	117,00

Risultati

	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
	0,83 s	0,65 s	0,69 s	0,70 s	0,68 s
T massimo (UNI 11532)	0,77 s				

Per quanto riguarda il materiale fonoassorbente nel presente calcolo viene posato il Celenit ABE o similare.

- Parete Est 42 mq
- Parete Nord = 49 mq
- Parete Sud = 38,42 mq

(*) Sono state considerate sedie di tipo imbottito

10.0 Conclusioni

I parametri calcolati, basati sui modelli di calcolo indicati a pag. 6, sono coerenti con i requisiti acustici previsti dal DPCM 5/12/1997 e D.M. 11/10/2017.

Il risultato è subordinato all'attendibilità dei dati di input utilizzati (vedere schede allegate) fornite dalle case produttrici dei materiali.

Per l'applicazione dei metodi indicati nella presente relazione, non vengono considerati discontinuità o mancanza di tenuta dei giunti (fessure, attraversamenti impiantistici, ponti acustici), poiché la loro valutazione non può in genere essere svolta in modo analitico, e pertanto esulano da un procedimento di validità generale.

Si ricorda che il D.M. 11/10/2017 prevede che i risultati acustici debbano essere conseguiti e verificati in opera: l'esecuzione dei lavori deve quindi essere particolarmente attenta al fine di evitare di ottenere prestazioni inferiori al previsto a causa di una messa in opera non efficace, in quanto **non risulta sufficiente la produzione di certificazioni con test di laboratorio.**

I calcoli previsionali sono relativi ai materiali descritti e riferiti al lay-out dei locali come da pianta allegata: l'utilizzo di materiali simili ma non conformi a quelli indicati **e/o variazioni della compartimentazione delle unità immobiliari**, possono penalizzare l'isolamento acustico previsto teoricamente in questa relazione tecnica e richiederanno comunque una nuova verifica di calcolo.

Si richiama inoltre l'assoluta necessità di provvedere ad un adeguato isolamento acustico dell'impiantistica idrosanitaria.

Si ricorda infine come, ai sensi della direttiva 92/59/CEE e successiva 2001/95/CE, recepita con il DM n° 115 del 1995 seguita dal D.P.R. 16/01/96 e relativa circolare N° AA.GG/STC del 1996, le superfici vetrate debbano sottostare ai requisiti di sicurezza e resistenza meccanica prescritti.

La presente relazione è composta da n° 26 pagine numerate da 1 a 26 comprensiva del capitolo "allegati" elencati nella pagina seguente.

Pavia, 18 novembre 2022

Il Relatore

Per. Ind. Fabio Pezzoni
Tecnico Competente in Acustica
Elenco Nazionale dei Tecnici
Competenti in Acustica n° 2051



11.0 Allegati

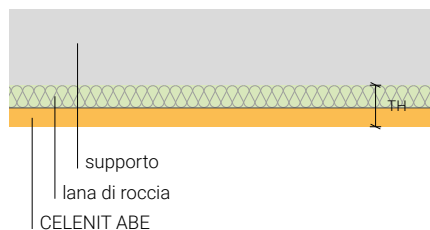
- a) Tavola di progetto
- b) Scheda tecnica Celenit ABE



Figura 3 – Prospetti



Figura 4 – Sezioni



Certificato No. 324528-B

Data 14.05.2015

CELENIT ABE 25 mm

lana di roccia 30 mm, densità 80 kg/m³

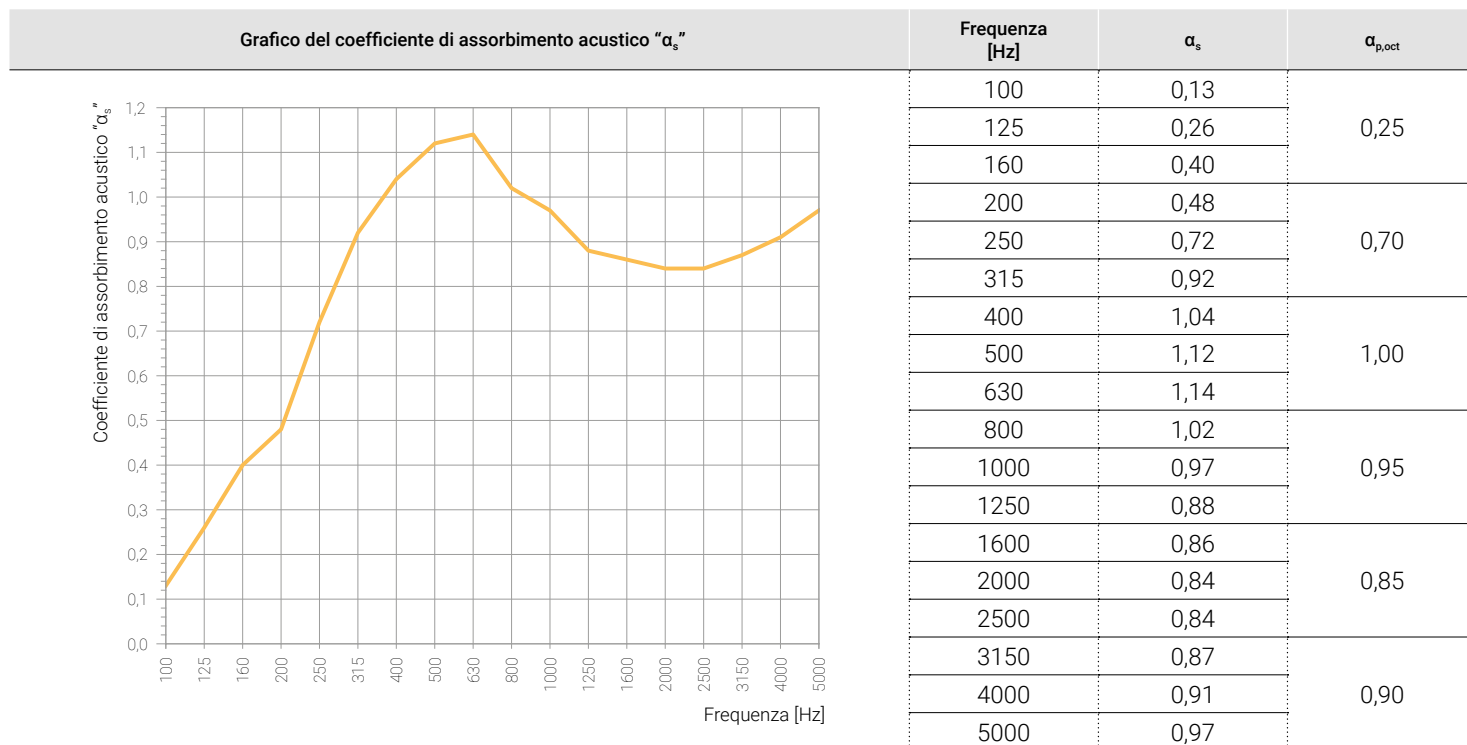
Spessore totale (TH) 55 mm

MISURA DEL COEFFICIENTE DI ASSORBIMENTO

Misura in camera riverberante del coefficiente di assorbimento acustico " α_s " secondo la norma UNI EN ISO 354:2003. Le prove sono state effettuate presso il laboratorio di acustica dell'Istituto Giordano (Bellaria - RN - Italia).

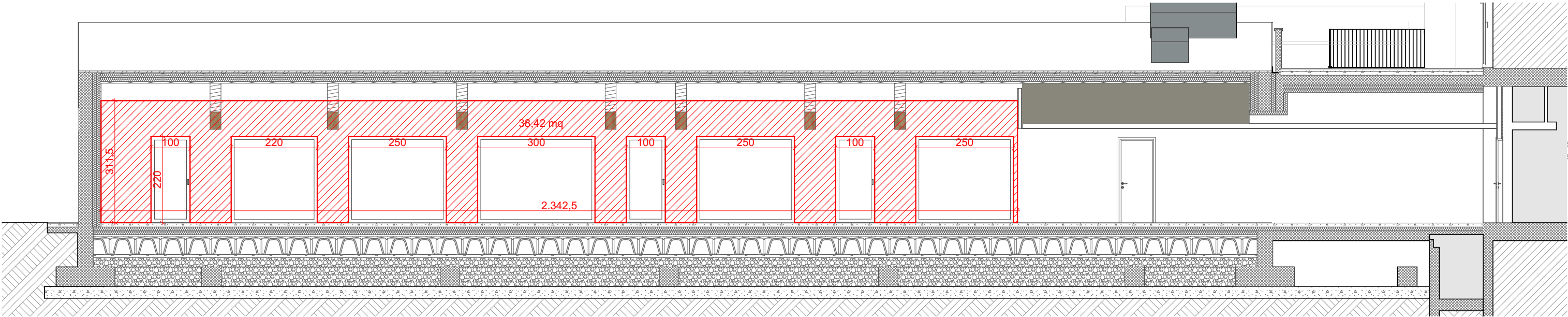
La verniciatura è ininfluenza sulle prestazioni di assorbimento acustico dei pannelli CELENIT come riportato nella nota tecnica dell'Istituto Giordano in data 16.07.2015. I valori di assorbimento acustico sono validi anche per i prodotti con cemento grigio.

α_w (indicatore di forma)	0,90
Classe di assorbimento	B
SAA - Sound absorption average	0,90
NRC - Noise reduction coefficient	0,90



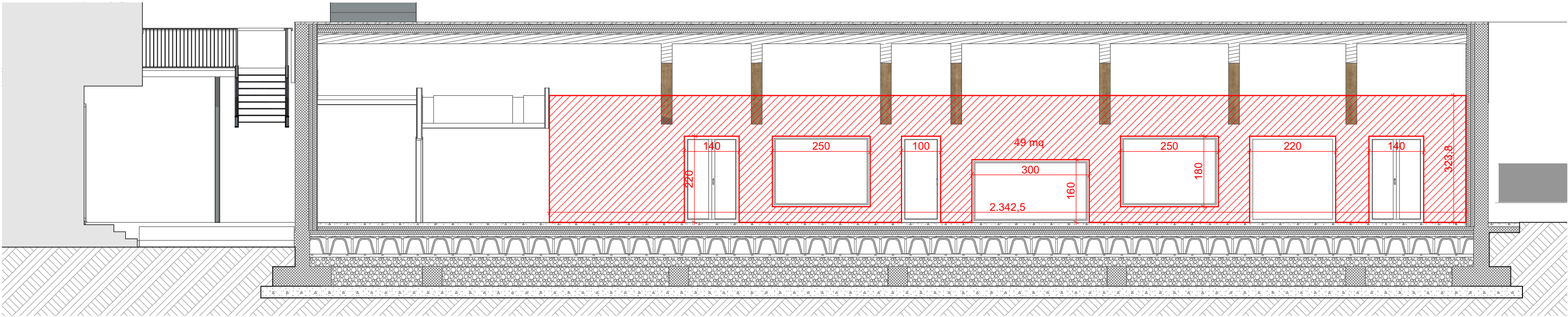
sezione bb

1:100



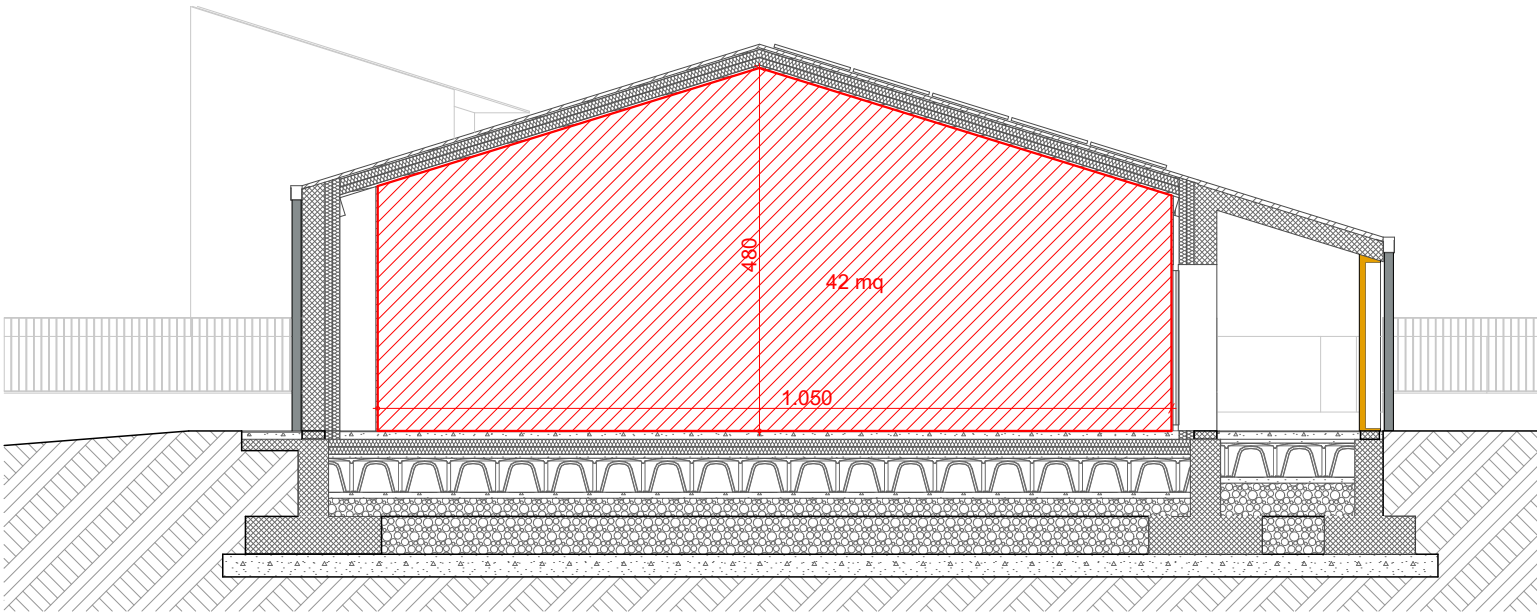
sezione cc

1:100



sezione dd

1:100



verifica delle superfici rivestite in materiale fonoassorbente (tipo Celenit ABE o similare)

- parete est = 42 mq;
- parete nord = 49 mq;
- parete sud = 38,42 mq