



Settore Lavori Pubblici

Servizio Edilizia Scolastica e Patrimonio

MIGLIORAMENTO SISMICO DEL "LICEO TORRICELLI-BALLARDINI"- SEDE DELL'INDIRIZZO SCIENTIFICO DI VIA S.MARIA DELL'ANGELO, 48 FAENZA (Ra)

PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO PRIMO Stralcio - 1° e 2° Lotto ACUSTICA

Presidente:
Michele de Pascale

Consigliere delegato Pubblica Istruzione - Edilizia Scolastica - Patrimonio:
Maria Luisa Martinez

Dirigente responsabile del Settore: Ing. Paolo Nobile

Responsabile del Servizio: Arch.Giovanna Garzanti

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO:

Ing. Paolo Nobile

PROGETTISTI OPERE ARCHITETTONICHE:
COLLABORATORE ALLA PROGETTAZIONE:

Arch. Claudio Piersanti- Arch. Rita Rava
Arch. Stefania Altieri

PROGETTISTA OPERE STRUTTURALI:
COLLABORATORE PROGETTAZIONE OPERE STRUTTURALI:

Ing. Angelo Sampieri
Ing. Filippo Sangiorgi

PROGETTISTA IMPIANTI IDRICI E MECCANICI:
PROGETTISTA IMPIANTI ELETTRICI:

ELTEC srl Società di Ingegneria
ELTEC srl Società di Ingegneria

COORDINATORE della SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Arch. Stefania Altieri

ACUSTICA:

Ing. Alessandro Placci

TITOLO ELABORATO: PROGETTO DELLE PRESTAZIONI ACUSTICHE PASSIVE

Codice elaborato:

PD_PE_ACU_01_00

Revisione:

00

Data:

31/05/2021

Scala:

Nome file di archiviazione:

PD_PE_ACU_01_CL-ACU-P_r.00

PROFESSIONISTA RESPONSABILE:

Ing.Alessandro Placci

FIRMATO DIGITALMENTE

FIRMATO DIGITALMENTE

Il Responsabile Unico del Procedimento Ing.Paolo Nobile

Rev.	Descrizione	Redatto:	Controllato:	Approvato:	Data:
00	EMISSIONE	AP	AP		
01	REVISIONE				



INDICE

1	PREMESSA.....	4
2	INQUADRAMENTO NORMATIVO.....	5
2.1	DPCM 5-12-97.....	5
2.2	D.M. 18-12-1975 e Circ. del Ministero dei lavori pubblici n.3150 del 22 maggio 1967	7
2.3	Il controllo del rumore impiantistico.....	9
2.4	Chiarimenti interpretativi successivi al Decreto.....	10
2.5	Riferimenti normativi relativi ai calcoli acustici.....	13
3	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO.....	15
4	SINTESI DEGLI OBIETTIVI DI PROGETTO ACUSTICO.....	22
5	ISOLAMENTO ACUSTICO DI FACCIATA – INDICAZIONI ESECUTIVE.....	23
6	CONTROLLO DEL TEMPO DI RIVERBERO.....	25
6.1	Aula 1.....	25
6.2	Aula 2.....	26
6.3	Aula 3.....	28
6.4	Aula 4.....	28
6.5	Specifiche relative al materiale fonoassorbente.....	30
6.6	Osservazioni.....	31
7	CONTROLLO DEL RUMORE IMPIANTISTICO.....	35
7.1	Impianti a funzionamento discontinuo.....	35
7.2	Impianti a funzionamento continuo per la ventilazione delle aule 3 e 7.....	36
8	ISOLAMENTO DEI RUMORI AEREI.....	38
8.1	Isolamento acustico tra aule affiancate.....	38
8.2	Isolamento acustico tra aule sovrapposte.....	41
9	ISOLAMENTO DEI RUMORI DA CALPESTIO.....	43



9.1 Isolamento al calpestio piano terra.....	43
9.2 Isolamento acustico tra aule sovrapposte.....	44
10 INDICAZIONI DI CARATTERE ESECUTIVO RELATIVE AL CALPESTIO.....	46



1 PREMESSA

Il presente studio ha come scopo il progetto delle prestazioni acustiche passive relative ad un intervento di miglioramento sismico di un fabbricato esistente, destinato a funzione scolastica, per il quale è prevista anche una riorganizzazione interna degli spazi. Il fabbricato in questione è la sede dell'indirizzo scientifico del Liceo "Torricelli-Ballardini" di Faenza, collocata in Via Santa Maria dell'Angelo n.48. Lo studio si inserisce nell'ambito del progetto esecutivo.

Sulla base della tipologia di lavori da eseguire e di quanto concordato tra progettisti e committenza, il presente intervento NON risulta soggetto all'applicazione del DM 11/01/2017, "*Adozione dei criteri ambientali minimi per gli arredi per interni, per l'edilizia e per i prodotti tessili*" e in particolare non risulta soggetto all'applicazione del paragrafo 2.3.5.6 relativo al comfort acustico. Di conseguenza l'indagine acustica è svolta unicamente ai sensi DPCM 5/12/1997 e del DM 18/12/1975, che definiscono le grandezze e i valori di minimi relativi ai requisiti acustici passivi degli edifici a destinazione scolastica.

NON sono oggetto della presente analisi la valutazione di compatibilità acustica tra l'edificio scolastico e le sorgenti ad esse connesse e il contesto urbano (Documentazione previsionale di clima acustico, DPCA, o Documentazione di Impatto acustico, Do.Im.A).



2 INQUADRAMENTO NORMATIVO

2.1 DPCM 5-12-97

Il primo riferimento di legge principale per la definizione dei requisiti acustici passivi minimi di legge è il DPCM 5-12-97 che fissa una serie di requisiti acustici degli ambienti abitativi, in funzione della destinazione d'uso degli spazi progettati.

La definizione delle grandezze di riferimento è contenuta all'interno dell'allegato A del DPCM 5/12/1997, di cui si riporta il seguente paragrafo:

.....

Grandezze di riferimento: definizioni, metodi di calcolo e misure

Le grandezze che caratterizzano i requisiti acustici passivi degli edifici sono:

- *il tempo di riverberazione (T), definito dalla norma ISO 3382:1975;*
- *il potere fonoisolante apparente di elementi di separazione fra ambienti (R), definito dalla norma EN ISO 140-5:1996;*
- *l'isolamento acustico standardizzato di facciata ($D_{2m,nT}$), definito da: $D_{2m,nT} = D_{2m} + 10 \log T/T_0$, dove $D_{2m} = L_{1,2m} - L_2$, cioè la differenza di livello tra $L_{1,2m}$ (livello di pressione sonora esterno a 2 metri dalla facciata, prodotto da rumore da traffico se prevalente, o da altoparlante con incidenza del suono di 45° sulla facciata) e L_2 (livello di pressione sonora medio nell'ambiente ricevente).*

.....

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

- *indice del potere fonoisolante apparente di partizioni fra ambienti (R_w) da calcolare secondo la norma UNI 8270: 1987, Parte 7[^], para. 5.1.;*
- *indice dell'isolamento acustico standardizzato di facciata ($D_{2m,nT,w}$) da calcolare secondo le stesse procedure di cui al precedente punto a.;*
- *indice del livello di rumore di calpestio di solai, normalizzato ($L_{n,w}$) da calcolare secondo la procedura descritta dalla norma UNI 8270: 1987, Parte 7[^], para.5.2.*

.....

Rumore prodotto dagli 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.*

Le misure di livello sonoro devono essere eseguite nell'ambiente nel quale il livello di rumore è più elevato. Tale ambiente deve essere diverso da quello in cui il rumore si origina.

.....

Poco oltre, nello stesso documento vengono definiti le categorie di ambienti abitativi e, per ciascuna di esse, i valori limite da rispettare:

.....



TABELLA A
CLASSIFICAZIONI DEGLI AMBIENTI ABITATIVI (art. 2)

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

TABELLA B
REQUISITI ACUSTICI PASSIVI DEGLI EDIFICI,
DEI LORO COMPONENTI E DEGLI IMPIANTI TECNOLOGICI - Categorie di cui alla Tab. A

<i>i</i>	<i>R'w (*)</i>	<i>D2m,nT,w</i>	<i>L'n,w</i>	<i>LASmax</i>	<i>LAeq</i>
<i>1. D</i>	55	45	58	35	25
<i>2. A , C</i>	50	40	63	35	35
<i>3. E</i>	50	48	58	35	25
<i>4. B , F , G</i>	50	42	55	35	35

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

.....

Per la definizione del tipo di funzionamento dell'impianto da verificare nel decreto, all'art.2 si specifica che:

.....

3. Sono servizi a funzionamento discontinuo gli ascensori, gli scarichi idraulici, i bagni, i servizi igienici e la rubinetteria.

4. Sono servizi a funzionamento continuo gli impianti di riscaldamento, aerazione e condizionamento.

.....

Si osserva fin da ora la contraddizione interna al decreto: nell'allegato B si afferma come valore limite massimo per gli impianti a funzionamento continuo i 25 dB di LAeq , nella tabella B si definisce come valore limite in termini di livello equivalente 35 dB(A). In presenza di questa contraddizione legislativa ancora oggi non chiarita, si considera come limite di riferimento per il livello equivalente il valore di 25 dB(A).

2.2 D.M. 18-12-1975 e Circ. del Ministero dei lavori pubblici n.3150 del 22 maggio 1967

In calce al DPCM 5-12-97 è presente la seguente nota:

“con riferimento all’edilizia scolastica, i limiti per il tempo di riverberazione sono quelli riportati nella circolare del Ministero dei lavori pubblici n. 3150 del 22 maggio 1967, recante i criteri di valutazione e collaudo dei requisiti acustici negli edifici scolastici”

Questo richiamo era già presente all’interno del Decreto Ministeriale 18 dicembre 1975 sull’edilizia scolastica, laddove, al capitolo 5, si stabiliva:

5.1. CONDIZIONI ACUSTICHE
Criteri di valutazione dei requisiti acustici dell’edilizia scolastica
5.1.1. Introduzione
 i) Si adottano i criteri generali, i metodi di misura e i criteri di valutazione dei risultati indicati nelle norme di carattere generale di cui alla circolare 30/04/1966, n. 1769, parte prima del servizio tecnico centrale del Ministero dei lavori pubblici, salvo alcune prescrizioni riguardanti la particolare destinazione dell’edificio.
 Le determinazioni di isolamento acustico dovranno essere eseguite fra ambienti ad uso didattico adiacenti e sovrastanti, aventi normale o particolare destinazione, anche a titolo saltuario (come ad esempio aule speciali, officine, laboratori, etc.).
 iv) I limiti di isolamento sono fissati essenzialmente tenendo conto dei requisiti minimi richiesti per scuole o aule d’insegnamento generale.

Si osserva che l’importanza data al controllo del campo riverberante nell’edilizia scolastica è finalizzata al miglioramento dell’intelligibilità del parlato. Un buon ascolto della parola può infatti aiutare la comprensione e l’apprendimento da parte dei bambini, così come ormai dimostrato da numerosi studi specifici. Risulta quindi cogente anche quanto stabilito da detta circolare, che fissa i valori limite massimi di riverbero relativi all’edilizia scolastica in funzione del volume dell’ambiente:

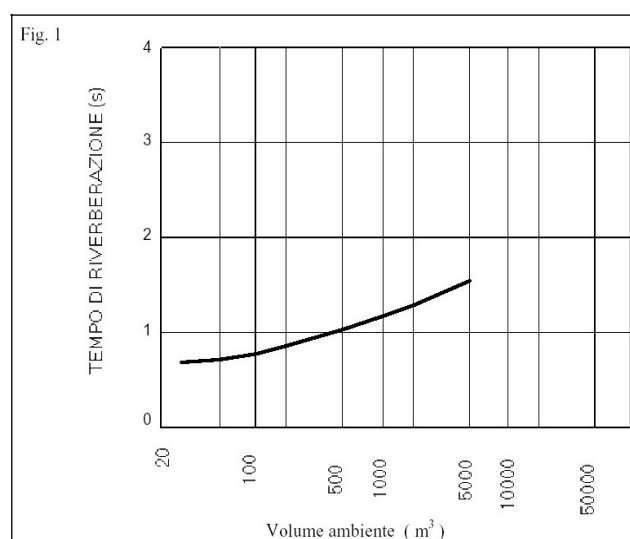
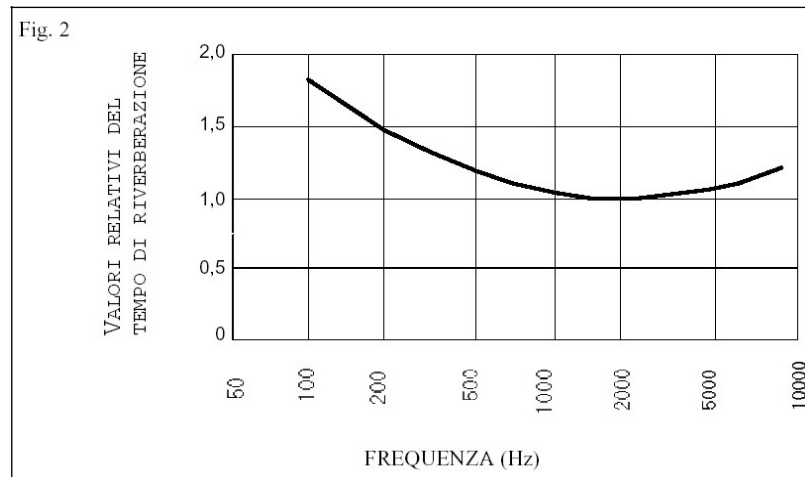


Immagine 1: Valori ottimali a 2000 Hz in funzione del volume dell’ambiente.



**Immagine 2: Andamento ottimale in funzione della frequenza
(in questo caso relativo ad un ambiente con TR = 1 s a 2000 Hz)**

I valori ottimali del tempo di riverberazione sono strettamente legati alle dimensioni degli ambienti. Sempre nella medesima circolare si stabiliscono anche i seguenti requisiti minimi:

Requisiti	Indice di valutazione
Isolamento acustico fra due aule adiacenti sullo stesso piano	40 dB
Isolamento acustico fra due aule sovrapposte	42 dB
Livello di rumore di calpestio fra due aule sovrapposte	68 dB

2.3 Il controllo del rumore impiantistico

Si è già detto che il DPCM 5.12.97 non norma la rumorosità impiantistica interna alla singola unità immobiliare, cioè prodotta da impianti interni all'unità immobiliare nei confronti degli spazi dell'unità stessa. Per poter definire quali parametri e quali valori considerare ottimali per ciascuno di questi 4 aspetti, si richiamano le seguenti norme:

- UNI 8199:2016, "Collaudo acustico di impianti a servizio di unità immobiliari – Linee guida contrattuali e modalità di misurazione all'interno degli ambienti serviti" che richiama la successiva norma;
- UNI 16798:2019, "Prestazione energetica degli edifici, ventilazione per gli edifici - Parte 1: Parametri di ingresso dell'ambiente interno per la progettazione e valutazione della prestazione energetica degli edifici in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica, Modulo M1-6"



In particolare l'allegato B della norma UNI 16798, attraverso il prospetto B.6 suggerisce i seguenti livelli massimi di rumorosità (da valutare sulla base dei criteri definiti dalla norma UNI 8199), in funzione della destinazione d'uso degli ambienti e in base al livello prestazionale che si intende raggiungere, suddiviso in livello I (avanzato), II (intermedio) o III (base).

Edificio	Destinazione d'uso	Leq massimo secondo UNI 16798		
		I	II	III
Residenziale	Zona giorno	30	35	40
	Camere da letto	25	30	35
Luoghi pubblici	Auditorium	24	28	32
	Biblioteche	25	30	35
	Cinema	24	28	32
	Musei	28	32	36
Commerciale	Negozi	35	40	45
	Supermercati	40	45	50
Ospedali	Camere da letto	25	30	35
	Reparto ospedaliero	32	36	40
	Sale operatorie	35	40	45
Hotel	Camere da letto	25	30	35
	Reception e spazi comuni	30	35	40
Uffici	Uffici di piccole dimensioni	30	35	40
	Uffici Open space	35	40	45
	Sale riunioni	30	35	40
Ristoranti	Caffetteria	35	40	45
	Bar, sale ristoranti	32	36	40
	Cucine	45	50	55
Scuole	Aule	30	34	38
	Palestra	35	40	45
Sport	Spazi sportivi al coperto	35	40	45
Altri spazi	Spazi di servizio e corridoi	35	40	45
	Servizi igienici	35	45	55



2.4 Chiarimenti interpretativi successivi al Decreto

Successivamente all'emanazione del decreto i ministeri competenti hanno emanato alcune circolari interpretative, le più importanti delle quali vengono di seguito citate come riferimento nello svolgimento della presente consulenza progettuale.

Oltre alle circolari ministeriali, alcune norme tecniche di settore hanno contribuito a definire un *modus operandi* per ciò che riguarda i collaudi e, come conseguenza indiretta, anche l'attività di progettazione.

a) Applicabilità in caso di interventi su un edificio esistente

Su questo tema le diverse circolari ministeriali (Circ. Min. Amb. Prot. 3632 del 1 set 1998, Circ. Min. Amb. Prot. 6717 del 9 mar 1999, parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n.12/2014 del 26 giugno 2014) hanno stabilito che il Decreto trova applicazione anche sugli edifici esistenti nel caso di interventi di ristrutturazione. Saranno da adeguare alle prestazioni richieste dal Decreto tutti gli elementi edilizi oggetto di una "totale ristrutturazione", cioè di un intervento tale da rendere tecnicamente possibile l'adeguamento stesso. In questa ottica ogni intervento di ristrutturazione (o manutenzione straordinaria) andrà quindi analizzato nel dettaglio per capire quali parametri acustici dovranno essere considerati per l'adeguamento.

b) Ambienti soggetti al rispetto dei valori di legge

Innanzitutto i limiti di legge definiti dal decreto si applicano agli "ambienti abitativi". Poiché all'art.2 comma b) della Legge quadro 447/95, gli ambienti abitativi vengono definiti come "*ogni ambiente interno ad un edificio destinato alla permanenza delle persone*", ne deriva che i limiti definiti dal DPCM 5-12-97 vengono intesi come limiti da applicare appunto solo agli spazi destinati alla permanenza di persone risultando così esclusi alcuni ambienti ritenuti non significativi ai fini del comfort acustico di unità immobiliare, ovvero ambienti di servizio, ripostigli, bagni di servizio, autorimesse, locali tecnici, ecc..

A questa limitazione se ne aggiunge un'altra di derivazione tecnica. Le norme che stabiliscono come effettuare le misure di collaudo delle prestazioni acustiche fissano, infatti, delle dimensioni minime degli spazi perché possa effettivamente essere effettuato un collaudo. In particolare la norma UNI 11367 relativa alla classificazione acustica dei fabbricati, ha introdotto la definizione di "*ambienti acusticamente verificabili*", come ambienti "*di dimensioni sufficienti a consentire l'allestimento di misurazioni in conformità ai procedimenti di prova e valutazione descritti nelle pertinenti parti della serie*



UNI EN ISO 140...". Nel dettaglio si evidenzia che le norme UNI 140 sono poi state sostituite dalla serie 16283: esse stabiliscono che uno spazio possa essere oggetto di collaudo acustico solo se al suo interno possono essere individuati almeno 5 punti di misura distanti tra loro almeno 70 cm e distanti dalle pareti interne o dagli arredi interni almeno 50 cm. Ne deriva indirettamente che tutti gli altri ambienti che non rientrano nella categoria di "ambienti acusticamente verificabili" sono esclusi dai collaudi.

Sulla base di questa indicazione normativa, quindi, il tecnico scrivente esclude dall'attività di progettazione:

- gli ambienti che non siano destinati alla permanenza di persone;
- gli ambienti che non siano acusticamente verificabili ai sensi della UNI 11367.

c) Contraddizione relativa al rumore degli impianti a funzionamento continuo

E' stata da tempo osservata la contraddizione interna al decreto: nell'allegato B si afferma come valore limite massimo per gli impianti a funzionamento continuo i 25 dB di LAeq, nella tabella B si definisce come valore limite in termini di livello equivalente 35 dB(A). In presenza di questa contraddizione legislativa il chiarimento ultimo del Ministero è sancito dalla circolare Min. ambiente protocollo 20177 del 13 ago 2010 che ha indicato come limite 25 dBA e per questo motivo viene considerato come limite da rispettare proprio quello di 25 dBA.

d) Interpretazione dei livelli massimi di rumore da calpestio

Quanto all'interpretazione dei valori di isolamento al rumore da calpestio si precisa che in presenza di destinazioni d'uso differenti e sovrapposte si applica il valore definito per la destinazione d'uso posta al livello superiore. (cfr. circolare Min. ambiente protocollo 25041 del 29/07/2014).

Sempre la medesima circolare ha chiarito che tali valori massimi di rumorosità si applicano solamente ai solai che separano due distinte unità immobiliari, siano esse sovrapposte, affiancate o in posizione "diagonale", ma non sui solai interni alla medesima unità immobiliare.

e) Applicabilità nel caso di frazionamento in più unità immobiliari

Ad affrontare questo tema è la circolare del ministero dell'ambiente protocollo 137741 del 18 ott 2017. Essa rimanda alla circolare del Min. dell'Ambiente del 1998 e afferma che sono da adeguare solo gli elementi edilizi oggetto di "totale ristrutturazione", ma anche che gli altri elementi edilizi che a seguito dell'intervento diventeranno di separazione tra le unità immobiliari dovranno essere



“attentamente valutati”. In questo ambito, evidentemente ancora non chiaro, in via cautelativa il tecnico scrivente suggerisce sempre l’adeguamento delle nuove partizioni ai limiti fissati dal Decreto.

f) Definizione dei valori limite in presenza di unità immobiliari a destinazione mista

Sempre il parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n.12/2014 del 26 giugno 2014 stabilisce che in presenza di unità immobiliari nelle quali sia possibile “determinare, con chiarezza e in via permanente, le differenti destinazioni d’uso presenti all’interno di uno stesso immobile, agli ambienti facenti capo alla medesima destinazione d’uso debbano essere applicati i pertinenti requisiti acustici passivi sopra richiamati, considerando le divisioni fra ambienti contigui a diversa destinazione d’uso come elementi separatori fra diverse unità immobiliari”.

g) Applicabilità dei limiti all’interno della stessa unità

Quanto all’interpretazione a quali ambienti debbano essere presi in considerazione nel verificare i limiti di rumorosità definiti dal DPCM (nel caso specifico si parla di rumore da calpestio, ma la considerazione assume un carattere di tipo generale da riferirsi all’intero DPCM), la circolare Min. ambiente protocollo 25041 del 29/07/2014 precisa quanto segue:

“Lo spirito della normativa in materia di inquinamento acustico è quello di regolamentare i rapporti tra colui che produce il rumore e il ricettore. Anche il codice civile in merito si esprime con l’art. 844 andando a regolamentare i rapporti di vicinato, ossia le emissioni di inquinanti, tra cui il rumore, nei fondi confinanti. Nella normativa di settore non si evidenzia nessun riferimento alla considerazione di situazione in cui il detentore della sorgente coincida con il patente. Analogamente la Legge quadro 447/95 con il Decreto attuativo DPCM 5-12-97, si propone di cautelare l’ambiente o le popolazioni dall’inquinamento acustico, differenziando chiaramente il soggetto disturbante da quello disturbato. ...Si può quindi affermare che i solai interni ad una stessa unità immobiliare non sono assoggettabili a limitazioni. ...In analogia, anche l’indice del potere fonoisolante apparente di partizioni fra ambienti relativo ai solai di una stessa unità immobiliare, ma anche partizioni verticali quali tramezzi divisorii di uno stesso appartamento spesso dotati di porte di collegamento, non sono assoggettabili ai limiti dell’art. 3 del succitato DPCM”.

In definitiva, quindi, i limiti di isolamento definiti dal DPCM non possono essere verificati all’interno della stessa unità immobiliare.



h) Rumore da calpestio prodotto dal passaggio su una rampa di scale

Quanto al rumore da calpestio prodotto sulle scale il DPCM non ne parla e le norme UNI non trattano della possibilità di effettuare collaudi relativi a questo tipo di rumore. Si tratta quindi di un tipo di rumore per il quale il tecnico scrivente considera la norma non cogente. Ciononostante verranno fornite indicazioni progettuali volte in ogni caso a ridurre gli effetti.

2.5 Riferimenti normativi relativi ai calcoli acustici

Per il calcolo si fa riferimento alla seguente normativa:

- UNI EN 12354-1, Acustica in edilizia – Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti – Isolamento contro il rumore per via aerea.
- UNI EN 12354-3, Acustica in edilizia – Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti – Isolamento acustico contro il rumore proveniente dall'esterno per via aerea;
- UNI EN 12354-6, Acustica in edilizia – Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti – Assorbimento acustico in ambienti chiusi;
- UNI/TR 11175: 2005 Guida alle norme serie UNI EN 12354 per la previsione delle prestazioni acustiche degli edifici.

In condizioni di posa in opera corretta, il calcolo condotto secondo modelli semplificati quali quelli adottati e dedotti dalla norme UNI EN 12354 prevede, in termini di accuratezza delle previsioni:

- per l'isolamento acustico delle facciate, uno scarto medio tipo di $\pm 1,5$ dB, con una tendenza a sopravvalutare la prestazione rispetto ai valori collaudabili in opera;
- per l'isolamento acustico al rumore per via aerea, uno scarto medio tipo di ± 2 dB, con una tendenza a sopravvalutare la prestazione rispetto ai valori collaudabili in opera;
- per l'isolamento al calpestio, uno scarto medio di ± 2 dB per il 60% dei casi e di ± 4 dB per il 100% dei casi, rispetto ai valori collaudabili in opera.



3 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

L'intervento, come anticipato in premessa, ha come obiettivo principale e sostanziale il miglioramento della sicurezza del fabbricato di fronte ad un'azione sismica. Si tratta, infatti, di un fabbricato storico, più volte rimaneggiato nei secoli, sottoposto anche a vincolo presso la Soprintendenza dei beni Architettonici. Di questo fabbricato, in realtà, saranno soggetti ai lavori di seguito descritti solamente alcuni ambienti collocati al piano terra e al primo piano. La destinazione d'uso per questi spazi è in parte a biblioteca e in parte ad aule didattiche.

I lavori saranno suddivisi in più stralci. Lo stralcio per il quale viene condotta la presente analisi non considera gli spazi del piano primo che, seppur inseriti all'interno dello stesso progetto architettonico d'insieme (livello definitivo) verranno analizzati a livello esecutivo in una successiva fase perché finanziati separatamente.

Per una migliore comprensione dell'intervento si rimanda ovviamente agli elaborati progettuali architettonici e impiantistici (grafici e relazioni) rispetto ai quali la presente relazione di progetto acustico si configura come studio specialistico integrativo.

All'interno di questo ambito sono dunque previsti i seguenti lavori:

- consolidamento delle murature mediante realizzazione di betoncini armati;
- consolidamento dei solai di piano mediante realizzazione di soletta collaborante in c.c.a.;
- miglioramento delle prestazioni energetiche mediante sostituzione degli infissi e inserimento di strati isolanti alle murature perimetrali e a terra: a proposito degli infissi di nuova installazione si evidenzia che essi dovranno rispettare dei vincoli di carattere architettonico in merito allo spessore dei telai che, di conseguenza saranno realizzati artigianalmente in ferro;
- integrazione degli impianti di climatizzazione esistenti con estensione realizzata in parte con pannelli radianti a pavimento e in parte con radiatori (da collegare al generatore di calore esistente);
- inserimento di impianti di ventilazione meccanica controllata a servizio di 2 aule che presentano un limitato rapporto di aerazione diretta verso l'esterno;
- restauro delle finiture, laddove possibile, e sostituzione delle pavimentazioni;
- realizzazione di nuovi servizi igienici;
- rifacimento dell'impianto elettrico.

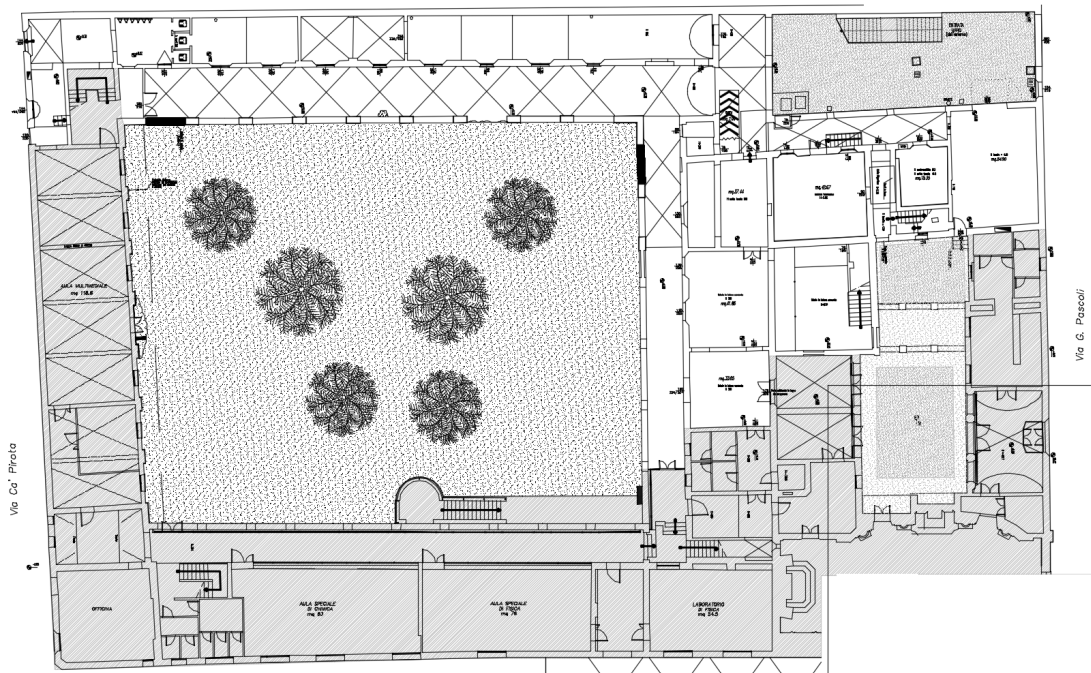


Immagine 3: Stato di fatto – pianta piano terra. La porzione di fabbricato oggetto di intervento è quella non tratteggiata.

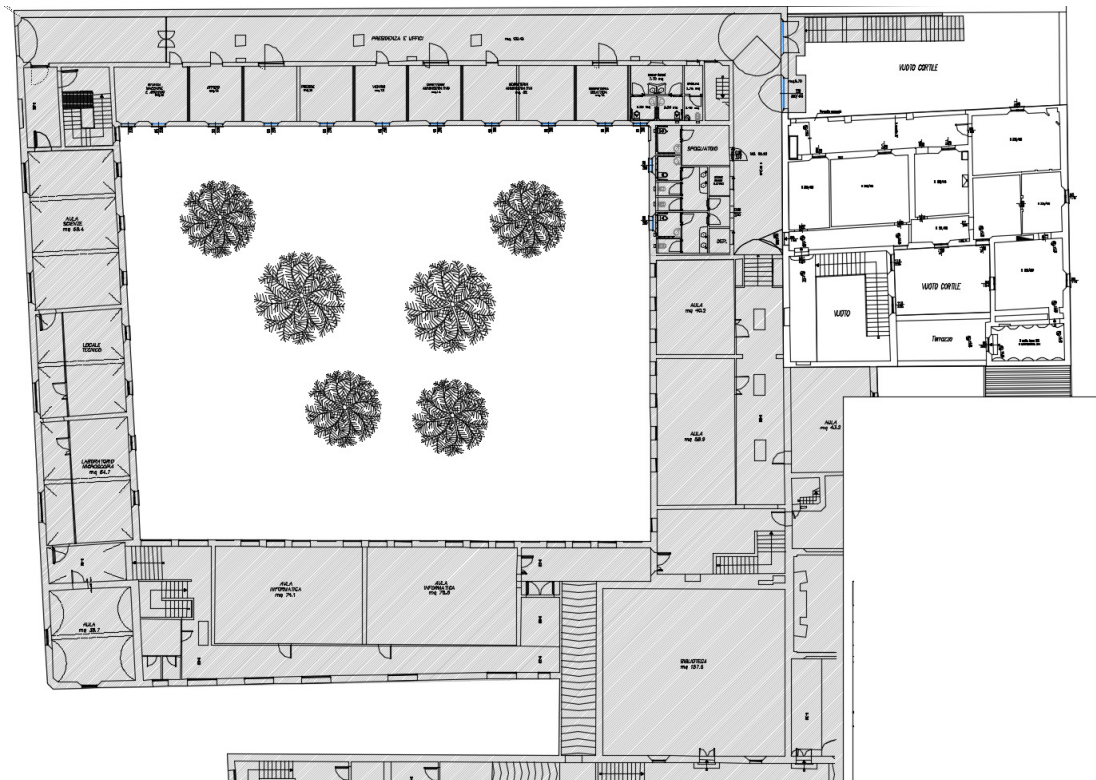


Immagine 4: Stato di fatto – pianta piano primo. La porzione di fabbricato oggetto di intervento è quella non tratteggiata.

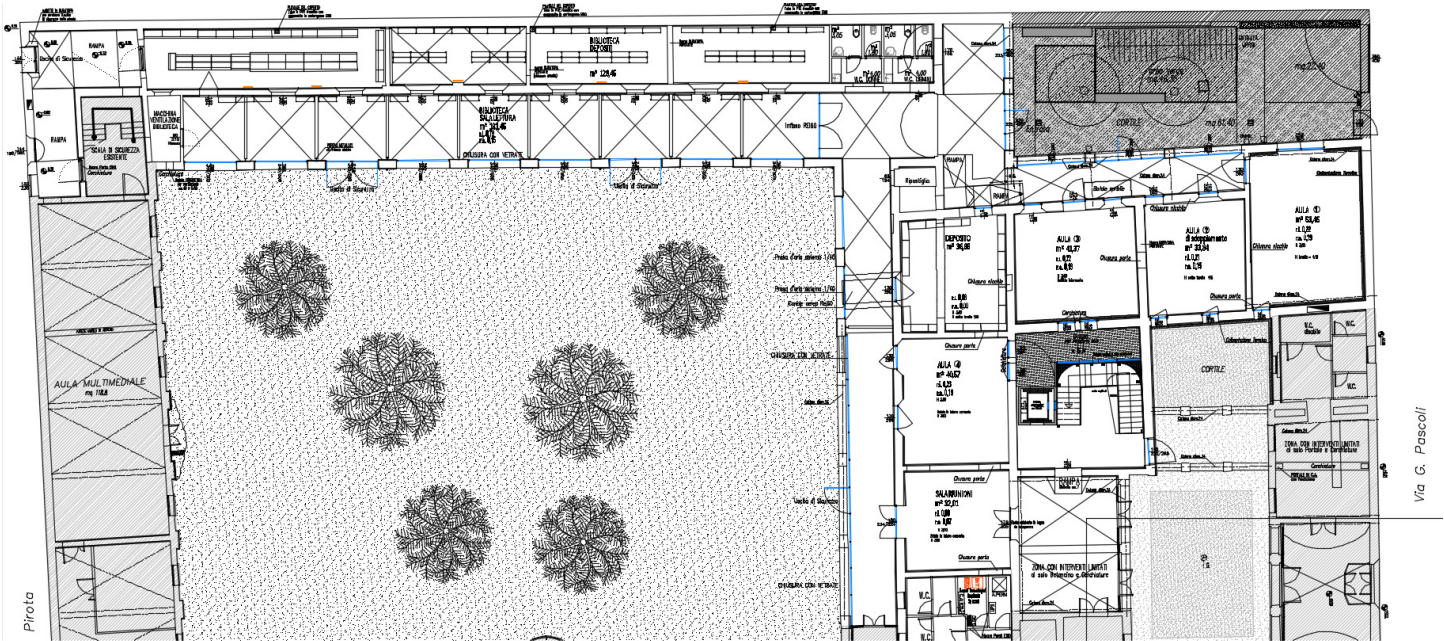


Immagine 5: Progetto – pianta piano terra.

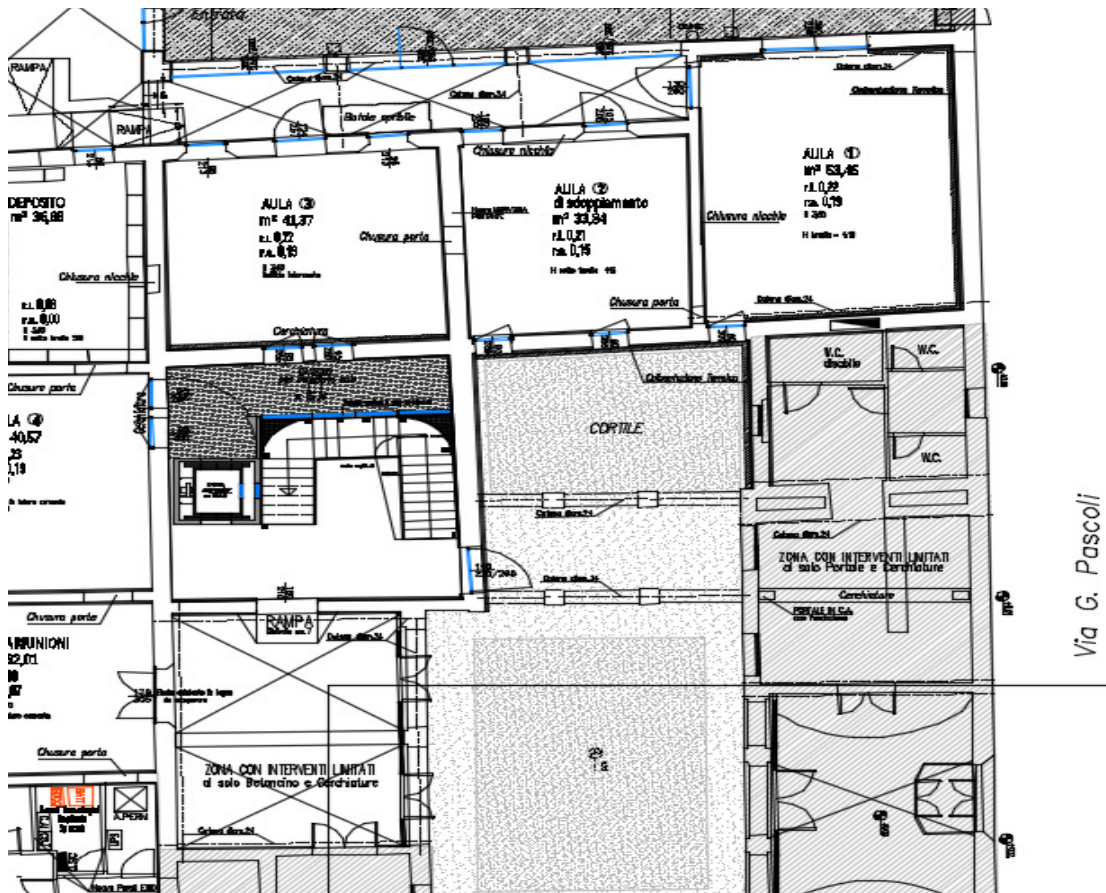


Immagine 6: Progetto – pianta piano terra – dettaglio aule.

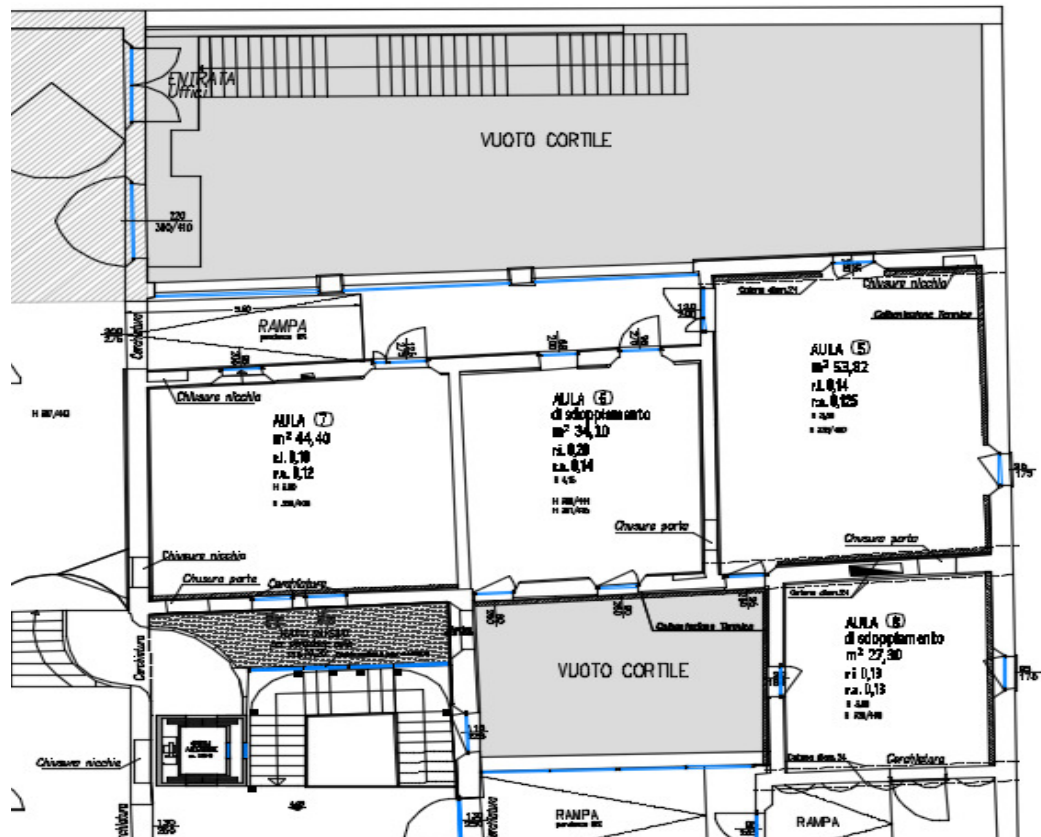


Immagine 7: Progetto – pianta piano primo.

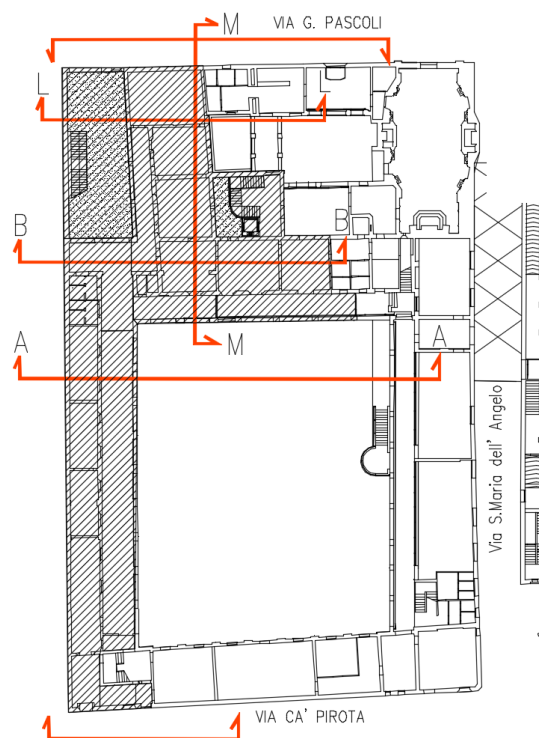


Immagine 8: Schema delle sezioni.

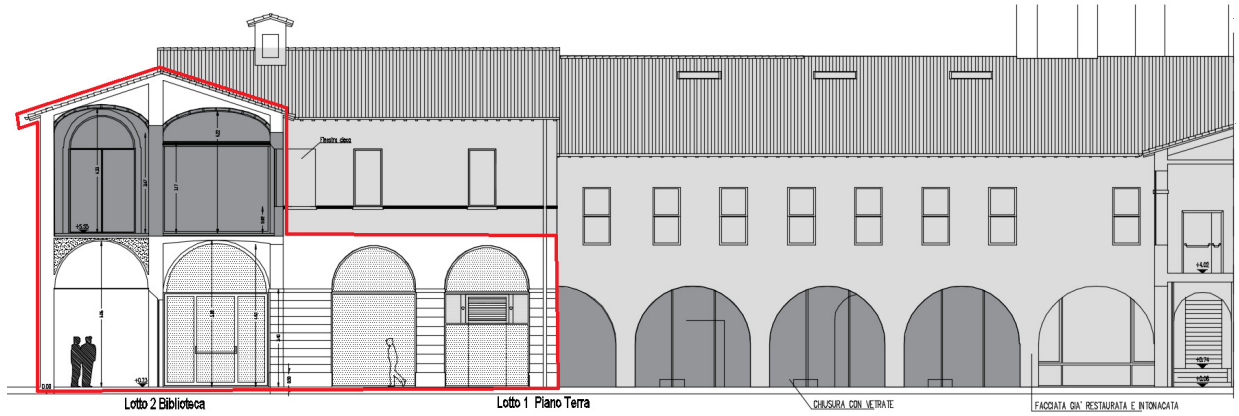


Immagine 9: Prospetto-sezione A-A.

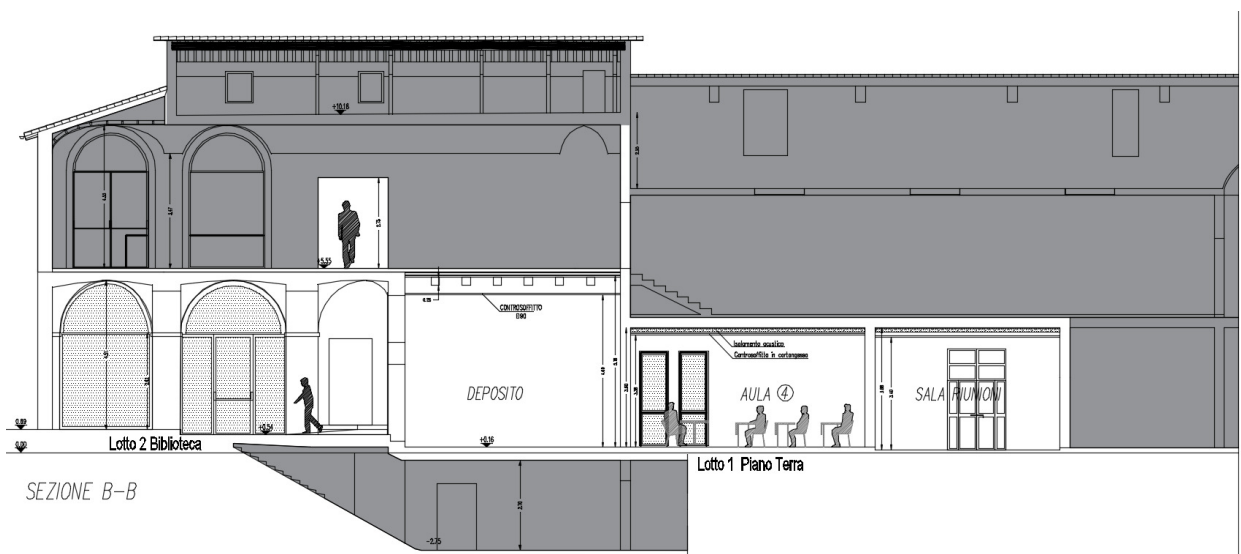


Immagine 10: Prospetto-sezione B-B.

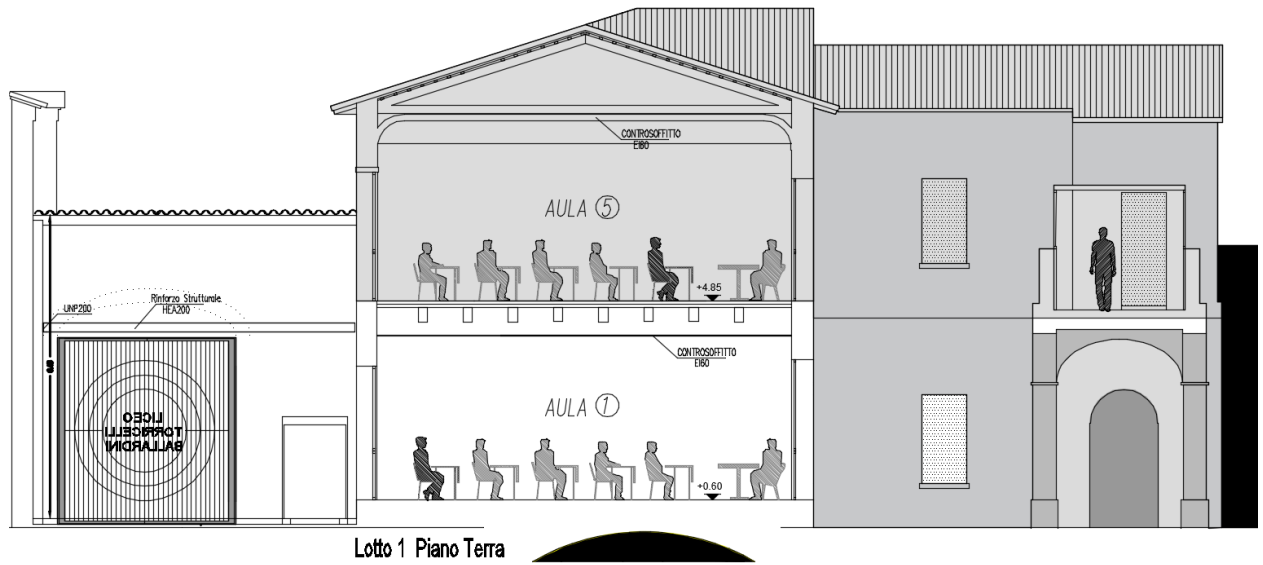


Immagine 11: Prospetto-sezione L-L.



Immagine 12: Prospetto-sezione M-M.



4 SINTESI DEGLI OBIETTIVI DI PROGETTO ACUSTICO

In definitiva, quindi, in riferimento a quanto descritto al paragrafo 2 a proposito delle normativa vigente e a quanto descritto al paragrafo 3 a proposito dell'intervento, dovranno essere progettate le seguenti prestazioni acustiche:

1. **isolamento acustico di facciata:** il vincolo architettonico sul fabbricato (sovraordinato rispetto agli obblighi del DPCM 5-12-97) impone la realizzazione di infissi con telai a spessore ridotto. Per questo motivo essi saranno realizzati artigianalmente in ferro. A questo si aggiunga il fatto che le facciate oggetto di intervento sono tutte "introspettive", cioè rivolte verso corti interne. Per tutti questi motivi ci si limiterà a fornire indicazioni di carattere esecutivo per ottimizzare l'intervento, senza obbligo di raggiungere i valori minimi stabiliti dal DPCM;
2. **tempo di riverbero:** la prestazione va verificata dovrà essere verificata per tutte le nuove aule del piano terra e i valori dovranno essere contenuti entro i limiti fissati dalla circolare del Ministero dei lavori pubblici;
3. **rumore impiantistico:** dovrà essere contenuto entro i limiti fissati dal DPCM 5-12-97 sia per gli impianti a funzionamento continuo (in particolare le due VMC), sia per gli impianti a funzionamento discontinuo (scarichi WC); la verifica dei valori limite dovrà essere fatta in corrispondenza degli ambienti "*acusticamente verificabili*" e "*destinati alla permanenza di persone*" e i parametri di riferimento sono il L_{Asmax} e Leq ;
4. **isolamento ai rumori da calpestio:** riguarderà sia il solaio di separazione tra le aule del piano primo (ora non oggetto di intervento) e le aule del piano terra, sia il solaio contro terra; dovrà essere contenuto entro i limiti fissati dal DPCM (per quanto possibile visto che si tratta di un intervento di restauro su immobile vincolato) poiché più restrittivi rispetto a quelli della circolare del Ministero dei lavori pubblici;
5. **isolamento ai rumori aerei:** la prestazione dovrà essere verificata sia tra aule affiancate, sia tra aule sovrapposte; l'isolamento acustico (D) dovrà essere contenuto entro i limiti fissati dalla circolare del Ministero dei lavori pubblici.



5 ISOLAMENTO ACUSTICO DI FACCIATA – INDICAZIONI ESECUTIVE

Il montaggio degli infissi dovrà avvenire in conformità alla norma UNI 10818 e della nuova norma 11673 emanata nel marzo 2017. In via sintetica, ma non esaustiva, si riportano le seguenti prescrizioni tratte dalle stesse norme sopra citate:

- poiché per il progetto in esame sono previsti infissi caratterizzati da R_w+C relativamente elevati, per garantire il mantenimento in opera della prestazione di laboratorio sarà necessario utilizzare sigillanti e nastri ad espansione caratterizzati da un R_s non inferiore a 55 dB, secondo la norma EN-ISO 10140-1;
- considerare la continuità della sigillatura interna (sia del giunto primario, sia del giunto secondario) sull'intero perimetro del foro, per garantire la continuità del piano funzionale di permeabilità all'aria dell'involucro dell'edificio;
- di conseguenza prevedere guarnizioni e battute anche in corrispondenza della soglia per porte -finestre;
- in caso di impiego di materiali differenti di sigillatura, considerare la compatibilità chimico-fisica mediante richieste di informazioni specifiche ai produttori dei materiali interessati (del serramento, dei sigillanti, ecc.);
- prevedere l'uso di materiali sigillanti testati secondo la norma EN 12114;
- impiegare ferramenta in grado di registrare l'anta nelle tre dimensioni spaziali, così da ottimizzarne la posa;
- impiegare sistemi di fissaggio dimensionati sulla base del peso dell'anta in modo da limitare i cedimenti strutturali nel tempo e garantire quindi il mantenimento della tenuta all'aria.

Come nastri autoespandenti e sigillanti ci sono diversi prodotti di diversi spessori. E' sempre meglio limitare lo spessore allo stretto indispensabile per non avere delle perdite di tenuta all'aria a distanza di tempo. Il nastro va posato avendo cura di:

- determinare accuratamente la larghezza della fuga;
- levigare le due facce opposte della fuga per garantire una maggiore aderenza;
- scegliere la guarnizione più adatta rapportando lo spessore nominale della stessa all'ampiezza della fuga da rendere ermetica;
- controllare scrupolosamente che la guarnizione aderisca in tutti i suoi punti per garantire una tenuta ermetica durevole.



Immagine 13: Esempio di nastro adesivo autoespandente.

6 CONTROLLO DEL TEMPO DI RIVERBERO

Il tempo di riverbero deve essere dunque verificato e progettato negli ambienti destinati alle attività scolastiche. In particolare esso deve essere verificato sia nelle aule, sia negli ambienti nei quali si prevede la presenza di attività didattica con un insegnante la cui parola deve risultare comprensibile agli alunni. I valori minimi da rispettare varieranno in funzione del volume dell'ambiente e delle frequenze considerate.

L'analisi condotta secondo la norma UNI 12354-6 risulta attendibile solo a certe condizioni. In particolare i valori calcolati risultano attendibili solo al di sopra della frequenza di Schroeder. I modi propri di vibrare degli ambienti parallelepipedi possono generare onde stazionarie e, di conseguenza, produrre fenomeni acustici che peggiorano l'intelligibilità.

6.1 Aula 1

Di seguito si riportano i grafici relativi a diverse configurazioni dell'ambiente, ovvero:

1. alla configurazione priva di correzioni acustiche;
2. ad una prima soluzione progettuale che prevede la parziale copertura del controsoffitto con un pannello forato e fresato tipo Fantoni 4Akustik 13/3 e retrostante materassino in fibra di poliestere da 4 cm;
3. una seconda soluzione progettuale che prevede una maggiore quantità del medesimo materiale, fino a scendere al di sotto della curva dei valori massimi, definita dalla circolare ministeriale.

Ovviamente si riporta nel medesimo grafico anche la curva dei valori massimi di tempo di riverbero, calcolata sulla base del volume dell'aula.

I coefficienti di assorbimento acustico utilizzati sono quelli definiti dalle norme UNI. Si evidenzia che alle superfici in cartongesso tali coefficienti attribuiscono una certa capacità di fonoassorbimento a bassa frequenza, motivo per cui i valori calcolati sono relativamente contenuti nelle frequenze da 125 Hz a 2000 Hz.

La verifica dimostra in sostanza la necessità di inserire una superficie di 4Akustik pari ad almeno 54 mq.

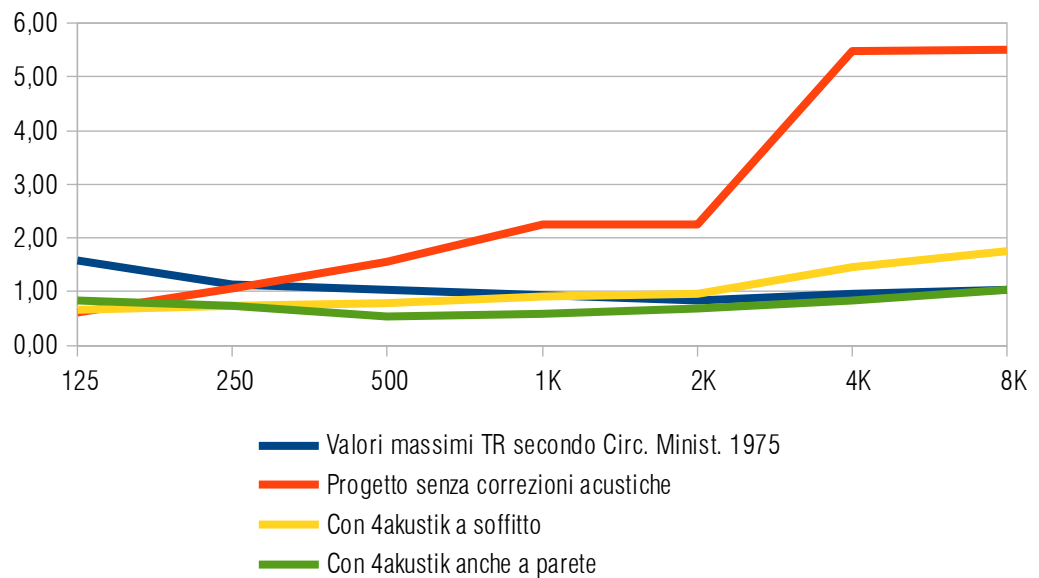


Immagine 14: Valori di TR calcolati per l'aula 1.

6.2 Aula 2

In analogia con quanto già descritto per l'aula 1 si riporta di seguito il medesimo grafico. Considerando di impiegare sempre lo stesso materiale, i mq di superficie fonoassorbente necessari sono risultati 33.

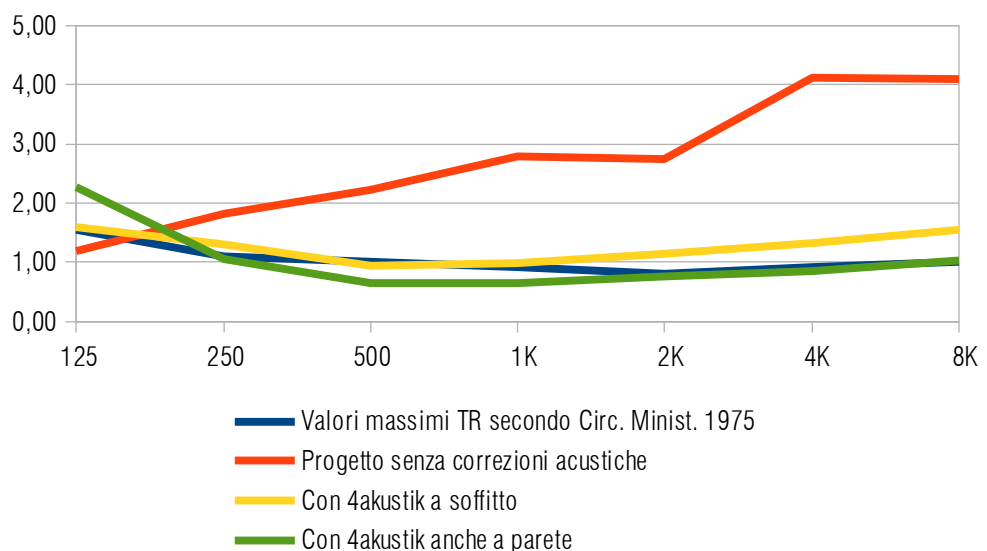


Immagine 15: Valori di TR calcolati per l'aula 2.

6.3 Aula 3

I mq di superficie fonoassorbente necessari sono risultati 41.

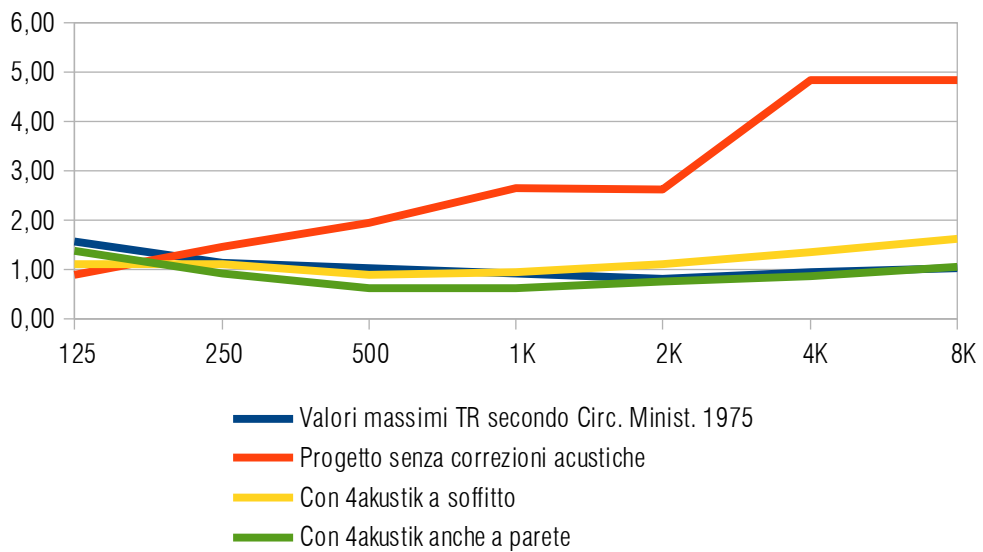


Immagine 16: Valori di TR calcolati per l'aula 3.

6.4 Aula 4

I mq di superficie fonoassorbente necessari sono risultati 32.

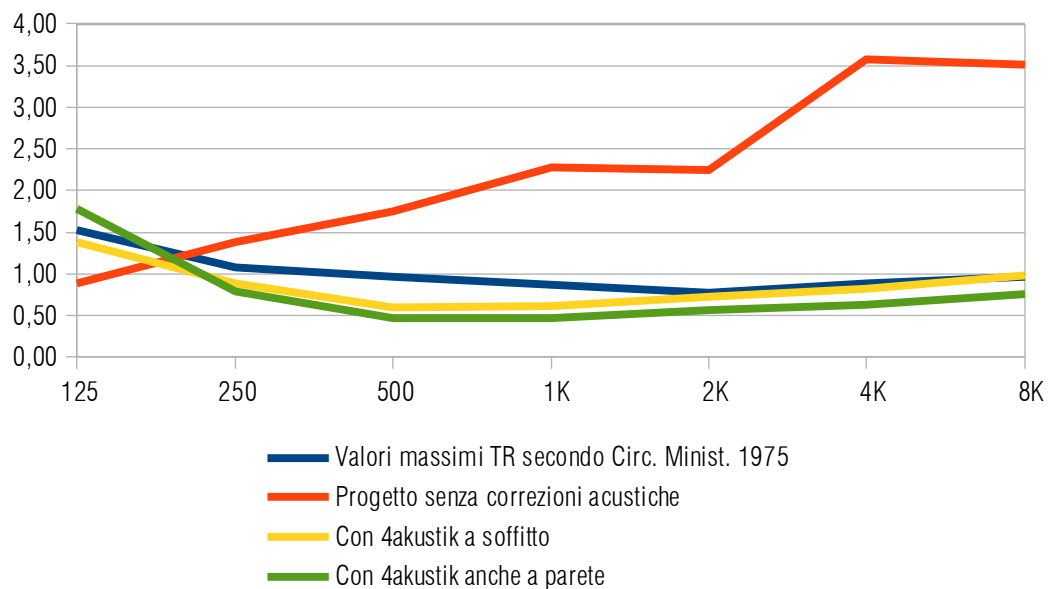
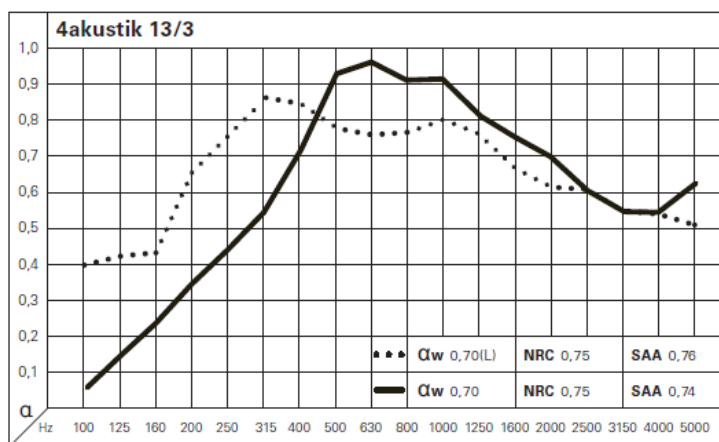


Immagine 17: Valori di TR calcolati per l'aula 4.

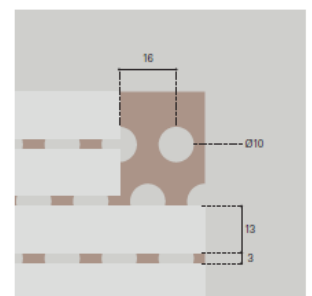
6.5 Specifiche relative al materiale fonoassorbente

Il materiale che verrà deputato al controllo del riverbero dovrà:

- essere caratterizzato dalla presenza di fresature parallele con passo 13 mm e larghezza 3 mm (ovvero essere della tipologia 13/3);
- essere collocato su struttura che ne preservi l'integrità e la continuità: a questo proposito si dovranno usare apposite "clips" in grado di permettere sia il fissaggio, sia lo scorrimento, così da assorbire eventuali dilatazioni dovute a variazione di umidità o temperatura;
- essere posato secondo le seguenti modalità:
 - per l'installazione a parete con un'intercapedine di 20 mm e materassino in fibra di poliestere da 20 mm a densità pari a 50 Kg/mc;
 - per l'installazione a soffitto con un intercapedine da 200 mm e materassino in fibra di poliestere da 30 mm a densità pari a 50 Kg/mc;
- presentare i seguenti valori minimi di assorbimento acustico in funzione della frequenza:



Hz	—	●●●
100	0,06	0,40
125	0,15	0,42
160	0,24	0,43
200	0,36	0,67
250	0,45	0,77
315	0,56	0,89
400	0,73	0,87
500	0,94	0,80
630	0,99	0,78
800	0,93	0,79
1000	0,94	0,81
1250	0,82	0,78
1600	0,77	0,68
2000	0,70	0,62
2500	0,62	0,61
3150	0,61	0,57
4000	0,57	0,56
5000	0,61	0,51



4086x128x16 mm
600x600x16 mm
1200x600x16 mm

24x24 inches
48x24 inches

●●● Soffitto / Ceiling / Deckenmontage / Plafond / Techo
 — Parete / Wall / Wandmontage / Mur / Pared

Immagine 18: Coefficienti di assorbimento del pannello con fresatura 13/3.



Immagine 19: Sistema di fissaggio dei pannelli (NB nell'immagine non è presente la fibra di poliestere che invece dovrà essere inserita dietro al pannello, sia esso collocato a parete o a soffitto).

I grafici forniti dal produttore evidenziano un diverso comportamento del pannello a seconda che esso sia installato a parete o a soffitto. In particolare si osserva che l'installazione a parete ottimizza l'assorbimento delle frequenze centrali, che sono proprio quelle della voce umana.

6.6 Osservazioni

Le formule utilizzate per il calcolo del tempo di riverbero sono come detto desunte dalle norme UNI. Esse, tuttavia, hanno dei limiti di validità legati all'ipotesi di campo uniformemente diffuso, ipotesi che può ritenersi valida solamente al di sopra della frequenza di Schroeder.

Nel nostro caso, date le dimensioni dell'ambiente e i valori di riverbero calcolati, la frequenza di Schroeder si attesta tra i 100 e i 200 Hz.

Questo significa che i valori calcolati per la frequenza 125 Hz non sono attendibili. A questa frequenza è assolutamente necessario considerare anche i fenomeni ondulatori, ovvero le eventuali onde stazionarie legate alla presenza di modi propri di vibrare dell'ambiente.

Questo avviene tipicamente in presenza di ambienti parallelepipedi, caratterizzati dalla presenza di

superfici parallele riflettenti, che è proprio il caso in esame. Volendo quindi analizzare i modi propri, ad esempio dell'aula 1, si può utilizzare il software Room Equalizer Wizard 5.1. Inserendo nel simulatore le dimensioni dell'ambiente si ottiene la seguente distribuzione di modi propri:

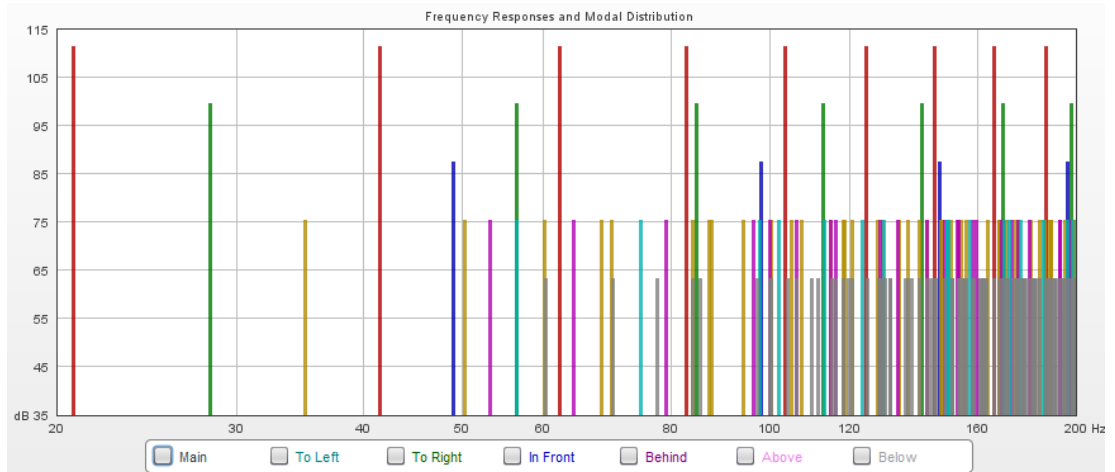


Immagine 20: Distribuzione dei modi propri dell'aula 1.

In presenza di una sorgente i modi propri genereranno una distorsione del segnale che dipenderà ovviamente dalla posizione considerata per il ricevitore.

Se si escludono i primi modi propri (perché non rilevanti per la voce umana) si osserva in ogni caso una evidente distorsione alle frequenze comprese tra 40 e 100 Hz: un suono con distribuzione uniforme dell'energia in funzione della frequenza verrà così distorto:

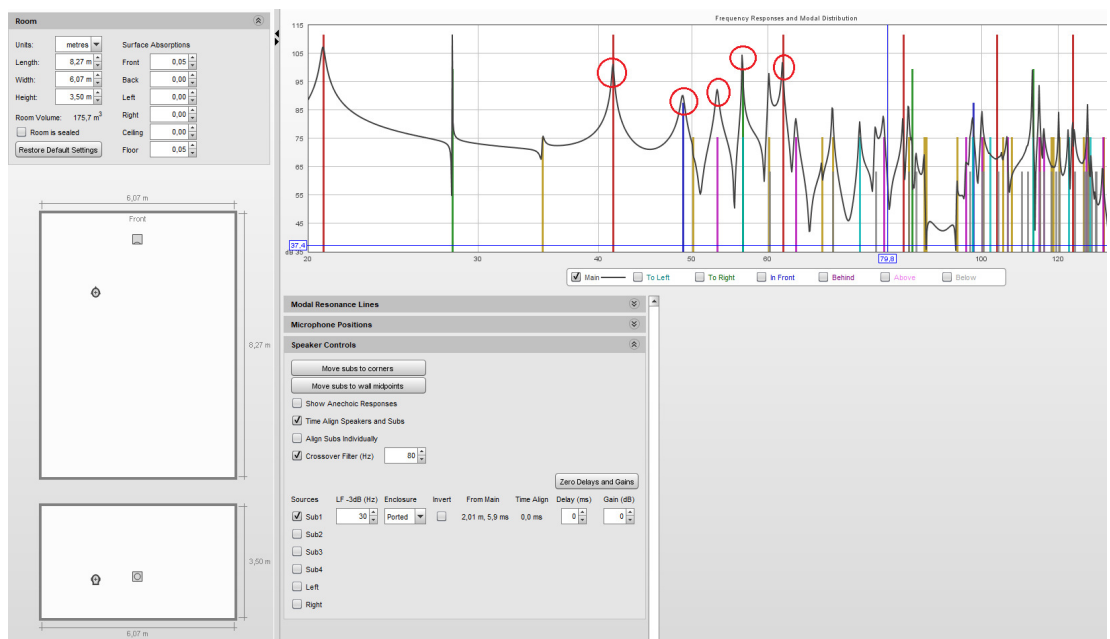


Immagine 21: Distorsione dell'onda dovuta ai modi propri.

Se si inserisce materiale fonoassorbente solo a soffitto, la situazione migliora parzialmente:

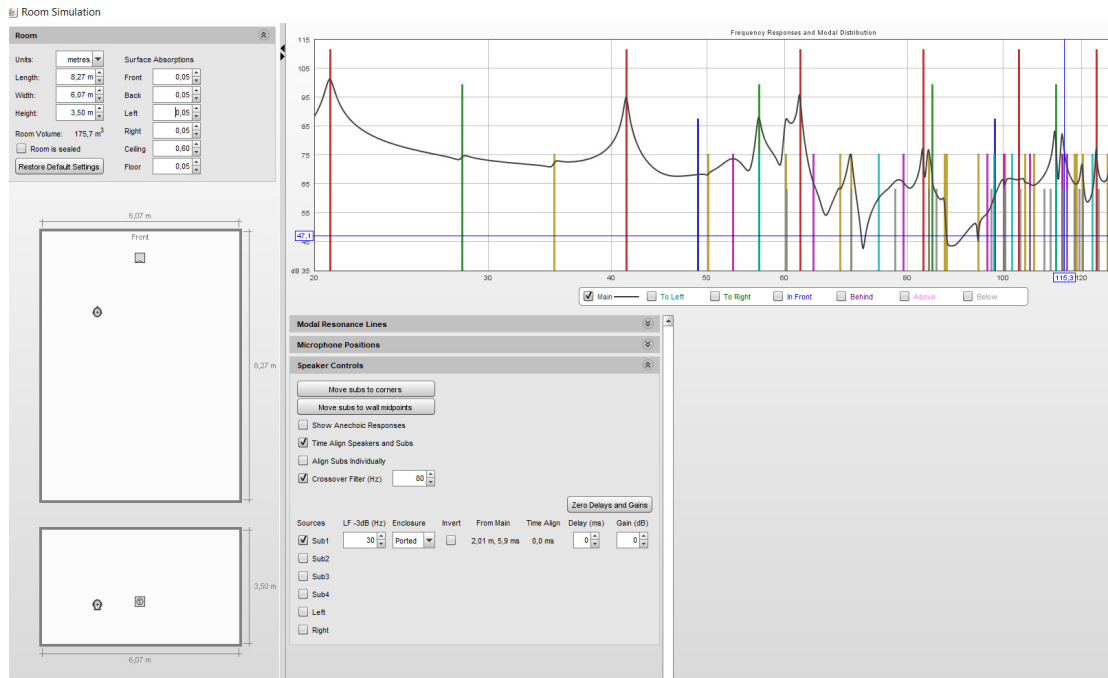


Immagine 22: Distorsione parzialmente corretta per trattamento del soffitto.

Si vede che una parte dei picchi sono stati “smussati”. Restano tuttavia alcune distorsioni importanti: sono quelle dovute alle onde stazionarie generate dalle riflessioni delle pareti.

Se si interviene con un materiale fonoassorbente a parete, la situazione migliorerà ulteriormente.

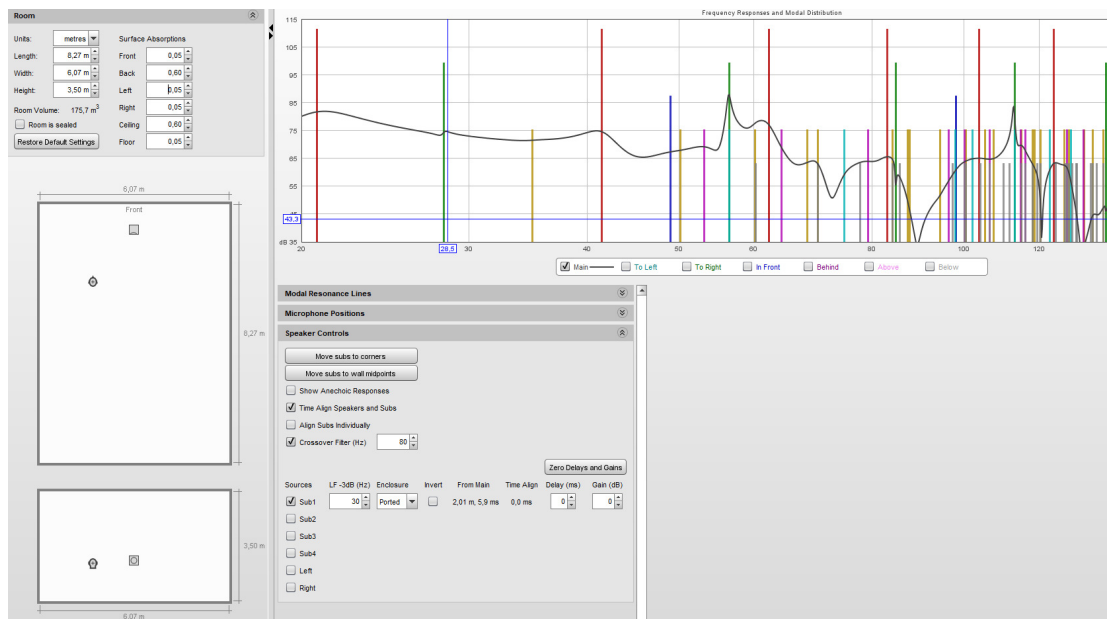


Immagine 23: Distorsione ulteriormente corretta per trattamento di soffitto e 1 parete.



Si capisce quindi l'importanza di non limitarsi ad effettuare un trattamento a soffitto e di effettuare anche trattamenti, seppur parziali a parete.

Da questo punto di vista, come si è già detto, la parete che può fornire il maggior vantaggio è certamente quella di fondo, così come suggerito dalla norma UNI 11532.

Un'ultima osservazione riguarda gli ambienti nei quali le due dimensioni in pianta sono uguali o molto simili tra loro. In questo caso i modi propri di vibrare degli assi longitudinale e trasversale coincidono, il che equivale ad una esaltazione ulteriore delle distorsioni. In queste situazioni è ancor più urgente la necessità di un intervento a parete. E' il caso di alcune delle aule del presente progetto.

7 CONTROLLO DEL RUMORE IMPIANTISTICO

7.1 Impianti a funzionamento discontinuo

Come impianti a funzionamento discontinuo si segnalano solamente i servizi igienici di nuova realizzazione, posti in prossimità della biblioteca, al piano terra.

In queste condizioni il rumore prodotto dallo scarico sarà trascurabile poiché le tubazioni saranno direttamente collegate a terra.

Resta solo da verificare la trasmissione del rumore prodotto dallo scarico della cassetta di accumulo dei WC alla biblioteca. Da questo punto di vista la scelta progettuale prevede che le cassette di accumulo non siano collocate sul divisorio verso la biblioteca.

Basterà dunque mantenere ferma questa scelta progettuale e non collocare impianti sul divisorio verso la biblioteca per veder rispettato il limite di legge.

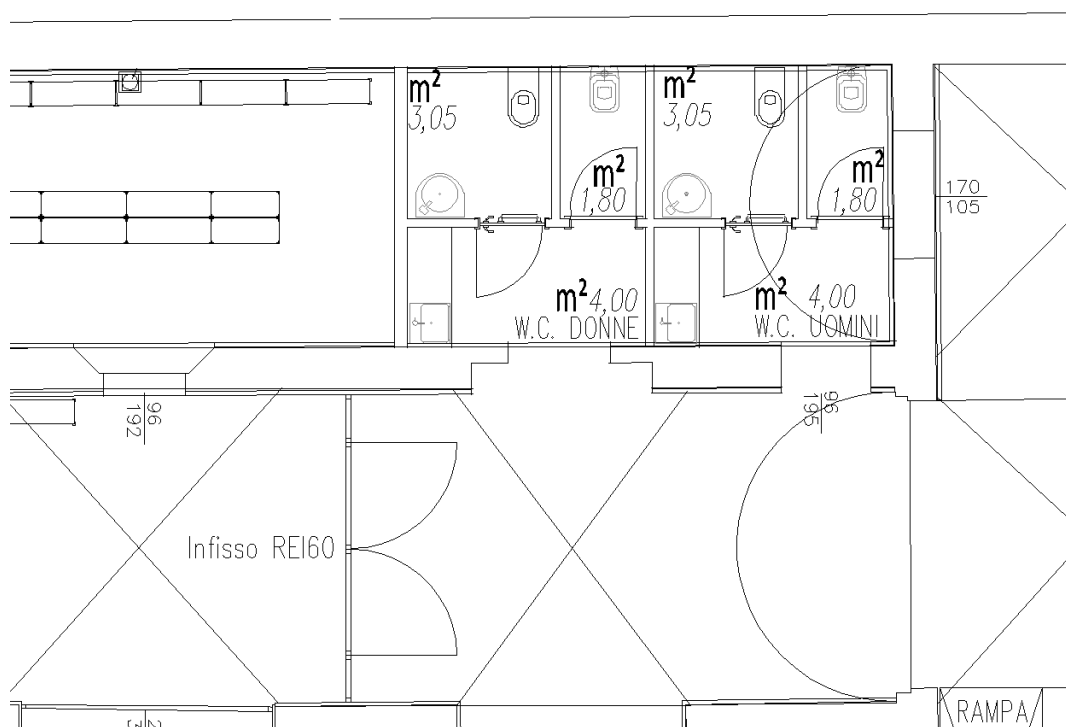


Immagine 24: Impianti a funzionamento discontinuo.

7.2 Impianti a funzionamento continuo per la ventilazione delle aule 3 e 7

Per integrare la ventilazione naturale con una ventilazione meccanica controllata, nelle aule 3 e 7 è previsto l'inserimento in ambiente di un macchinario che preleva e tratta l'aria esterna, immettendola nell'aula.

In queste condizioni non si applica il DPCM 5.12.97. Tuttavia, volendo prendere a riferimento i valori ottimali suggeriti dalle norme UNI, si dirà che la rumorosità dovrà essere certamente inferiore a 38 dBA e preferibilmente inferiore a 34 dBA.

Fatte queste premesse, si osserva quindi che il progetto impiantistico prevede l'installazione del seguente macchinario: Whisperair 2-40. Le caratteristiche tecniche desunte dalle schede fornite dal produttore sono riportate nelle seguenti immagini. Pur considerando anche un incremento di rumorosità dovuto all'invecchiamento del dispositivo e al riverbero interno all'aula, se ne deduce un rispetto dei valori di rumorosità suggeriti dalla norma UNI.



DESCRIZIONE

Whisper Air è il nome attribuito ad una serie di unità di ventilazione con recupero di calore, progettata per applicazioni nelle aule scolastiche, negli uffici, nei locali pubblici.

Whisper Air non richiede canali; infatti si installa direttamente a cavallo di una parete esterna.

- 3 portate d'aria: 400, 700 e 1000 m³/h.
- Scambiatore controcorrente in alluminio con efficienza di recupero del calore fino al 90%.
- Livello di pressione sonora molto basso (35 dB (A) a portata nominale).

Immagine 25: Caratteristiche generali della macchina.



CARATTERISTICHE PRINCIPALI	
GRANDEZZA	HRWA2-040
Portata massima (boost)	625 m ³ /h
Portata nominale	415 m ³ /h
Efficienza di recupero*	fino a 90%
Alimentazione***	230V
Consumo massimo	340 Watt
Assorbimento massimo	2,7 A
Post risc. ad acqua****	4,6 KW
Rumorosità**	25,8 dB(A)
Filtro aria estratta	G4
Filtro aria esterna	F7
Opzioni filtro	M5, F8
Diametro attacchi aria	250 mm
Classe SEC	A
Peso	93 Kg

Immagine 26: Caratteristiche particolari del modello previsto.

8 ISOLAMENTO DEI RUMORI AEREI

8.1 Isolamento acustico tra aule affiancate

L'isolamento ai rumori aerei tra aule affiancate può essere calcolato sulla base dei materiali presenti a progetto e allo stato di fatto.

In generale si tratterà di divisori massivi rigidamente collegati alle strutture di fiancheggiamento. Le murature potranno essere da 2 o tre teste e saranno consolidate con un betoncino armato da 5 cm di spessore in ambo i lati. La condizione più sfavorevole è dunque quella del divisorio con muratura a 2 teste, di seguito individuata.

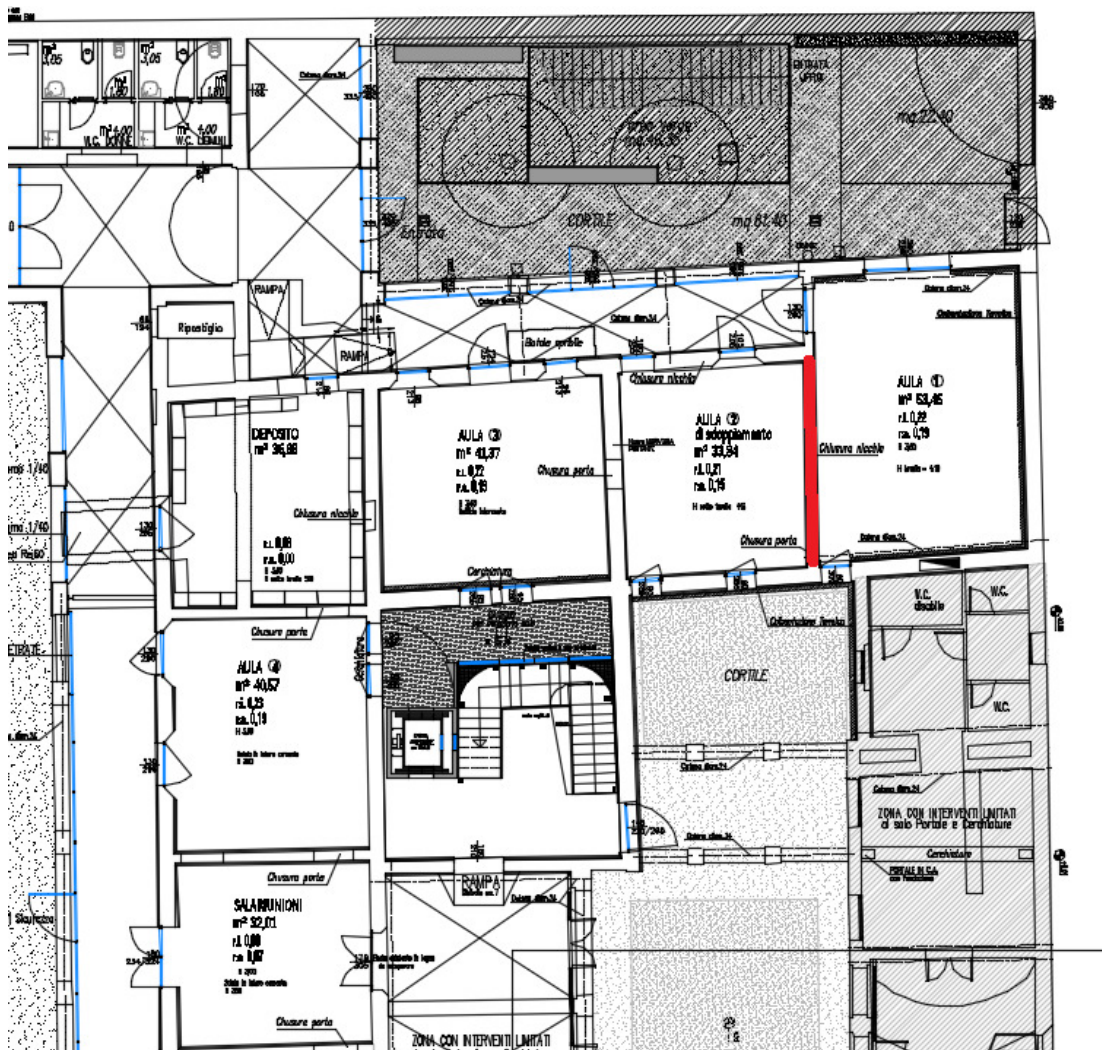


Immagine 27: Individuazione della muratura divisoria tra aule dotata di spessore inferiore.

Per questa muratura si calcola la seguente massa specifica e, sulla base della legge di massa, il seguente potere fonoisolante R_w :

<i>spessore</i>	0,30 m	
<i>peso specifico</i>	1600 Kg/mc	
Dimensioni dei blocchi		
<i>lunghezza</i>	0,25 m	
<i>spessore</i>	0,3 m	
<i>altezza</i>	0,055 m	
<i>spessore malta tra blocchi</i>	0,01 m	
<i>n° blocchi /mq</i>	59,2	
<i>Volume malta / mq</i>	0,056 mc	
<i>Peso malta / mq</i>	100,7 kg	
<i>spessore intonaco</i>	0,05 m	
<i>numero intonaco</i>	2	
<i>peso specifico intonaco</i>	2200 Kg/mc	
<i>peso intonaco</i>	220 kg/mq	
massa specifica parete	800,7 Kg/mq	
R_w	52,7 dB	FORMULA ITALIA: $16.9 * \text{LOG}_{10}(B7) + 3.6$
R_w	52,7 dB	FORMULA UNIVERSITA' DI PARMA: $15.4 * \text{LOG}_{10}(B7) + 8$
R_w	53,5 dB	FORMULA ITALIA: $16 * \text{LOG}_{10}(B7) + 7$

Come si vede il risultato dipende dalla formula previsionale adottata, ma varia di poco, da 52,7 a 53,5 dB. A questo valore devono poi essere sottratte le perdite per trasmissione laterale, che possono essere.

Per calcolare l'entità della perdita per trasmissione laterale si può utilizzare anche un metodo grafico desunto dalla norma UNI, come di seguito riportato.

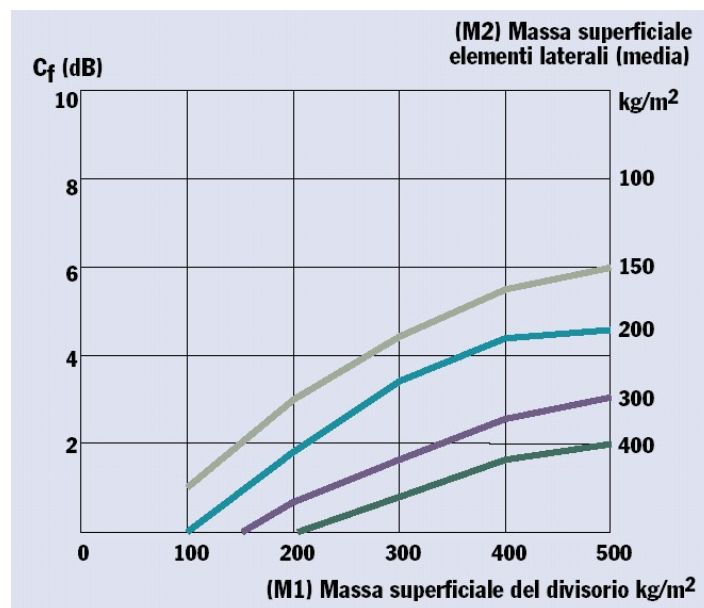


Immagine 28: Calcolo del contributo di fiancheggiamento.

Poiché la massa delle pareti connesse al divisorio è analoga a quella del divisorio (certamente superiore a 500 Kg/mc), se ne deduce che le perdite per trasmissione laterale possono essere fissate in circa 2 dB.

Non si prevedono perdite dovute alla presenza di impianti poiché le pareti saranno prive di tagliole a causa delle esigenze legate al consolidamento strutturale.

In definitiva, quindi si stima un $R'w$ pari a circa 50 dB.

Ora resta da verificare il valore di D , cioè dell'isolamento acustico in opera, diverso da $R'w$. Per un indice di fonoisolamento in opera dato R' , il fonoisolamento DnT aumenta con l'aumento del volume V del locale ricevente e diminuisce con l'aumento della superficie S dell'elemento costruttivo divisorio. Come la norma svizzera SIA 181 ha cercato di sintetizzare, l'indice Rw e l'indice $D_{nT,w}$ sono tra loro legati da una relazione di questo tipo:

$$D_{nT,w} \sim R'w + \Delta L_{LS} \text{ (dB)}$$

Il valore di ΔL_{LS} può essere desunto in forma grafica in funzione del volume del locale V (mc) e delle superfici divisorie S (mq). Si riporta di seguito il grafico che permette questa definizione.

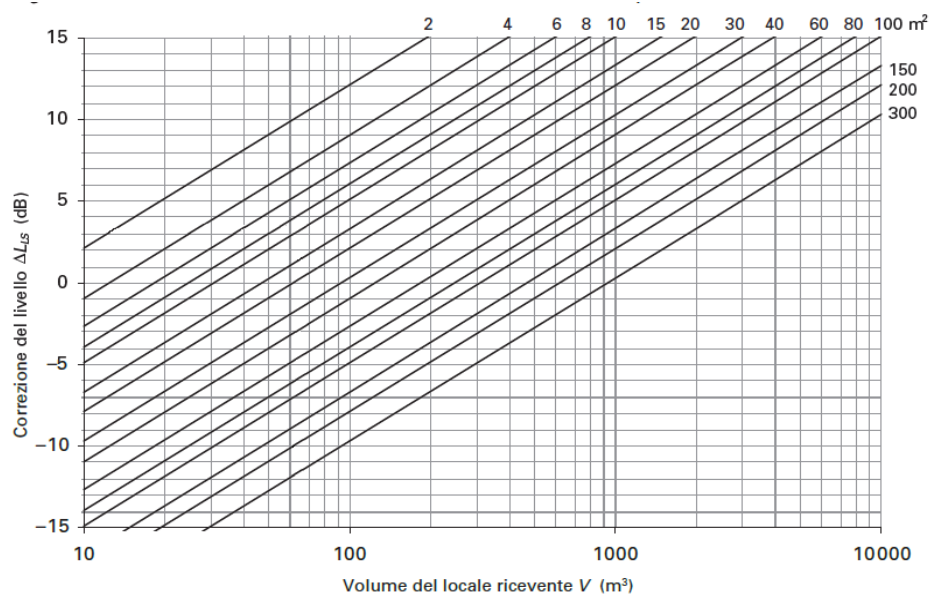


Immagine 29: Fattore di conversione R-D (rif. Norma SIA 181-2018).



Considerando i seguenti valori:

$$S = 22 \text{ mq};$$

$$V = 118 \text{ mc.}$$

Si ottiene graficamente:

$$\Delta L_{LS} = 2 \text{ dB} \quad \longrightarrow \quad D_{nT,w} = 50 + 2 = 52 \text{ (dB)}$$

E' evidente quindi il superamento del valore minimo di 40 dB stabilito dalla circolare ministeriale.

Questo è ancor più vero per il divisorio di spessore maggiore.

8.2 Isolamento acustico tra aule sovrapposte

Analogamente, volendo definire l'isolamento acustico tra le aule sovrapposte, si calcola prima il valore di $R'w$ come segue (il calcolo viene fatto considerando la stratigrafia più leggera, cioè quella con solaio ligneo):

	sp. [cm]	densità	
Solaio ligneo	0		100 Kg/mq
Calcestruzzo	5	2400	120 Kg/mq
Isocal	10	500	50 Kg/mq
isolante termico		35	0 Kg/mq
Massetto	5	1600	80 Kg/mq
Pavimento e colla	1,5	1500	22,5 Kg/mq
Somma			372,5 Kg/mq

$$Rw = 51,1 \text{ dB}$$

$$\text{massa galleggiante} = 102,5 \text{ Kg/mq}$$

$$\text{massa solaio nudo} = 270 \text{ Kg/mq}$$

Incremento di $R'w$ dovuto all'inserimento del pavimento galleggiante

Masse in gioco

$$270 \text{ Kg/mq} \quad \text{Massa solaio nudo}$$

$$102,5 \text{ Kg/mq} \quad \text{Massa galleggiante}$$

Rigidità dinamica s' anticalpestio

$$20 \text{ MN/mc}$$

frequenza di taglio f_0	83,0	Hz
Rw solaio nudo	51,1	dB
Delta Rw'	9,0	dB
Rw' complessivo	60,2	dB



Eventuali perdite di isolamento acustico saranno abbondantemente compensate dalla presenza di un controsoffitto in cartongesso, ancorché non provvisto di materassino in lana di roccia.

Il margine nei confronti del valore D è molto ampio. In ogni caso, sempre impiegando il metodo grafico, considerando i seguenti valori:

$$S = 33 \text{ mq};$$

$$V = 118 \text{ mc.}$$

Si ottiene:

$$\Delta L_{LS} = -2 \text{ dB} \quad \longrightarrow \quad D_{nT,w} = 60 - 2 = 58 \text{ (dB)}$$

9 ISOLAMENTO DEI RUMORI DA CALPESTIO

L'isolamento ai rumori da calpestio potrà riguardare sia i locali adiacenti posti al piano terra, sia i locali sovrapposti, cioè il rumore prodotto al primo piano e ricevuto al piano terra (locale sottostante o locale posto in diagonale).

9.1 Isolamento al calpestio piano terra

Innanzitutto si tratta di un tipo di trasmissione per il quale non è definita una precisa formula di calcolo previsionale. A questo si aggiunga che i locali sono in parte realizzati contro terra e in parte collocati al di sopra di un locale interrato, con solaio di separazione in muratura voltata.

I pacchetti previsti dal progetto per l'isolamento contro terra sono i seguenti:

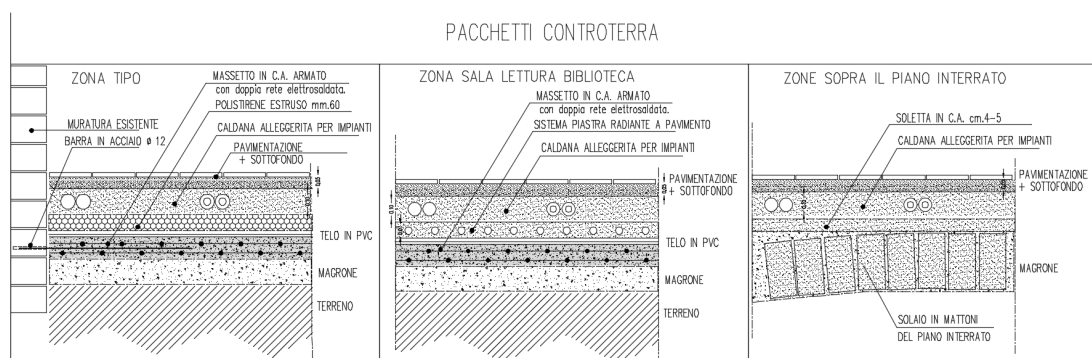


Immagine 30: Pacchetti controterra.

Si evidenzia quindi la presenza in due casi su tre di un isolante termico (primi due particolari). In questa condizione sarà sufficiente aggiungere una bandella perimetrale con la funzione di separare meccanicamente il getto (massetto o alleggerito che sia) così da impedire la trasmissione strutturale del rumore dal pavimento alle murature vicine.

Per quanto riguarda invece il pacchetto posto al di sopra del piano interrato, laddove non è previsto alcun isolamento termico, sarà invece necessario inserire uno strato di materiale resiliente (materassino anticalpestio) completo di guaina perimetrale, esattamente con le stesse modalità che verranno descritte ai paragrafi successivi per i solai di interpiano. Ne deriva quindi che i pacchetti sopra descritti assumeranno la seguente conformazione, finalizzata all'isolamento dei rumori da calpestio. In rosso è evidenziata la bandella perimetrale (in polietilene a celle chiuse) che sarà necessaria in tutte e tre le tipologie di solaio o il materassino anticalpestio (con rigidità dinamica pari o inferiore a 100 MN/mc), che deve essere inserito nel caso di solaio sopra interrato.

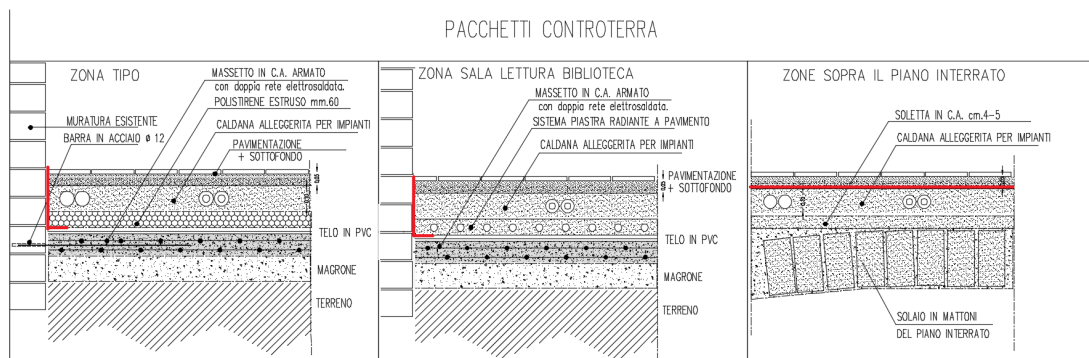


Immagine 31 : Pacchetti controterra: inserimento ovunque di bandelle perimetrali e di anticalpestio aggiuntivo nel solaio posto sopra al piano interrato.

9.2 Isolamento acustico tra aule sovrapposte

Il solaio di interpiano non è uniforme. Sono presenti sostanzialmente due tipologie di solaio: una in latero-cemento e una in legno. Entrambe verranno consolidate con una soletta collaborante in c.c.a. di almeno 5 cm all'estradosso. Si aggiungeranno poi il massetto di integrazione impiantistica (tipo isocal), il sottofondo e il pavimento.

In queste condizioni il calcolo del rumore da calpestio può essere il seguente.

Per il caso in esame, si può considerare la seguente stratigrafia:

	sp. [cm]	densità	
Intonaco	1,5	2000	30 Kg/mq
Pignatte	20	600	120 Kg/mq
Calcestruzzo	5	2400	120 Kg/mq
Isocal	10	500	50 Kg/mq
isolante termico		35	0 Kg/mq
Massetto	5	1600	80 Kg/mq
Pavimento e colla	1,5	1500	22,5 Kg/mq
Sommario			422,5 Kg/mq

A questo punto, ipotizzando un materassino anticalpestio con rigidità dinamica pari a 50 MN/mc, è possibile calcolare il seguente livello di rumore da calpestio considerando di avere un pavimento in ceramica:

Totale massa galleggiante	102,5 Kg/mq
Rigidità dinamica	50 MN/mc
Massa solaio nudo	320 Kg/mq

<i>Frequenza di taglio</i>	111,7 dB
<i>L_{nw} del solaio nudo</i>	79,8 dB
Delta L _n	22,7 dB

L_{nw} totale con pavimento in ceramica	57 dB
--	--------------



Dove le formule utilizzate sono: $L_n = 164 - 35 \log_{10}(m')$

$\Delta L_n = 15 \log_{10}(s'/D) + 18$ (con s' = rigidità dinamica e D = Densità del massetto)

Si vede allora che il valore di rumore al calpestio dipenderà in realtà anche dalla rigidità dinamica del materassino resiliente impiegato. Il rapporto tra rigidità dinamica e valore atteso di livello al calpestio può essere sintetizzato dalla seguente tabella:

Rigidità dinamica [MN/mc]	10	20	30	40
Frequenza di taglio [Hz]	50	71	87	100
Delta Lnw [dB]	33	29	26	24
Lwn finale [dB]	47	51	54	56

Si devono a questo punto considerare le perdite di isolamento dovute ad inevitabili errori di posa e ad alcuni ponti acustici (circa 5-6 dB in totale). Essi saranno certamente compensati dalla realizzazione di un controsoffitto in cartongesso che avrà anche la funzione di compartimentazione antincendio.

Ne deriva quindi che in corrispondenza del solaio in laterocemento:

- sarà certamente necessario inserire un materassino anticalpestio;
- il materassino dovrà avere una rigidità dinamica non superiore a 40 MN/mc.

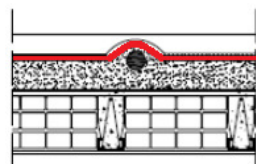
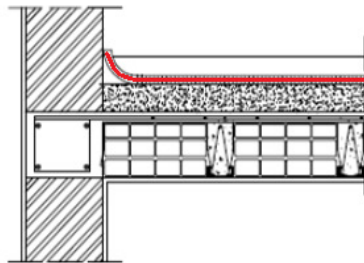
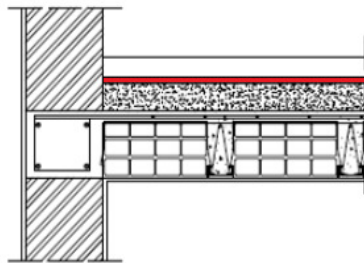
In corrispondenza del solaio ligneo, invece, la stima va rivista al ribasso a causa di una minore massa del solaio grezzo. Rifacendo i calcoli sopra descritti e considerando una massa del solaio nudo pari a circa 100 Kg/mc, si prevede quindi un innalzamento del rumore da calpestio di circa 4 dB.

Questa condizione rende più importante la scelta del materassino: al fine del rispetto dei limiti del DPCM sarà necessario impiegare materassini con rigidità dinamica inferiore a 20 MN/mc. Per uniformità di materiali e come scelta progettuale migliorativa si suggerisce quindi di utilizzare ovunque un materassino con tale rigidità dinamica.

10 INDICAZIONI DI CARATTERE ESECUTIVO RELATIVE AL CALPESTIO

La norma di riferimento per la corretta posa è la UNI 11516/2013 alla quale si rimanda integralmente. In via esemplificativa, ma non esaustiva, di seguito vengono riportate alcune immagini relative alla posa corretta o scorretta dell'isolante ai rumori da calpestio da posare sopra l'isolac e sotto al massetto. I suggerimenti relativi alle bandelle perimetrali sono da rispettare anche nel caso di solaio contro terra.

SCORRETTO



CORRETTO

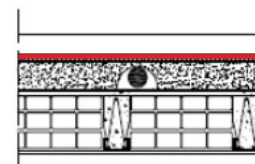
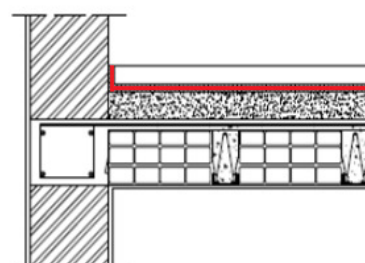
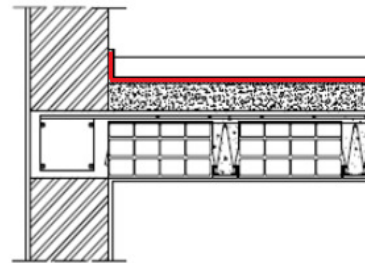


Immagine 32: Criteri di posa corretti o scorretti.

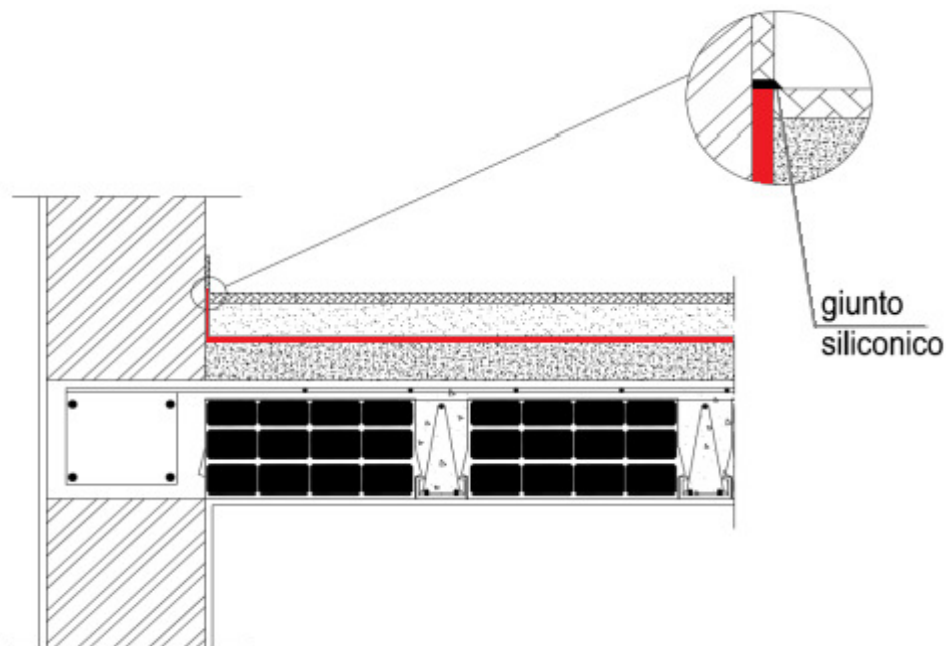


Immagine 33: dettaglio nodo pavimento-muratura perimetrale.

Per l'isolamento dei rumori da calpestio, è importante la scelta dei materiali da interporre nei vari strati del pacchetto "solaio". Per la realizzazione dei cosiddetti "pavimenti galleggianti" occorre utilizzare guaine elastiche che "raccolgano a catino" gli elementi edili tipici delle partizioni orizzontali possibili trasmettitori di energia impattiva. Vista l'importanza di una corretta posa in opera del pavimento galleggiante al fine di rispettare i limiti sul rumore da calpestio, si riportano le seguenti indicazioni operative:

1. La **posa dell'alleggerito** (isocal o similare):

- dovrà essere effettuata in modo da minimizzare le asperità della superficie estradossale la quale si dovrà presentare il più uniforme e complanare possibile;
- deve essere verificata l'uniformità di distribuzione del materiale di alleggerimento per evitare che si formino crepe, spaccature o cedimenti localizzati del rivestimento di pavimentazione che possano alterare le prestazioni di isolamento ai rumori da calpestio.

2. La **posa del materassino anticalpestio** dovrà essere effettuata secondo le seguenti modalità:

- prima della posa pulire la superficie di alleggerito eliminando tutti i detriti rimasti;
- prima del materassino andranno posati tutti i tramezzi e le pareti o contropareti in cartongesso o in laterizio;



- non dovranno essere posati fogli difettosi (intendendo per difettosi fogli che presentano buchi, anomalie nell'uniformità dello spessore, strappi, ecc.);
- il materassino, unitamente alle fasce perimetrali, raccoglierà a catino il sottofondo di ciascun ambiente;
- si consiglia inoltre di separare sempre con materiale resiliente il massetto dei bagni (dove per la presenza di diversi condotti impiantistici è più facile la creazione accidentale di ponti acustici) dal massetto dei restanti vani dell'unità immobiliare,;
- il pannelli isolanti dovranno essere posati senza soluzione di continuità (tra foglio e foglio, tra foglio e fascia perimetrale),
- in presenza delle discontinuità i fogli e le fasce dovranno essere tra loro incollati o attaccati con nastro adesivo o schiumati con schiuma poliuretana;
- dovranno essere isolati anche gli scarichi a pavimento, da trattare alla stregua delle pareti perimetrali;
- il risvolto perimetrale dovrà arrivare al di sopra del livello del pavimento finito;
- per fissare il risvolto perimetrale alle murature non si dovranno utilizzare chiodi;
- in caso di utilizzo di materiale resiliente in rotoli, lo spessore minimo del massetto deve essere garantito anche in corrispondenza della sovrapposizione tra i due rotoli;
- nel caso di uso di materiali fibrosi, essi devono essere preventivamente ricoperti da uno strato di materiale separatore impermeabile, che dovrà essere posato in modo da evitare infiltrazioni del massetto durante il getto.

3. La **posa delle bande perimetrali** dovrà essere effettuata secondo le seguenti modalità:

- la banda di isolamento perimetrale deve aderire perfettamente alle pareti in corrispondenza degli angoli e degli spigoli, per evitare rotture della banda durante il getto.
- anche in corrispondenza delle sovrapposizioni tra banda e materiale resiliente deve essere verificato lo spessore minimo del massetto;
- banda e materassino vanno nastrati per evitare infiltrazioni del massetto al di sotto dello strato resiliente;
- è preferibile l'uso delle bande perimetrali rispetto al risvolto del materassino, per garantire una migliore aderenza alle pareti perimetrali e contenere lo spessore delle bande perimetrali.

4. La **posa del massetto** dovrà essere effettuata secondo le seguenti modalità:

- dovranno essere evitati nel modo più assoluto contatti anche minimi tra il sottofondo e le pareti laterali, pena la vanificazione di buona parte dell'isolamento prodotto dal pavimento galleggiante;
- lo spessore del sottofondo dovrà essere di almeno 4 cm effettivi;
- durante il getto del massetto bisogna prestare particolare cura a non forare, spaccare o spostare il materiale resiliente e le bande perimetrali;
- la realizzazione di eventuali giunti di contrazione non deve danneggiare lo strato resiliente e/o il materassino.

5. La **posa del pavimento** dovrà essere effettuata secondo le seguenti modalità:

- non dovrà essere tagliato il risvolto perimetrale prima di aver concluso la posa del pavimento, onde evitare che piccole quantità di colla possano infiltrarsi nel giunto perimetrale;
- in presenza di giunti del massetto (alla partenza delle scale o sotto la porta del bagno o tra pavimento e soglia nelle porte-finestre) il giunto dovrà essere rispettato anche a livello superficiale, cioè a pavimento: questo significherà che esso dovrà essere:
 - o siliconato;
 - o coperto da una righetta fissata solo su uno dei due lati del giunto;
 - o chiuso con un giunto dotato di sistema antivibrante, tipo i seguenti:



Immagine 34: Esempio di coprigiunto antivibrante.



6. La **posa del battiscopa** e dei rivestimenti di parete se presenti dovrà essere effettuata secondo le seguenti modalità:

- il risvolto perimetrale dovrà essere rifilato solamente dopo la posa del pavimento e prima della posa del battiscopa;
- in questo modo i pavimenti non saranno mai a contatto diretto con le pareti laterali;
- il battiscopa (specie se in ceramica) e i rivestimenti di parete dovranno essere posati in modo da limitare al minimo la trasmissione strutturale pavimento-muri perimetrali: per questo motivo il battiscopa e i rivestimenti non dovranno essere appoggiati al pavimento;
- la stuccatura orizzontale del nodo battiscopa in ceramica-pavimento e del nodo rivestimento-pavimento dovrà essere fatta con silicone oppure tralasciata;
- in corrispondenza delle soglie delle porte esterne dell'unità immobiliare e delle porte-finestre dovrà essere lasciato un giunto elastico a pavimento per evitare il collegamento rigido tra pavimento interno all'unità e soglia;
- per sigillare lo spazio tra battiscopa e pavimentazione le alternative sono:
 - sigillatura in silicone;
 - utilizzo di nastri separatori in materiale elastico da rifilare successivamente;

5. La **posa dei telai e dei controtelai delle porte** dovrà essere effettuata sempre evitando il contatto diretto con il pavimento.

Un'ultima osservazione riguarda la continuità del materassino resiliente in prossimità dei collettori: le fasce perimetrali dovranno proseguire all'interno del vano tecnico realizzato per il tratto di tubazione che unisce l'impianto a pavimento al collettore di zona, come illustrato dai disegni sotto riportati.

Nel caso in cui il massetto all'interno del collettore sia più alto del massetto interno all'ambiente, aver cura di incrementare all'interno del collettore l'altezza della banda perimetrale.

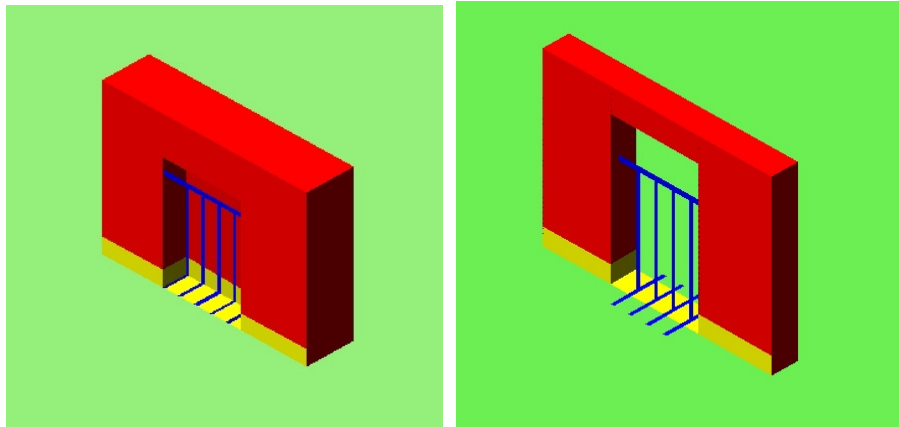


Immagine 35 e 36: particolari esecutivi relativi alla realizzazione della fascia perimetrale (in giallo) in prossimità del collettore; i tubi che dal collettore raggiungono l'impianto a pannelli radianti a pavimento passeranno al di sopra del materassino resiliente sia nel caso di collettore passante (normalmente realizzato sui tramezzi), sia nel caso di collettore incassato (realizzato su pareti di spessore pari o superiore a 25 cm).

Faenza, 31 maggio 2021

ING. ALESSANDRO PLACCI

ALLEGATI: CALCOLI ESECUTIVI DEL TEMPO DI RIVERBERO

Nome della sala	Aula 01
Edificio	Liceo Torricelli-Ballardini
Luogo	Faenza
Data del lavoro	08-06-21

Superfici di rivestimento

			Coefficients di assorbimento								
			Cod	125	250	500	1K	2K	4K	8K	VM
1	Soffitto	mq	50,20 97	0,38	0,20	0,12	0,07	0,07	0,00	0,00	0,14
2	Soffitto B	mq	0,00 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	Soffitto C	mq	0,00 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	pavimento A	mq	50,20 103	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
4a	pavimento B	mq	0,00 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	parete sx A	mq	13,81 97	0,38	0,20	0,12	0,07	0,07	0,00	0,00	0,14
6	parete sx B	mq	7,44 6	0,07	0,07	0,05	0,03	0,02	0,02	0,03	0,04
7	parete sx C	mq	0,00 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	parete dx A	mq	18,55 97	0,38	0,20	0,12	0,07	0,07	0,00	0,00	0,14
9	parete dx B	mq	2,70 6	0,07	0,07	0,05	0,03	0,02	0,02	0,03	0,04
10	parete dx C	mq	0,00 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	parete retro A	mq	28,95 97	0,38	0,20	0,12	0,07	0,07	0,00	0,00	0,14
12	parete retro B	mq	0,00 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12a	parete retro C	mq	0,00 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12b	parete retro D	mq	0,00 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	parete front. A	mq	25,57 1	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
14	parete front. B	mq	3,38 6	0,07	0,07	0,05	0,03	0,02	0,02	0,03	0,04
14a	parete front. C	mq	0,00 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	Altre superfici assorbenti	mq	0,00 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	tavoli	mq	10,08 41	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,03
17	sedie	mq	5,25 41	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,03
18	persone	num.	2 37	0,15	0,30	0,40	0,40	0,45	0,40	0,40	0,35
Unità assorbenti totali:				46,98	27,21	18,50	12,68	12,74	5,21	5,18	20,55
Coefficiente di ass. ac. medio				0,223	0,129	0,088	0,060	0,060	0,025	0,025	0,097
Coefficiente di rifles. ac. medio				53,150	29,134	19,365	13,080	13,138	5,274	5,249	21,626
TR Sabine				0,60	1,04	1,53	2,23	2,22	5,43	5,46	1,38
TR Eyring Norris corretta				0,53	0,97	1,46	2,16	2,15	5,36	5,39	1,31
TR Millington-Sette				0,50	0,97	1,48	2,19	2,16	5,31	5,39	1,32
TR secondo UNI 12354-6				0,61	1,05	1,54	2,25	2,24	5,49	5,51	1,39
TR RILEVATO				#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Scarti %				#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#VALORE!	#VALORE!	#VALORE!	#VALORE!
Totale superfici	mq	211									
Totale volume sala	mc	176									

Superfici da trattare

			Coefficients di assorbimento								
			Cod.	125	250	500	1K	2K	4K	8K	VM
19	Controsoffitto fonoassorbent	mq	29,50 97	0,38	0,20	0,12	0,07	0,07	0,00	0,00	0,14
			74	0,15	0,42	0,75	0,75	0,60	0,54	0,42	0,53

h trattamento 4,9
l trattamento laterale 13,3

Unità assorbenti totali finali:
Coefficiente di ass. ac. medio
Coefficiente di rifles. ac. medio
TR Sabine
TR Eyring Norris corretta
TR Millington-Sette
TR secondo UNI 12354-6

40,14	33,82	37,00	32,65	28,46	20,96	17,49	32,17
0,190	0,160	0,175	0,155	0,135	0,099	0,083	0,153
44,523	36,861	40,682	35,478	30,574	22,078	18,254	34,908
0,70	0,84	0,76	0,87	0,99	1,35	1,62	0,88
0,64	0,77	0,70	0,80	0,93	1,28	1,55	0,81
0,37	0,55	0,45	0,51	0,67	1,02	1,35	0,59
0,71	0,84	0,77	0,88	1,00	1,36	1,63	0,89

Totale superfici da tratt. mq 30

Codice TR ottimale per questa sala 6 Valori massimi TR secondo Circ. Minist. 1975

Superfici da trattare

con tende fonoassorbenti

31 Controsoffitto fonoassorbent mq

Cod. 54,00
97 cartongesso
74 Topakoustic 13/3 M +30 mm lana + 10 mm interc.

Coefficienti di assorbimento

	125	250	500	1K	2K	4K	8K	VM
	0,38	0,20	0,12	0,07	0,07	0,00	0,00	0,14
	0,15	0,42	0,75	0,75	0,60	0,54	0,42	0,53

Unità assorbenti totali finali:
Coefficiente di ass. ac. medio
Coefficiente di rifles. ac. medio
TR Sabine
TR Eyring Norris corretta
TR Millington-Sette
TR secondo UNI 12354-6

34,45	39,31	52,36	49,24	41,52	34,04	27,70	41,82
0,163	0,186	0,248	0,234	0,197	0,161	0,131	0,198
37,617	43,501	60,188	56,078	46,238	37,130	29,699	46,613
0,82	0,72	0,54	0,57	0,68	0,83	1,02	0,68
0,75	0,65	0,47	0,50	0,61	0,76	0,95	0,61
0,31	0,40	0,28	0,31	0,43	0,61	0,83	0,40
0,83	0,73	0,55	0,58	0,69	0,84	1,03	0,68

Nome della sala	Aula 02
Edificio	Liceo Torricelli-Ballardini
Luogo	Faenza
Data del lavoro	08-06-21

Superfici di rivestimento

		Cod	125	250	500	Coefficienti di assorbimento				VM	
			1K	2K	4K	8K					
1	Soffitto	mq 33,02 97	cartongesso	0,38	0,20	0,12	0,07	0,07	0,00	0,00	0,14
2	Soffitto B	mq 0,00 0	Descrizione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	Soffitto C	mq 0,00 0	Descrizione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	pavimento A	mq 33,02 103	Marmo o piastrelle vetrificate	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
4a	pavimento B	mq 0,00 0	Descrizione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	parete sx A	mq 21,25 1	intonaco normale sp=15mm	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
6	parete sx B	mq 0,00 0	Descrizione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	parete sx C	mq 0,00 0	Descrizione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	parete dx A	mq 21,25 1	intonaco normale sp=15mm	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
9	parete dx B	mq 0,00 0	Descrizione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	parete dx C	mq 0,00 0	Descrizione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	parete retro A	mq 14,94 1	intonaco normale sp=15mm	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
12	parete retro B	mq 4,10 6	lastra di vetro sp=6mm	0,07	0,07	0,05	0,03	0,02	0,02	0,03	0,04
12a	parete retro C	mq 0,00 0	Descrizione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12b	parete retro D	mq 0,00 0	Descrizione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	parete front. A	mq 13,91 1	intonaco normale sp=15mm	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
14	parete front. B	mq 5,13 6	lastra di vetro sp=6mm	0,07	0,07	0,05	0,03	0,02	0,02	0,03	0,04
14a	parete front. C	mq 0,00 0	Descrizione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	Altre superfici assorbenti	mq 0,00 0	Descrizione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	tavoli	mq 5,76 41	sedia nuda	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,03
17	sedie	mq 3,00 41	sedia nuda	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,03
18	persone	num. 2 37	persona seduta o in piedi	0,15	0,30	0,40	0,40	0,45	0,40	0,40	0,35
Unità assorbenti totali:				15,95	10,30	8,48	6,73	6,82	4,57	4,59	8,81
Coefficiente di ass. ac. medio				0,105	0,068	0,056	0,044	0,045	0,030	0,030	0,058
Coefficiente di rifles. ac. medio				16,844	10,667	8,722	6,882	6,982	4,636	4,663	9,072
TR Sabine				1,17	1,81	2,20	2,77	2,73	4,07	4,05	2,11
TR Eyring Norris corretta				1,10	1,74	2,13	2,70	2,67	4,01	3,99	2,05
TR Millington-Sette				0,98	1,67	2,09	2,65	2,59	3,88	3,85	2,01
TR secondo UNI 12354-6				1,18	1,82	2,22	2,79	2,75	4,12	4,09	2,13
TR RILEVATO				#DIV/O!	#DIV/O!	#DIV/O!	#DIV/O!	#DIV/O!	#DIV/O!	#DIV/O!	#DIV/O!
Scarti %				#DIV/O!	#DIV/O!	#DIV/O!	#DIV/O!	#VALORE!	#VALORE!	#VALORE!	#VALORE!
Totale superfici	mq	152									
Totale volume sala	mc	116									

Superfici da trattare

		Cod.	125	250	500	Coefficienti di assorbimento				VM	
			1K	2K	4K	8K					
19	Controsoffitto fonoassorbent	mq 18,00 97	cartongesso	0,38	0,20	0,12	0,07	0,07	0,00	0,00	0,14
		mq 74	Topakoustic 13/3 M +30 mm lana + 10 mm interc.	0,15	0,42	0,75	0,75	0,60	0,54	0,42	0,53

h trattamento 4,9
l trattamento laterale 13,3

Unità assorbenti totali finali:
Coefficiente di ass. ac. medio
Coefficiente di rifles. ac. medio
TR Sabine
TR Eyring Norris corretta
TR Millington-Sette
TR secondo UNI 12354-6

11,77	14,33	19,76	18,91	16,42	14,18	12,10	15,90
0,077	0,094	0,130	0,124	0,108	0,093	0,079	0,104
12,249	15,054	21,168	20,196	17,372	14,882	12,606	16,788
1,58	1,30	0,94	0,98	1,13	1,31	1,54	1,17
1,52	1,24	0,88	0,92	1,07	1,25	1,48	1,11
0,61	0,75	0,52	0,57	0,75	1,01	1,29	0,73
1,60	1,31	0,95	0,99	1,14	1,33	1,55	1,18

Totale superfici da tratt. mq 18

Codice TR ottimale per questa sala 6 Valori massimi TR secondo Circ. Minist. 1975

Superfici da trattare

con tende fonoassorbenti

31 Controsoffitto fonoassorbent mq

Cod. 33,00
97 cartongesso
74 Topakoustic 13/3 M +30 mm lana + 10 mm interc.

Coefficienti di assorbimento

	125	250	500	1K	2K	4K	8K	VM
Unità assorbenti totali finali:	8,29	17,69	29,17	29,07	24,41	22,19	18,35	21,80
Coefficiente di ass. ac. medio	0,054	0,116	0,191	0,191	0,160	0,146	0,120	0,143
Coefficiente di rifles. ac. medio	8,524	18,809	32,377	32,255	26,607	23,980	19,557	23,531
TR Sabine	2,24	1,05	0,64	0,64	0,76	0,84	1,01	0,85
TR Eyring Norris corretta	2,18	0,99	0,57	0,58	0,70	0,78	0,95	0,79
TR Millington-Sette	0,47	0,51	0,32	0,34	0,47	0,62	0,83	0,48
TR secondo UNI 12354-6	2,27	1,06	0,64	0,65	0,77	0,85	1,02	0,86

Nome della sala	Aula 03
Edificio	Liceo Torricelli-Ballardini
Luogo	Faenza
Data del lavoro	08-06-21

Superfici di rivestimento

		Cod	125	250	500	Coefficienti di assorbimento				VM
			1K	2K	4K	8K				
1	Soffitto	mq 40,88 97	0,38	0,20	0,12	0,07	0,07	0,00	0,00	0,14
2	Soffitto B	mq 0,00 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	Soffitto C	mq 0,00 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	pavimento A	mq 40,88 103	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
4a	pavimento B	mq 0,00 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	parete sx A	mq 21,07 1	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
6	parete sx B	mq 0,00 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	parete sx C	mq 0,00 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	parete dx A	mq 21,07 1	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
9	parete dx B	mq 0,00 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	parete dx C	mq 0,00 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	parete retro A	mq 16,49 1	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
12	parete retro B	mq 7,28 6	0,07	0,07	0,05	0,03	0,02	0,02	0,03	0,04
12a	parete retro C	mq 0,00 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12b	parete retro D	mq 0,00 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	parete front. A	mq 18,64 97	0,38	0,20	0,12	0,07	0,07	0,00	0,00	0,14
14	parete front. B	mq 5,13 6	0,07	0,07	0,05	0,03	0,02	0,02	0,03	0,04
14a	parete front. C	mq 0,00 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	Altre superfici assorbenti	mq 0,00 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	tavoli	mq 5,76 41	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,03
17	sedie	mq 3,00 41	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,03
18	persone	num. 2 37	0,15	0,30	0,40	0,40	0,45	0,40	0,40	0,35
Unità assorbenti totali:			26,50	16,09	11,95	8,82	8,88	4,82	4,83	12,84
Coefficiente di ass. ac. medio			0,150	0,091	0,067	0,050	0,050	0,027	0,027	0,072
Coefficiente di rifles. ac. medio			28,705	16,866	12,375	9,044	9,111	4,888	4,894	13,333
TR Sabine			0,87	1,43	1,93	2,61	2,59	4,78	4,77	1,79
TR Eyring Norris corretta			0,80	1,37	1,86	2,55	2,53	4,71	4,71	1,73
TR Millington-Sette			0,72	1,32	1,83	2,52	2,48	4,55	4,55	1,70
TR secondo UNI 12354-6			0,88	1,45	1,95	2,64	2,62	4,83	4,82	1,81
TR RILEVATO			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Scarti %			#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#VALORE!	#VALORE!	#VALORE!	#VALORE!
Totale superfici	mq	177								
Totale volume sala	mc	143								

Superfici da trattare

		Cod.	125	250	500	Coefficienti di assorbimento				VM
			1K	2K	4K	8K				
19	Controsoffitto fonoassorbent	mq 23,00 97	0,38	0,20	0,12	0,07	0,07	0,00	0,00	0,14
		mq 74	0,15	0,42	0,75	0,75	0,60	0,54	0,42	0,53

h trattamento 4,9
l trattamento laterale 13,3

Unità assorbenti totali finali:
Coefficiente di ass. ac. medio
Coefficiente di rifles. ac. medio
TR Sabine
TR Eyring Norris corretta
TR Millington-Sette
TR secondo UNI 12354-6

21,16	21,24	26,37	24,39	21,14	17,10	14,42	21,90
0,119	0,120	0,149	0,138	0,119	0,097	0,081	0,124
22,539	22,625	28,557	26,238	22,511	17,986	15,038	23,378
1,09	1,08	0,87	0,94	1,09	1,35	1,60	1,05
1,02	1,02	0,81	0,88	1,02	1,28	1,53	0,99
0,49	0,66	0,49	0,55	0,72	1,02	1,33	0,67
1,10	1,10	0,88	0,95	1,10	1,36	1,61	1,06

Totale superfici da tratt. mq 23

Codice TR ottimale per questa sala 6 Valori massimi TR secondo Circ. Minist. 1975

Superfici da trattare

con tende fonoassorbenti

31 Controsoffitto fonoassorbent mq

Cod. 41,37 97 cartongesso
74 Topakoustic 13/3 M +30 mm lana + 10 mm interc.

Coefficienti di assorbimento

	125	250	500	1K	2K	4K	8K	VM
0,38	0,20	0,12	0,07	0,07	0,00	0,00	0,14	
0,15	0,42	0,75	0,75	0,60	0,54	0,42	0,53	
16,90	25,36	37,89	36,82	30,93	26,91	22,08	29,14	
0,095	0,143	0,214	0,208	0,175	0,152	0,125	0,164	
17,764	27,363	42,634	41,281	33,993	29,191	23,579	31,832	
1,36	0,91	0,61	0,63	0,74	0,86	1,04	0,79	
1,30	0,84	0,54	0,56	0,68	0,79	0,98	0,72	
0,40	0,47	0,31	0,34	0,46	0,63	0,85	0,45	
1,38	0,92	0,61	0,63	0,75	0,86	1,05	0,80	

Unità assorbenti totali finali:
Coefficiente di ass. ac. medio
Coefficiente di rifles. ac. medio
TR Sabine
TR Eyring Norris corretta
TR Millington-Sette
TR secondo UNI 12354-6

Nome della sala	Aula 04
Edificio	Liceo Torricelli-Ballardini
Luogo	Faenza
Data del lavoro	08-06-21

Superfici di rivestimento

			Cod	125	250	500	Coefficienti di assorbimento				VM
				1K	2K	4K	8K				
1	Soffitto	mq	22,81 97	0,38	0,20	0,12	0,07	0,07	0,00	0,00	0,14
2	Soffitto B	mq	0,00 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	Soffitto C	mq	0,00 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	pavimento A	mq	22,81 103	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
4a	pavimento B	mq	0,00 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	parete sx A	mq	20,37 1	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
6	parete sx B	mq	0,00 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	parete sx C	mq	0,00 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	parete dx A	mq	20,37 1	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
9	parete dx B	mq	0,00 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	parete dx C	mq	0,00 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	parete retro A	mq	6,05 1	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
12	parete retro B	mq	7,67 6	0,07	0,07	0,05	0,03	0,02	0,02	0,03	0,04
12a	parete retro C	mq	0,00 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12b	parete retro D	mq	0,00 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	parete front. A	mq	8,31 97	0,38	0,20	0,12	0,07	0,07	0,00	0,00	0,14
14	parete front. B	mq	5,42 6	0,07	0,07	0,05	0,03	0,02	0,02	0,03	0,04
14a	parete front. C	mq	0,00 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	Altre superfici assorbenti	mq	0,00 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	tavoli	mq	5,76 41	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,03
17	sedie	mq	3,00 41	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,03
18	persone	num.	2 37	0,15	0,30	0,40	0,40	0,45	0,40	0,40	0,35
Unità assorbenti totali:				14,74	9,44	7,44	5,71	5,77	3,64	3,71	7,79
Coefficiente di ass. ac. medio				0,123	0,079	0,062	0,048	0,048	0,030	0,031	0,065
Coefficiente di rifles. ac. medio				15,728	9,829	7,682	5,851	5,911	3,695	3,766	8,053
TR Sabine				0,87	1,36	1,73	2,25	2,23	3,53	3,47	1,65
TR Eyring Norris corretta				0,82	1,31	1,67	2,20	2,18	3,48	3,41	1,60
TR Millington-Sette				0,73	1,26	1,63	2,15	2,10	3,33	3,27	1,56
TR secondo UNI 12354-6				0,88	1,38	1,75	2,27	2,25	3,57	3,50	1,67
TR RILEVATO				#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Scarti %				#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#VALORE!	#VALORE!	#VALORE!	#VALORE!
Totale superfici	mq		120								
Totale volume sala	mc		80								

Superfici da trattare

			Cod.	125	250	500	Coefficienti di assorbimento				VM
				1K	2K	4K	8K				
19	Controsoffitto fonoassorbent	mq	23,00 97	0,38	0,20	0,12	0,07	0,07	0,00	0,00	0,14
			74	0,15	0,42	0,75	0,75	0,60	0,54	0,42	0,53

h trattamento 4,9
l trattamento laterale 13,3

Unità assorbenti totali finali:
Coefficiente di ass. ac. medio
Coefficiente di rifles. ac. medio
TR Sabine
TR Eyring Norris corretta
TR Millington-Sette
TR secondo UNI 12354-6

9,40	14,59	21,86	21,28	18,03	15,92	13,30	16,85
0,079	0,122	0,183	0,178	0,151	0,133	0,111	0,141
9,792	15,558	24,143	23,435	19,539	17,085	14,097	18,158
1,37	0,88	0,59	0,60	0,71	0,81	0,97	0,76
1,31	0,83	0,53	0,55	0,66	0,75	0,91	0,71
0,40	0,46	0,31	0,33	0,45	0,60	0,79	0,44
1,38	0,89	0,59	0,61	0,72	0,82	0,98	0,77

Totale superfici da tratt. mq 23

Codice TR ottimale per questa sala 6 Valori massimi TR secondo Circ. Minist. 1975

Superfici da trattare

con tende fonoassorbenti

31 Controsoffitto fonoassorbent mq

Cod.

32,01

97 cartongesso

74 Topakoustic 13/3 M +30 mm lana + 10 mm interc.

Coefficienti di assorbimento

125 250 500 1K 2K 4K 8K VM

0,38 0,20 0,12 0,07 0,07 0,00 0,00 0,14

0,15 0,42 0,75 0,75 0,60 0,54 0,42 0,53

Unità assorbenti totali finali:
Coefficiente di ass. ac. medio
Coefficiente di rifles. ac. medio
TR Sabine
TR Eyring Norris corretta
TR Millington-Sette
TR secondo UNI 12354-6

7,31	16,61	27,51	27,38	22,83	20,73	17,06	20,39
0,061	0,139	0,230	0,229	0,191	0,173	0,143	0,171
7,544	17,879	31,264	31,096	25,332	22,768	18,401	22,361
1,76	0,77	0,47	0,47	0,56	0,62	0,75	0,63
1,70	0,72	0,41	0,41	0,51	0,56	0,70	0,57
0,34	0,37	0,23	0,25	0,34	0,46	0,61	0,35
1,78	0,78	0,47	0,47	0,57	0,63	0,76	0,64