

ark progetti +

mandatario

architetto cunial giamprimo

mandante

architetto fabbian giampaolo

mandante

architetto pandolfo andrea

mandante

ingegnere carlo franceschini

mandante

ingegnere sara pretto

mandante

geometra forner simone

mandante

perito i. michielin guido

mandante

perito i. gabrielli luca

31030 borso del grappa treviso via ospedale 2/d
31010 asolo treviso via foresto nuovo 32/b

tel. uff. +39 0423 561971
fax. +39 0423 914630

e-mail info@arkprogetti.it

CODICE CUP : G49H180000000001

AMPLIAMENTO SCUOLA
PRIMARIA DI MONTE DI MALO
DESTINATO A SCUOLA
SECONDARIA

COMUNE

MONTE DI MALO

COMMITTENTE

AMMINISTRAZIONE COMUNALE

DATA

SETTEMBRE 2019

AGGIORNAMENTO

EMISSIONE A SEGUITO VALIDAZIONE

CODICE

1219

PROGETTO ESECUTIVO

ELABORATI

CARATTERIZZAZIONE ACUSTICA ARCHITETTONICA

f.to architetto cunial giamprimo

ALLEGATO

G

VALUTAZIONE PREVISIONALE DELL'ISOLAMENTO ACUSTICO DEI SISTEMI EDILIZI

(Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 05 dicembre 1997 e Decreto 11 ottobre 2017)

RAGIONE SOCIALE

COMUNE DI MONTE DI MALO

OGGETTO

AMPLIAMENTO DELLA SCUOLA PRIMARIA DI MONTE MALO DESTINATO A SCUOLA SECONDARIA

INDIRIZZO

COMUNE DI MONTE DI MALO (VI)

PROGETTISTA ARCHITETTONICO

ARK PROGETTI



IL TECNICO COMPETENTE IN ACUSTICA AMBIENTALE
ISCRITTO AL N. 45 DELL'ELENCO REGIONALE DEL VENETO

PIEVE DI SOLIGO, LÌ 24 SETTEMBRE 2019



SOMMARIO

PREMESSA	3
NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
METODI PREVISIONALI	5
DEFINIZIONE DELLE GRANDEZZE	6
CLASSIFICAZIONE DEGLI AMBIENTI ABITATIVI.....	7
MURATURA PERIMETRALE ESTERNA.....	8
Locale aula scolastica - Calcolo dell'isolamento acustico standardizzato di facciata.....	9
COPERTURA	12
PARTIZIONI INTERNE DI SEPARAZIONE.....	13
Calcolo dell'indice di potere fonoisolante apparente	14
Parete di separazione tra aule scolastiche e vano comune - corridoio	17
SOLAIO DI SEPARAZIONE INTERNA.....	19
Premessa	19
Calcolo del potere fonoisolante	20
Calcolo del livello di rumore di calpestio	22
RUMORE PRODOTTO DAGLI IMPIANTI TECNOLOGICI	23
ACUSTICA ARCHITETTONICA.....	28
DESCRIZIONE E DESTINAZIONE D'USO DEGLI AMBIENTI	28
OBIETTIVI DELLO STUDIO.....	28
TEMPO DI RIVERBERAZIONE.....	29
INTELLIGIBILITA'	30
SPEECH TRANSMISSION INDEX (STI)	30
SOFTWARE DI PREVISIONE ACUSTICA.....	31
CARATTERIZZAZIONE ACUSTICA DELL'AMBIENTE SONORO IN CONDIZIONI DI UTILIZZO	33
STATO DI PROGETTO	34
AULA 14	35
OPEN SPACE – PIANO TERRA	38
CONSIDERAZIONI.....	41
CONCLUSIONI	42

Allegati

ALLEGATO 01 – Attestato di riconoscimento del Tecnico Competente in Acustica Ambientale.



PREMESSA

La presente relazione tecnica descrive circa le caratteristiche tecnico-costruttive da adottarsi nei lavori per l'ampliamento della scuola di Monte di Malo (VI) per la realizzazione della scuola secondaria, al fine di prevedere il rispetto dei limiti di cui alla normativa specifica relativamente ai requisiti acustici passivi delle strutture ed alla qualità acustica degli ambienti confinati.

Nello specifico l'analisi ha analizzato le specifiche della composizione delle componenti verticali ed orizzontali previste in fase di progetto ed alcuni particolari costruttivi.

Lo studio si è avvalso di un software di elaborazione per la determinazione previsionale secondo algoritmi di calcolo definiti dalla norma UNI EN 12354 "Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti", rapporto tecnico UNI/TR 11175 "Guida alle norme serie UNI EN 12354 per la previsione delle prestazioni acustiche degli edifici - Applicazione alla tipologia costruttiva nazionale" oltre che da nozioni tecniche fondamentali estrapolate dai maggiori testi di letteratura tecnica specifica e da esperienze pratiche in opera.

L'elaborazione dei dati e le considerazioni relative si basano sull'analisi degli elaborati grafici e delle informazioni fornite dallo studio di progettazione.

I dati elaborati si riferiscono ad analisi teoriche svolte mediante ausilio di opportuni algoritmi di calcolo ed analizzano, pertanto, le prestazioni delle soluzioni proposte in ideali condizioni di posa in opera.

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La normativa tecnica di riferimento è costituita dal D.P.C.M. 5 dicembre 1997 (“Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici”) che regola i requisiti acustici delle sorgenti sonore interne agli edifici ed i requisiti acustici passivi degli edifici e dei loro componenti in opera, al fine di ridurre l'esposizione umana al rumore.

Le metodologie tecniche di misurazione vengono demandate a specifiche norme.

La normativa sottintende la necessità, in fase di esamina preventiva, di individuare le caratteristiche acustiche delle strutture edili, delle partizioni verticali ed orizzontali, dei manufatti e degli impianti tecnologici a funzionamento continuo e discontinuo e di analizzare la distribuzione logistica della destinazione d'uso dei locali, allo scopo di verificarne l'ottemperanza ai requisiti normativi previsti garantendo, al tempo stesso, un adeguato comfort acustico dell'utenza.

L'immobile oggetto della presente risulta essere un ambiente adibito ad attività scolastica e conseguentemente i limiti per il tempo di riverberazione degli ambienti sono quelli riportati nella Circolare del ministero dei lavori pubblici 3150 del 22 maggio 1967 recante i criteri di valutazione e collaudo dei requisiti acustici negli edifici scolastici.

Inoltre, la presente analisi previsionale sarà volta anche alla verifica di quanto previsto nel decreto 11 ottobre 2017, che disciplina i criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione e manutenzione di edifici pubblici.

Tale Decreto, al punto 2.3.5.6 “*comfort acustico*” disciplina i valori dei requisiti acustici passivi dell'edificio secondo le Norme UNI 11367 e UNI 11532.

Per quanto concerne il quadro normativo si fa riferimento alle disposizioni più correntemente utilizzate nella letteratura tecnica specifica. Per riferimenti non aggiornati si applica la più recente edizione della pubblicazione.

- UNI EN ISO serie 10140 “Acustica - Misurazione in laboratorio dell'isolamento acustico di edifici e di elementi di edificio” strutturata nelle seguenti parti:
 - Parte 1: Regole di applicazioni per prodotti particolari;
 - Parte 2: Misurazione dell'isolamento acustico per via aerea;
 - Parte 3: Misurazione dell'isolamento del rumore da calpestio;
 - Parte 4: Procedure e requisiti di misurazione;
 - Parte 5: Requisiti per le apparecchiature e le strutture di prova.
- UNI EN ISO 717-1 Acustica – Valutazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio – Isolamento di rumori aerei.
- UNI EN ISO 717-2 Acustica – Valutazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio – Isolamento di rumore di calpestio.
- UNI EN 12354-1 Acustica degli edifici. Stima della prestazione acustica di edifici della prestazione di prodotti – Isolamento a rumori aerei tra ambienti.
- UNI EN 12354-2 Acustica degli edifici – Stima della prestazione acustica di edifici dalla prestazione di prodotti – Isolamento al rumore di calpestio fra ambienti.
- UNI EN 12354-3 Acustica degli edifici – Stima della prestazione acustica di edifici della prestazione dei prodotti. Isolamento al rumore aereo proveniente dall'esterno.
- UNI EN 12354-4 Acustica degli edifici – Stima della prestazione acustica di edifici della prestazione dei prodotti. Trasmissione del rumore interno verso l'esterno.
- UNI/TR 11175 Guida alle Norme serie UNI 12354 per la previsione delle prestazioni acustiche degli edifici.
- UNI 11367-2010 Acustica in Edilizia – Classificazione acustica delle unità immobiliari. Procedura di valutazione e verifica in opera
- UNI 11444-2012 Classificazione acustica delle unità immobiliari. Linee guida per la selezione delle unità immobiliari in edifici con caratteristiche non seriali
- ISO/DIS 11654 Acustica – Assorbitori sonori per l'impiego negli edifici. Stima dell'assorbimento acustico.
- UNI 11532 Acustica in edilizia – Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinati.
- UNI EN ISO 3822:2010 Acustica - Misurazione in laboratorio del rumore emesso dai rubinetti e dalle apparecchiature idrauliche utilizzate negli impianti per la distribuzione dell'acqua.

METODI PREVISIONALI

I principali metodi previsionali per verificare il grado di conformità di un'opera ai requisiti acustici passivi previsti, possono essere classificati nei seguenti:

- **metodo descrittivo**: è basato sulla descrizione di progetti esistenti giudicati soddisfacenti;
- **metodo di calcolo**: consente la previsione delle prestazioni acustiche di un'opera tramite relazioni matematiche basate sulla conoscenza dei valori relativi ad analisi di laboratorio su tipologie di prodotto;
- **metodo basati su misurazioni**: consentono la determinazione sperimentale delle prestazioni acustiche di un edificio o di parte di esso mediante misure in laboratorio (**metodo di laboratorio**) o mediante analisi in opera dopo la costruzione della stessa (**metodo di analisi in situ**).

La **valutazione previsionale** di tali prestazioni mediante metodo di calcolo richiede l'elaborazioni di un modello matematico adeguato, che sia rappresentativo dei diversi fenomeni connessi alla propagazione del rumore sia di tipo aereo che impattivo.

Il metodo utilizzato per la determinazione del livello di rumore negli ambienti è quello di tipo statistico "ANALISI STATISTICA DELLE VARIABILI ENERGETICHE" (SEA, Statistical Energy Analysis).

Tale metodologia si basa sulla ipotesi di una sufficiente ed uniforme densità modale del sistema in esame con applicazione allo studio della trasmissione delle vibrazioni nelle strutture

Con l'ausilio dei seguenti software di calcolo:

- "Edil ISO" – M. Garai, S. Secchi, G. Semprini – Maggioli Editore
- "Ramsete 2.0 – Software di previsione acustica" – Genesis
- "SONIDO" - versione 1.4 – "Microbel"
- "SONIDO PRO" - versione "1.5.4" – "Microbel"
- "NIS" – software per la progettazione, verifica e collaudo - "Eos"
- "Evaluator Tipo 7820 – Version 3.31" - "Brüel & Kjær"
- "Qualifier Tipo 7830 – Version 3.31" - "Brüel & Kjær"
- "Building Acoustics System BZ7204" - "Brüel & Kjær"
- "Room Acoustics BZ7207" - "Brüel & Kjær"

Il supporto tecnico è fornito dalla seguente letteratura tecnica:

- "Manuale di acustica applicata" – Renato Spagnolo, Edizioni UTET
- "Elementi di acustica tecnica" – R. Lazzarin, M. Strada – CLEUP
- "Note di acustica applicata" – E. Robaudi
- "Compendio di acustica" - K. Anthony Hoover
- "Acustica" – William W. Seto, Collana Schaum
- "L'attenuazione del rumore" - Ian Sharland, Edizioni Woods Italiana
- "L'acustica applicata all'edilizia" - Atti del convegno di Verona 24.11.2000
- "L'isolamento acustico nell'edilizia" – M. Toni, Ance
- "L'acustica nella progettazione architettonica" – Cristiana Bernasconi, Edizioni il Sole 24 Ore
- "Acustica applicata per la diffusione sonora" – U. Nicolau – Ed. Il Rostro
- "Progettare il silenzio" – Anna Magrini – EPC libri.

DEFINIZIONE DELLE GRANDEZZE

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

1. Il tempo di riverberazione (T), definito dalla norma ISO 3382:2001;
2. Il potere fonoisolante apparente di elementi di separazione fra ambienti (R), definito dalla norma UNI EN ISO 16283-1:2014;
3. L'isolamento acustico standardizzato di facciata ($D_{2m,nT}$), definito da:

$$D_{2m,nT} = D_{2m} + 10 \cdot \log \frac{T}{T_0}$$

dove:

$D_{2m} = L_{1,2m} - L_2$ è la differenza tra:

$L_{1,2m}$ è il 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;

L_2 è il livello di pressione sonora medio nell'ambiente ricevente, valutato a partire dai livelli misurati nell'ambiente ricevente mediante la seguente formula:

$$L_2 = 10 \cdot \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_i/10} \right)$$

Le misure dei livelli L_i devono essere eseguite in numero di n per ciascuna banda di terzi di ottava.

Il numero n è il numero intero immediatamente superiore ad un decimo del volume dell'ambiente; in ogni caso, il valore minimo di n è cinque; T è il tempo di riverberazione nell'ambiente ricevente, in "s"; T_0 è il tempo di riverberazione di riferimento assunto, pari a 0,5 s;

4. Il livello di rumore di calpestio di solai normalizzato (L_n) definito dalla norma EN ISO 16283-2;
5. L_{ASmax} : livello massimo di pressione sonora, ponderata A con costante di tempo slow;
6. L_{Aeq} : livello continuo equivalente di pressione sonora, ponderata A.

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

- a) indice del potere fonoisolante apparente di partizione fra ambienti (R_w) da calcolare secondo la norma UNI EN ISO 717-1, parte 1^a.
- b) indice dell'isolamento acustico standardizzato di facciata ($D_{2m,nT,w}$) da calcolare secondo le stesse procedure di cui al precedente punto a.;
- c) indice del rumore di calpestio di solai, normalizzato ($L_{n,w}$) da calcolare secondo la procedura descritta dalla norma UNI EN ISO 717-1, parte 2^a.

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.



CLASSIFICAZIONE DEGLI AMBIENTI ABITATIVI

L'edificio oggetto della presente relazione tecnica presenta la destinazione d'uso scolastica. In riferimento alla Tabella "A" del D.P.C.M. 5 dicembre 1997 l'edificio in oggetto risulta inserito in: Categoria E: "edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili";

Per cui **in fase di collaudo acustico dovranno essere rispettati i seguenti limiti:**

- Indice del potere fonoisolante apparente di partizioni fra ambienti (R'_w) > 50 dB;
- Indice dell'isolamento acustico standardizzato di facciata ($D_{2m,n,T,w}$) > 48 dB;
- Indice del livello di rumore di calpestio di solai, normalizzato ($L'_{n,w}$) < 58 dB;
- Rumore prodotto dagli impianti tecnologici a funzionamento discontinuo (L_{Amax}) < 35 dB(A);
- Rumore prodotto dagli impianti tecnologici a funzionamento continuo (L_{Aeq}) < 25 dB(A).

Con riferimento a quanto previsto dal Decreto 11/10/2017 i requisiti prestazionali delle pareti di separazione tra aule e di separazione tra aule e corridoi verranno valutate secondo quanto previsto dalla Norma UNI 11367, Appendice "A" ed Appendice "B".

Si riportano di seguito i valori di riferimento:

Appendice A – prospetto A.1

Descrittore	Prestazione di base	Prestazione superiore
Descrittore dell'isolamento acustico normalizzato di facciata, $D_{2m,nT,w}$	38 [dB]	43 [dB]
Descrittore del potere fonoisolante apparente di partizioni fra ambienti di differenti unità immobiliari, R'_w	50 [dB]	58 [dB]
Descrittore del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato fra ambienti di differenti unità immobiliari, L'_{nw}	63 [dB]	53 [dB]
Livello sonoro corretto immesso da impianti a funzionamento continuo, L_{ic} in ambienti diversi da quelli di installazione	32 [dB(A)]	28 [dB(A)]
Livello sonoro massimo corretto immesso da impianti a funzionamento discontinuo, L_{id} in ambienti diversi da quelli di installazione	39 [dB(A)]	34 [dB(A)]
Descrittore dell'isolamento acustico normalizzato di partizioni fra ambienti sovrapposti della stessa unità immobiliare, $D_{nT,w}$	50 [dB]	55 [dB]
Descrittore dell'isolamento acustico normalizzato di partizioni fra ambienti adiacenti della stessa unità immobiliare, D_{nTw}	45 [dB]	50 [dB]
Descrittore del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato fra ambienti sovrapposti della stessa unità immobiliare, L'_{nw}	63 [dB]	53 [dB]

Appendice B – prospetto B.1

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



MURATURA PERIMETRALE ESTERNA

Descrizione della tipologia prevista

In fase progettuale, da un punto di vista architettonico, si prevede la formazione di muratura perimetrale costituita da parete in legno XLAM dello spessore di 12 cm.

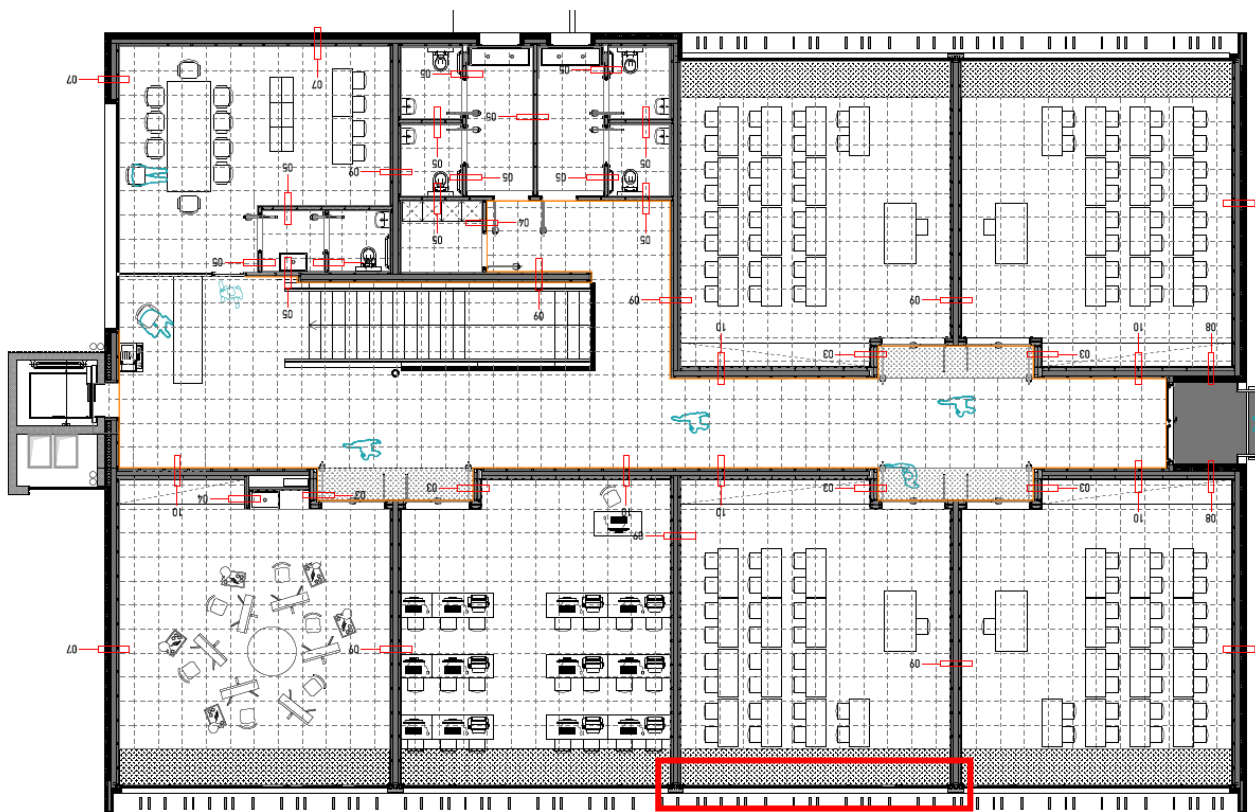
Al piano primo, dove sono presenti le aule scolastiche, è prevista la realizzazione di cappotto termoisolante esterno in lana di roccia ad alta densità dello spessore di 16 cm.

Internamente è prevista la realizzazione di controparete in tecnica a secco composta da orditura metallica dello spessore di 50 mm, saturazione dell'intercapedine con pannelli in lana minerale dello spessore di 40 mm e densità 70 Kg/mc e rivestimento superficiale con duplice lastra di cartongesso dello spessore complessivo di 25 m.

I serramenti installati saranno del tipo con profili in alluminio con vetrocamera 55.2 phon/16/5/16/44.2phon o aventi analoghe caratteristiche fonoisolanti rispetto a quelle successivamente indicate.

Locale aula scolastica - Calcolo dell'isolamento acustico standardizzato di facciata

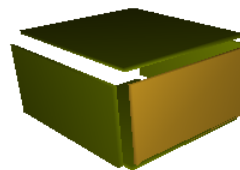
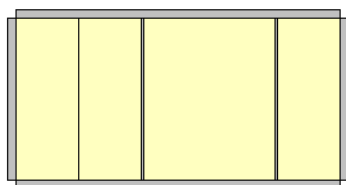
Si è proceduto all'analisi di un locale tipo adibito ad insegnamento, identificato nell'aula 15, mediante il software previsionale per l'isolamento acustico "Sonido-Pro", i cui risultati sono allegati di seguito:



Vista interna

Caratteristiche facciata

Vista tridimensionale



Geometria ambienti

Dimensioni ambiente ricevente (Largh. x Lunghezza x Alt.) [m]: **6,7 x 7,67 x 3,35**

Caratteristiche facciata

Forma della facciata: **Facciata piatta** $DLfs = 0$

Risultati di calcolo

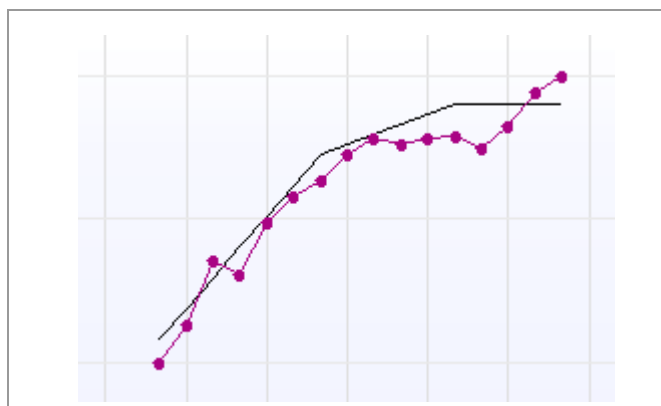
Calcolo previsionale eseguito secondo UNI EN 12354-3

Isolamento acustico contro il rumore proveniente dall'esterno per via aerea

Indici di valutazione ottenuti:

$$D_{2m,nT,w} (C, Ctr) = 48,0 (-2, -6) \text{ dB}$$

Freq. [Hz]	Rif. [dB]	Ri [dB]
50		26,8
63		22,2
80		24,9
100	29,0	26,4
125	32,0	30,8
160	35,0	37,2
200	38,0	35,7
250	41,0	40,6
315	44,0	43,0
400	47,0	44,6
500	48,0	47,1
630	49,0	48,7
800	50,0	48,2
1K	51,0	48,7
1,25K	52,0	47,2
1,6K	52,0	46,1
2K	52,0	49,0
2,5K	52,0	52,8
3,15K	52,0	54,4
4K		59,3
5K		59,8



Valori imposti dal DPCM del 5 Dicembre 1997:

Tipologia di Edificio: Categoria E: edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili

Valori dei parametri indicati nel DPCM del 5 Dicembre 1997		
Categoria E: edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili		
$R'_w \geq$	50	Indice del potere fonoisolante apparente
$D_{2m,nT,w} \geq$	48	Indice di valutazione dell'isolamento acustico standardizzato di facciata
$L'_{n,w} \leq$	58	Indice di valutazione del livello apparente normalizzato di rumore da calpestio

IL DPCM RISULTA VERIFICATO

Calcolo previsionale eseguito secondo EN 12354-3



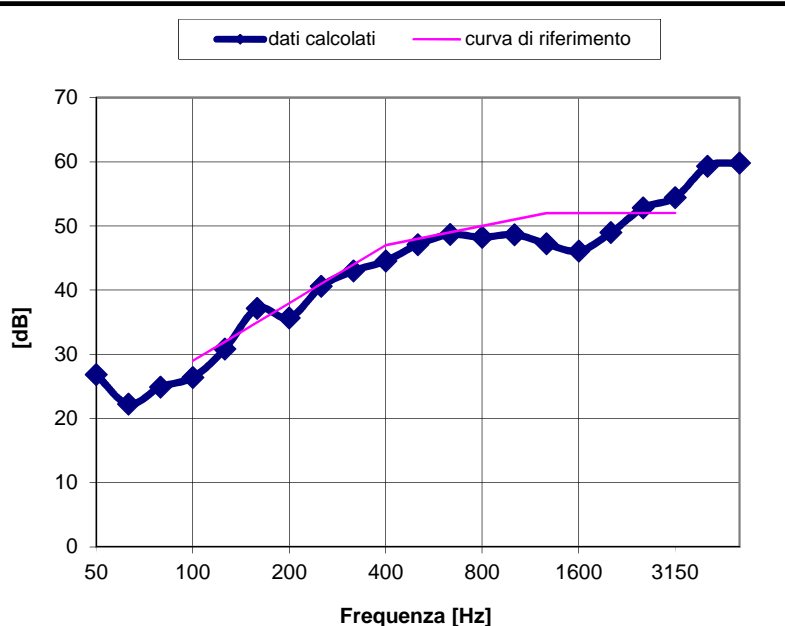
Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti -
Isolamento acustico contro il rumore proveniente dall'esterno per via aerea

Nome: **COMUNE DI MONTE DI MALO**
Progetto: **Ampliamento scuola primaria per realizzazione di scuola secondaria**
Località: **Monte di Malo (VI)**
Tipologia Locale: **Locale aula scolastica "15" sita al piano primo**

Descrizione ambiente

Descrizione strato		m' [kg/m ²]		[dB]
D	Partizione perimetrale	75,0	R _w	43,0
	Rifodera	0,0	DR _w	21,0
f1	Partizione di separazione	54,0	R _w	35,0
	Rifodera	0,0	DR _w	21,0
f2	Partizione di separazione	54,0	R _w	35,0
	Rifodera	0,0	DR _w	21,0
f3	Solaio interpiano	124,2	R _w	51,0
	Rifodera esterna	0,0	DR _w	21,0
f4	Copertura	73,5	R _w	43,0
	Rifodera interna	0,0	DR _w	15,0
Infissi		Si [m ²]	%	Rw dB
i1	Serramento in alluminio con vetrocamera 55.2/16/5/16/44.2 o avente analoghe caratteristiche fonoisolanti	4,4	19,403	47,0
i2	Serramento in alluminio con vetrocamera 55.2/16/5/16/44.2 o avente analoghe caratteristiche fonoisolanti	4,4	19,403	47,0
i3	Serramento in alluminio con vetrocamera 55.2/16/5/16/44.2 o avente analoghe caratteristiche fonoisolanti	9,0	40,299	47,0
i4	Serramento in alluminio con vetrocamera 55.2/16/5/16/44.2 o avente analoghe caratteristiche fonoisolanti	4,4	19,403	47,0

f [Hz]	D _{2m,nT}	Rif
50	26,8	
63	22,2	
80	24,9	
100	26,4	29,0
125	30,8	32,0
160	37,2	35,0
200	35,7	38,0
250	40,6	41,0
315	43,0	44,0
400	44,6	47,0
500	47,1	48,0
630	48,7	49,0
800	48,2	50,0
1000	48,7	51,0
1250	47,2	52,0
1600	46,1	52,0
2000	49,0	52,0
2500	52,8	52,0
3150	54,4	52,0
4000	59,3	
5000	59,8	



S_s 22,4 m²
V_r 172,15 m³

D_{2m,nT,w} = 48,0 dB
C = -2 Ctr = -6

COPERTURA

La copertura sarà realizzata con solaio in legno composto da doppio tavolato incrociato dello spessore di 45 mm, all'estradosso è prevista la posa di doppio strato di pannelli termoisolanti dello spessore di 12 cm ciascuno - densità 140 Kg/mc e sovrastante manto impermeabilizzante.

All'intradosso si prevede la formazione di controsoffitto fonoassorbente composto da rivestimento superficiale in pannelli in lana di roccia (tipo marca ROCKFON modello EKLA).

Risultati di calcolo

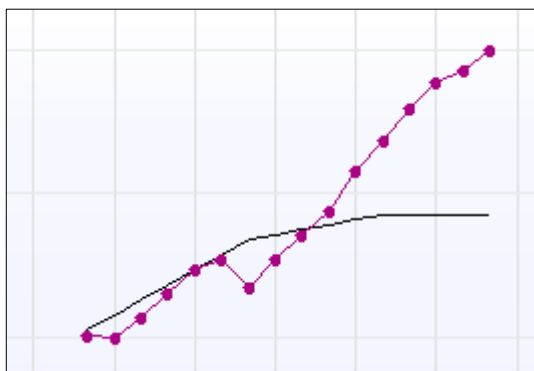
Calcolo previsionale eseguito secondo UNI EN 12354-3

Isolamento acustico contro il rumore proveniente dall'esterno per via aerea

Indici di valutazione ottenuti:

$D_{2m,nT,w}$ (C, Ctr) = 51,0 (-2, -6) dB

Freq. [Hz]	Rif. [dB]	Ri [dB]
100	32,0	31,0
125	35,0	30,7
160	38,0	34,7
200	41,0	39,5
250	44,0	44,2
315	47,0	46,3
400	50,0	40,4
500	51,0	46,2
630	52,0	50,8
800	53,0	55,7
1K	54,0	63,8
1,25K	55,0	69,9
1,6K	55,0	76,4
2K	55,0	81,2
2,5K	55,0	83,7
3,15K	55,0	87,7



Valori imposti dal DPCM del 5 Dicembre 1997:

Tipologia di Edificio: Categoria E: edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili

Valori dei parametri indicati nel DPCM del 5 Dicembre 1997		
Categoria E: edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili		
$R'_w \geq$	50	Indice del potere fonoisolante apparente
$D_{2m,nT,w} \geq$	48	Indice di valutazione dell'isolamento acustico standardizzato di facciata
$L'_{n,w} \leq$	58	Indice di valutazione del livello apparente normalizzato di rumore da calpestio

IL DPCM RISULTA VERIFICATO



PARTIZIONI INTERNE DI SEPARAZIONE

Premessa

In fase progettuale, da un punto di vista architettonico si prevede la formazione di partizioni di separazione tra aule scolastiche in legno XLAM con rifodera in tecnica a secco.

Nelle pareti di separazione tra le aule scolastiche ed i corridoi / vani comuni sarà realizzata altresì una porzione di parete in tecnica a secco del tipo doppia struttura dello spessore di 75 mm, saturazione con pannello in lana minerale e 5 lastre di rivestimento in cartongesso dello spessore di 12,5 mm ciascuna.

Le sopracitate partizioni non risultano essere di separazione tra distinte unità ma di divisione interna, pertanto non si ritengono soggette al soddisfacimento dei limiti prestazionali di cui alla vigente Normativa (DPCM 5-12-97).

Verrà comunque svolta un'analisi teorica previsionale atta a verificare la conformità acustica di tali partizioni al decreto 11 ottobre 2017, che disciplina i criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione e manutenzione di edifici pubblici.

Tale Decreto, al punto 2.3.5.6 "*comfort acustico*" stabilisce i valori dei requisiti acustici passivi dell'edificio secondo la Norma UNI 11367 – Appendice A e Appendice B.

Parete di separazione tra aule scolastiche

È prevista la realizzazione di pareti di separazione tra ambienti adibiti ad insegnamento avente stratigrafia composta da:

Setto centrale in legno XLAM dello spessore di 12 cm, rivestimento su ambo i lati con orditura metallica dello spessore di 50 mm, saturazione con pannelli in lana minerale dello spessore di 40 mm densità 70 Kg/mc e rivestimento superficiale con duplice lastra di cartongesso dello spessore di 12,5 mm ciascuna.

Calcolo dell'indice di potere fonoisolante apparente

Il calcolo ha preso in esame la partizione individuata nella parete di separazione tra i locali aula scolastica 14 e 15.

L'indice del potere fonoisolante apparente della partizione in oggetto equivale a:

$$R'_w = -10 \lg \left[10^{\frac{-R_{Dd,w}}{10}} + \sum_{F=f=1}^N 10^{\frac{-R_{Ff,w}}{10}} + \sum_{f=1}^N 10^{\frac{-R_{Df,w}}{10}} + \sum_{F=1}^n 10^{\frac{-R_{Ff,w}}{10}} \right] \quad [1]$$

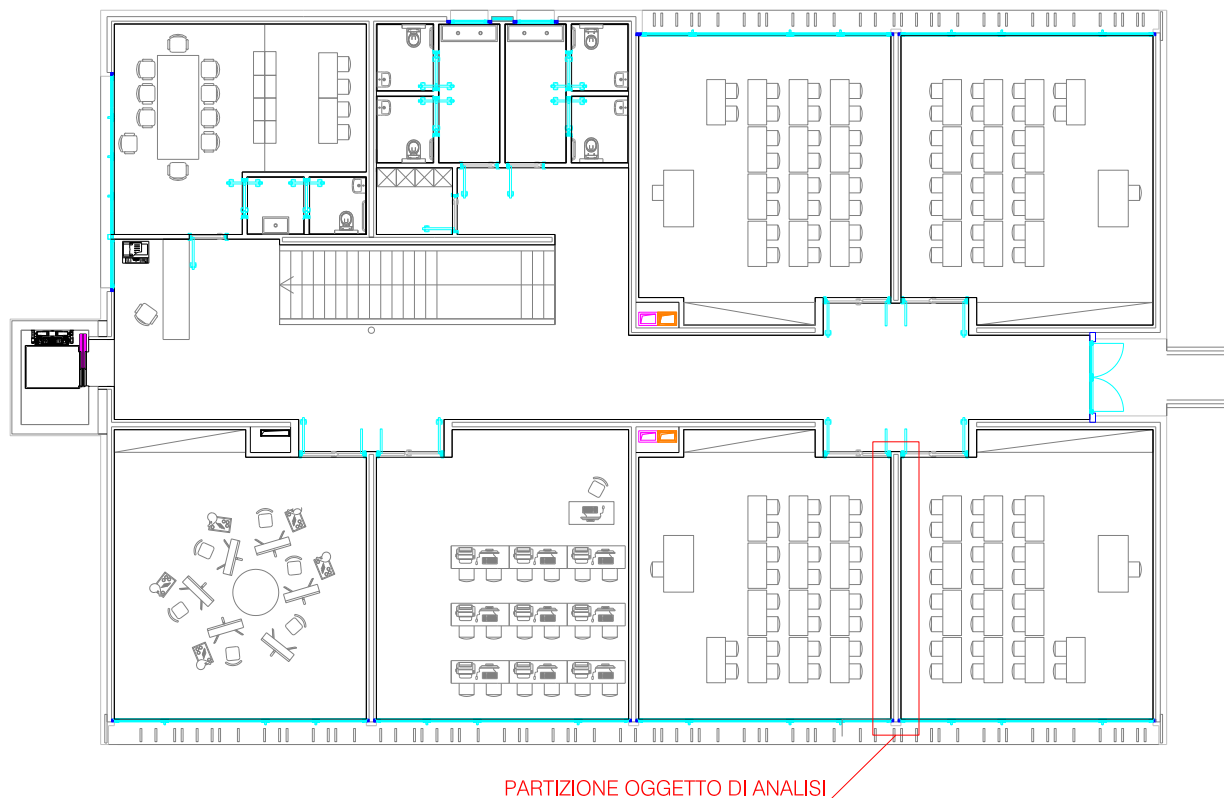
L'equazione è funzione degli indici di valutazione del potere fonoisolante, $R_{ij,w}$, di tutti i percorsi (ij) diretti ed indiretti possibili fra i due ambienti e dove n è il numero degli elementi di fiancheggiamento dell'elemento di separazione il cui calcolo verrà effettuato mediante programma di calcolo "Sonido Pro" secondo le modalità di cui al modello CEN.

I dati analitici di laboratorio del potere fonoisolante sono individuati nel software "Sonido Pro" – Microbel S.r.l.

I singoli contributi delle perdite per fiancheggiamento sono determinati in applicazione dell'algoritmo di calcolo norma UNI EN 12354 e norma UNI-TR 11175 e tengono in considerazione il fattore correttivo delle vibrazioni prodotte dal giunto K_{ij} calcolati a 500 Hz.

I risultati sono evidenziati nelle pagine successive.

Tale valore non considera, inoltre, le perdite connesse alla non perfetta posa in opera ed al passaggio delle componenti impiantistiche che sono difficilmente prevedibili in fase di studio analitico preventivo ma che possono comportare ulteriori perdite prestazionali del manufatto.



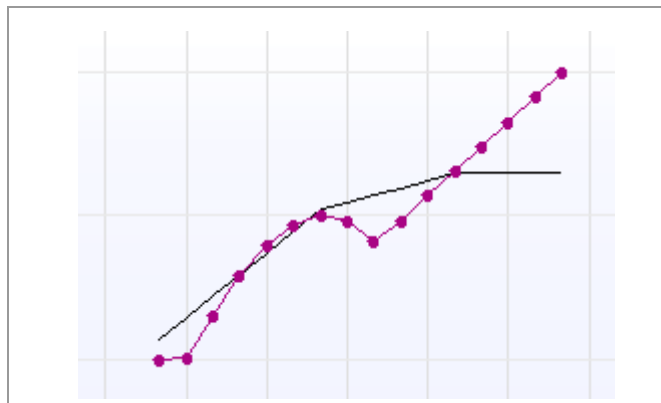
Risultati di calcolo

Calcolo previsionale eseguito secondo UNI EN 12354-1 Isolamento dal rumore per via aerea tra ambienti

Indici di valutazione ottenuti:

$R_w (C, Ctr) = 50,0 (-2, -7) \text{ dB}$

Freq. [Hz]	Rif. [dB]	Ri [dB]
50		15,4
63		20,6
80		25,6
100	31,0	28,3
125	34,0	28,6
160	37,0	34,3
200	40,0	40,0
250	43,0	44,1
315	46,0	46,9
400	49,0	48,4
500	50,0	47,3
630	51,0	44,7
800	52,0	47,4
1K	53,0	51,0
1,25K	54,0	54,4
1,6K	54,0	57,7
2K	54,0	61,2
2,5K	54,0	64,6
3,15K	54,0	68,0
4K		62,4
5K		65,8



Al fine di poter analizzare il valore dell'indice di potere fonoisolante determinato con quanto previsto nell'appendice A – prospetto A1 delle UNI 11367 si è proceduto, secondo UNI/TR 11175/2005 al punto 4.2.1 alla determinazione dell'indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato rispetto al tempo di riverberazione $D_{nT,w}$, e pertanto:

$$D_{nT,w} \cong R'_w + 10 \log \frac{V}{3 * S_s} [dB]$$

dove:

V è il volume del locale ricevente in metri cubi;

S_s è l'area dell'elemento di separazione in metri quadrati.

$$D_{nT,w} \cong 50 + 10 \log \frac{149}{3 * 21,03} [dB]$$

$D_{nT,w} \cong 53,7 [dB]$

Risulta essere soddisfatto il requisito di prestazione superiore secondo prospetto A1 della UNI 13367

Parete di separazione tra aule scolastiche e vano comune - corridoio



È prevista la realizzazione di pareti di separazione tra ambienti adibiti ad insegnamento e vani comuni (corridoi) aventi stratigrafia composta da:

Parete centrale in legno XLAM dello spessore di 12 cm, rivestimento su ambo i lati con orditura metallica dello spessore di 50 mm, saturazione con pannelli in lana minerale dello spessore di 40 mm densità 70 Kg/mc e rivestimento superficiale con duplice lastra di cartongesso dello spessore di 12,5 mm ciascuna.

In corrispondenza della bussola di ingresso ai locali aula sarà realizzata altresì una porzione di parete in tecnica a secco del tipo doppia struttura dello spessore di 75 mm, saturazione con pannello in lana minerale e 5 lastre di rivestimento in cartongesso dello spessore di 12,5 mm ciascuna.

Ai fini dell'analisi previsionale si è valutata la partizione nella sua interezza di parete composta, costituita pertanto dalla porzione in XLAM con contropareti, dalla parete "a secco" e dal serramento.

Per quanto attiene al serramento ed i suoi componenti di imbotte si è considerato un indice di potere fonoisolante R_w dell'elemento pari a 26 dB.

Tale valore **minimo** dovrà essere garantito e certificato mediante presentazione di certificazione prova di laboratorio dall'azienda fornitrice dell'elemento.

Parete di separazione tra aule scolastiche e vano comune - corridoio

Il calcolo ha preso in esame la partizione individuata nella parete di separazione tra l'aula scolastica 16 ed il corridoio ad essa affacciato.

L'indice del potere fonoisolante apparente della partizione in oggetto equivale a:

$$R'_w = -10 \lg \left[10^{\frac{-R_{Dd,w}}{10}} + \sum_{F=f=1}^N 10^{\frac{-R_{Ff,w}}{10}} + \sum_{f=1}^N 10^{\frac{-R_{Df,w}}{10}} + \sum_{F=1}^n 10^{\frac{-R_{Ff,w}}{10}} \right] \quad [1]$$

L'equazione è funzione degli indici di valutazione del potere fonoisolante, $R_{ij,w}$, di tutti i percorsi (ij) diretti ed indiretti possibili fra i due ambienti e dove n è il numero degli elementi di fiancheggiamento dell'elemento di separazione il cui calcolo verrà effettuato mediante programma di calcolo "Sonido Pro" secondo le modalità di cui al modello CEN.

I dati analitici di laboratorio del potere fonoisolante sono individuati nel software "Sonido Pro" – Microbel S.r.l.

I singoli contributi delle perdite per fiancheggiamento sono determinati in applicazione dell'algoritmo di calcolo norma UNI EN 12354 e norma UNI-TR 11175 e tengono in considerazione il fattore correttivo delle vibrazioni prodotte dal giunto K_{ij} calcolati a 500 Hz.

I risultati sono evidenziati nelle pagine successive.

Tale valore non considera, inoltre, le perdite connesse alla non perfetta posa in opera ed al passaggio delle componenti impiantistiche che sono difficilmente prevedibili in fase di studio analitico preventivo ma che possono comportare ulteriori perdite prestazionali del manufatto.



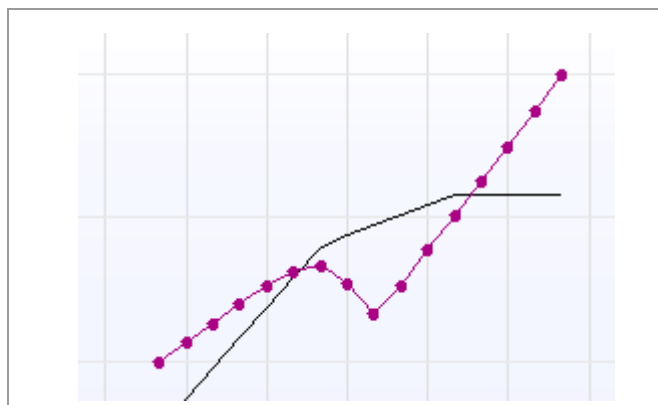
Risultati di calcolo

Calcolo previsionale eseguito secondo UNI EN 12354-1 Isolamento dal rumore per via aerea tra ambienti

Indici di valutazione ottenuti:

$$R_w (C, Ctr) = 34,0 (-1, -3) \text{ dB}$$

Freq. [Hz]	Rif. [dB]	Ri [dB]
50		30,1
63		36,2
80		38,9
100	15,0	21,7
125	18,0	23,5
160	21,0	25,4
200	24,0	27,3
250	27,0	29,1
315	30,0	30,6
400	33,0	31,0
500	34,0	29,3
630	35,0	26,4
800	36,0	29,1
1K	37,0	32,7
1,25K	38,0	36,1
1,6K	38,0	39,5
2K	38,0	42,9
2,5K	38,0	46,3
3,15K	38,0	49,9
4K		52,2
5K		56,5



Al fine di poter analizzare il valore dell'indice di potere fonoisolante determinato con quanto previsto nell'appendice A – prospetto A1 delle UNI 11367 si è proceduto, secondo UNI/TR 11175/2005 al punto 4.2.1 alla determinazione dell'indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato rispetto al tempo di riverberazione $D_{nT,w}$, e pertanto:

$$D_{nT,w} \cong R'_w + 10 \log \frac{V}{3 * S_s} [dB]$$

dove:

V è il volume del locale ricevente in metri cubi;

S_s è l'area dell'elemento di separazione in metri quadrati.

$$D_{nT,w} \cong 34 + 10 \log \frac{151,7}{3 * 22,38} [dB]$$

$$D_{nT,w} \cong 37,5 [dB]$$

Risulta essere soddisfatto il requisito di prestazione ottima secondo prospetto B1 della UNI 13367



SOLAIO DI SEPARAZIONE INTERNA

Premessa

Le tecnologie attualmente utilizzate per l'ottenimento di un buon grado di isolamento acustico dei solai sono finalizzate alla realizzazione di un *pavimento galleggiante* che riduca la trasmissione dei rumori di tipo impattivo, interrompendo la trasmissione per via solida delle vibrazioni, ed al tempo stesso presentino una *adeguata massa superficiale* al fine di limitare la trasmissione della rumorosità aerea.

Dal punto di vista architettonico è prevista la realizzazione di solaio interpiano composto da soletta lignea XLAM dello spessore di 14 cm, materassino anticalpestio posato in fasce per una superficie sotto pannello radiante del 50% marca "ISOLGOMMA" modello "ROLL 5" dello spessore di 5 mm, sistema radiante del tipo fibrorinforzato dello spessore di 40 mm, massetto sabbia e cemento dello spessore di 20 mm avente densità non inferiore a 2000 Kg/mc e pavimentazione superficiale di finitura.

Al fine di ottimizzare lo scollegamento tra le murature ed il massetto ripartitore si prescrive la posa in opera di opportuna banda adesivizzata, da tagliare dopo la posa in opera di pavimento di finitura.

Materiale di riferimento: marca "ISOLGOMMA" modello "PROFYLE" dello spessore di 5 mm

Lo scollegamento tra massetto, pavimento di finitura e murature avverrà in tutti i locali e le situazioni ivi comprese falsi telai delle porte, uscite dei terrazzini, uscita del portoncino di ingresso, etc.

All'intradosso della soletta XLAM è prevista la realizzazione di controsoffitto fonoassorbente in tecnica a secco composto da orditura metallica tradizionale e rivestimento superficiale in pannelli di lana di roccia tipo marca "ROCKFON" modello "EKLA".

Calcolo del potere fonoisolante

Il calcolo ha preso in esame i locali campione laboratorio “16” sito al piano primo ed il sottostante ambiente biblioteca.

L'indice del potere fonoisolante apparente della partizione in oggetto equivale a:

$$R'_w = -10 \lg \left[10^{\frac{-R_{Df,w}}{10}} + \sum_{F=f=1}^N 10^{\frac{-R_{Ff,w}}{10}} + \sum_{f=1}^N 10^{\frac{-R_{Df,w}}{10}} + \sum_{F=1}^n 10^{\frac{-R_{Ff,w}}{10}} \right] \quad [1]$$

L'equazione è funzione degli indici di valutazione del potere fonoisolante, $R_{ij,w}$, di tutti i percorsi (ij) diretti ed indiretti possibili fra i due ambienti e dove n è il numero degli elementi di fiancheggiamento dell'elemento di separazione il cui calcolo verrà effettuato mediante programma di calcolo “SonidoPro” secondo le modalità di cui al modello CEN.

I dati relativi al potere fonoisolante della struttura sono estrapolati da dati di letteratura tecnica individuati nel software “SonidoPro” – Bertellino – Microbel S.r.l.

Non essendo disponibile un dato di laboratorio che individua il potere fonoisolante della struttura in oggetto la stessa è determinata analiticamente alle varie frequenze secondo il processo analitico condotto per passi ed illustrato in seguito (relativo alla frequenza di 500 Hz).



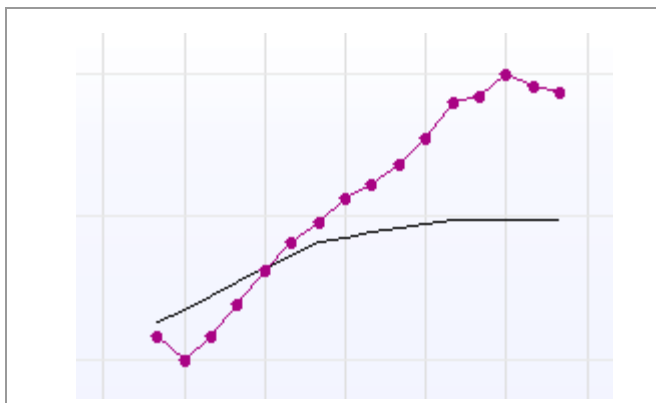
Risultati di calcolo

Calcolo previsionale eseguito secondo UNI EN 12354-1 Isolamento dal rumore per via aerea tra ambienti

Indici di valutazione ottenuti:

$$R_w (C, Ctr) = 55,0 (-4, -10) \text{ dB}$$

Freq. [Hz]	Rif. [dB]	Ri [dB]
50		29,9
63		32,0
80		33,6
100	36,0	33,0
125	39,0	27,9
160	42,0	33,1
200	45,0	40,2
250	48,0	47,7
315	51,0	53,8
400	54,0	58,5
500	55,0	63,8
630	56,0	67,0
800	57,0	71,4
1K	58,0	77,2
1,25K	59,0	85,0
1,6K	59,0	86,2
2K	59,0	91,0
2,5K	59,0	88,5
3,15K	59,0	87,0
4K		79,0
5K		81,7



Al fine di poter analizzare il valore dell'indice di potere fonoisolante determinato con quanto previsto nell'appendice A – prospetto A1 delle UNI 11367 si è proceduto, secondo UNI/TR 11175/2005 al punto 4.2.1 alla determinazione dell'indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato rispetto al tempo di riverberazione $D_{nT,w}$, e pertanto:

$$D_{nT,w} \cong R'_w + 10 \log \frac{V}{3 * S_s} \text{ [dB]}$$

dove:

V è il volume del locale ricevente in metri cubi;

S_s è l'area dell'elemento di separazione in metri quadrati.

$$D_{nT,w} \cong 55 + 10 \log \frac{151,7}{3 * 32,42} \text{ [dB]}$$

$$D_{nT,w} \cong 56,93 \text{ [dB]}$$

Risulta essere soddisfatto il requisito di prestazione superiore secondo prospetto A1 della UNI 11367



Calcolo del livello di rumore di calpestio

Per quanto attiene alla trasmissione della rumorosità di tipo impattivo, il calcolo previsionale è effettuato sulla base delle caratteristiche fisico-elastiche del solaio e cioè sulla sua densità, sullo spessore, sulla velocità di propagazione delle onde longitudinali, sul fattore di radiazione e sul fattore di perdita.

Eseguendo i calcoli con il software previsionale per l'isolamento acustico "Sonido Pro" si ottengono i seguenti risultati:

Risultati di calcolo

Calcolo previsionale eseguito secondo UNI EN 12354-2 Isolamento acustico al calpestio tra ambienti

Indici di valutazione ottenuti:

$L'_{n,w} (Ci) = 58,0 (2) \text{ dB}$

Freq. [Hz]	Rif. [dB]	Lni [dB]
50		78,3
63		76,0
80		73,3
100	60,0	69,1
125	60,0	71,9
160	60,0	67,3
200	60,0	61,5
250	60,0	55,4
315	60,0	50,1
400	59,0	46,1
500	58,0	41,9
630	57,0	39,5
800	56,0	36,7
1K	55,0	34,2
1,25K	52,0	32,7
1,6K	49,0	32,8
2K	46,0	34,3
2,5K	43,0	38,1
3,15K	40,0	39,0
4K		44,1
5K		42,3

Risulta essere soddisfatto il requisito di prestazione di base secondo prospetto A1 della UNI 11367

RUMORE PRODOTTO DAGLI IMPIANTI TECNOLOGICI

Gli *impianti tecnologici* a funzionamento continuo e discontinuo, saranno forniti di **certificati** distintivi delle **caratteristiche di emissione sonora** a corredo delle caratteristiche tecniche degli stessi.

In particolare:

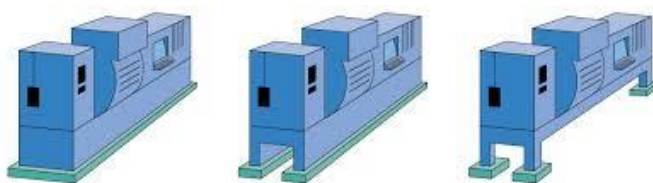
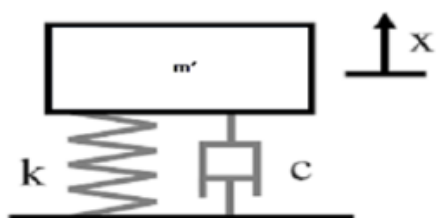
Generatori di calore per la produzione di energia termica

Le principali sorgenti sonore connesse con l'installazione degli impianti autonomi di cui all'oggetto della presente, sono connesse al funzionamento delle pompe di circolazione dei fluidi termovettori.

L'impianto tecnologico in oggetto sarà corredata da **certificato** che ne identifichi le **caratteristiche di emissione sonora** sotto forma di potenza sonora secondo le indicazioni riportate dalle normative UNI specifiche.

Verranno prese le precauzioni del caso al fine di scollegare possibili giunti rigidi di parti soggette a vibrazione e quindi a trasmissione della rumorosità per via strutturale.

La stessa poggierà, a seconda delle caratteristiche tecniche e dalle indicazioni fornite dalla casa costruttrice, su antivibranti a molla o in materiale resiliente.





Scarichi dei bagni, pluviali

L'acqua per caduta urtando contro le pareti delle tubature, trasforma una parte della sua energia cinetica in rumore strutturale. Anche in questo caso il non collegamento alle strutture risulta parte integrante fondamentale per limitare la propagazione dell'energia sonora.

Verranno utilizzati scarichi insonorizzati (e relativi accessori) tipo marca "BAMPI" modello "POLO-KAL 3S" in polietilene rinforzato con fibre minerali o similare avente medesime caratteristiche tecnico-prestazionali

Il fissaggio di sostegno sarà con inserto insonorizzante secondo norma DIN 4109 e chiusura rapida composta da collare di supporto e collare tipo marca "BAMPI" modello "POLO-CLIP HS" di fissaggio o similare avente medesime caratteristiche tecnico-prestazionali.

Verranno utilizzate fascette di fissaggio e fascette di supporto in combinazione in relazione all'altezza dei piani.

Tutte le tubazioni di scarico per le acque reflue nere e bianche, dovranno essere rivestite per tutto la loro lunghezza, sino all'innesto con il wc, con guaina tipo marca "BAMPI" modello "FONECOdB AM" o marca "K-FLEX" modello "K-FONIK ST GK 072" o mod. "K-FONIK ST GK ST 074"

L'eventuale intercapedine verrà saturata con lana di roccia densità 70 Kg/m³.

Le curve di 90° saranno sostituite con una soluzione tecnica di 2 curve da 45° cadauna in modo da limitare la propagazione dell'energia sonora causata dall'urto dell'effluente liquido contro le pareti della tubazione.

Percorsi delle componenti impiantistiche

Risulta fondamentale la necessità di **evitare installazione di canalizzazioni di impiantistica** elettrica, termo-idraulica, predisposizione di canne fumarie, condotti di scarico, nicchie per varie esigenze e quant'altro possa **inficiare la resa acustica** del sistema di isolamento acustico previsto per le **partizioni considerate**, a seguito della asportazione di materiale costituente i manufatti.



Rete aeraulica di ventilazione meccanica controllata

La progettazione in oggetto prevede il posizionamento di una unità di trattamento aria atta alla ventilazione meccanica controllata degli ambienti ad uso scolastico.

Tale impianto verrà posto al piano interrato, ai piani terra e primo sarà distribuita la rete aeraulica di mandata e ripresa dell'aria.

Al fine della verifica della potenziale trasmissione di rumorosità prodotta dall'impianto, attraverso le canalizzazioni, alle aule si è valutata la condizione di progetto sfavorevole, individuata nel locale aula musica sito al piano primo.

I dati di rumorosità dell'impianto, sottoriportati, evidenziano valori peggiorativi nel lato aspirazione di ripresa ambiente e pertanto si è ritenuto di valutare tale percorso impiantistico.

Mandata

Calcolo rumorosità

Livello di potenza sonora [dB]												
Frq.[Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Somma [dB(A)]			
Aspirazione	77,0	71,0	80,0	71,0	64,0	64,0	59,0	54,0	74,4			
Uscita	75,0	67,0	65,0	48,0	38,0	39,0	46,0	48,0	58,9			
Carpenteria	70,0	69,0	75,0	70,0	71,0	69,0	48,0	36,0	75,1			
Livello di pressione sonora [dB]												
Frq.[Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Somma [dB(A)]	Punto di misura a	1 m	di distanza
Aspirazione	69,1	63,1	72,1	63,1	56,1	56,1	51,1	46,1	66,5			
Uscita	67,1	59,1	57,1	40,1	30,1	31,1	38,1	40,1	51,0			
Carpenteria	62,1	61,1	67,1	62,1	63,1	61,1	40,1	28,1	67,2			

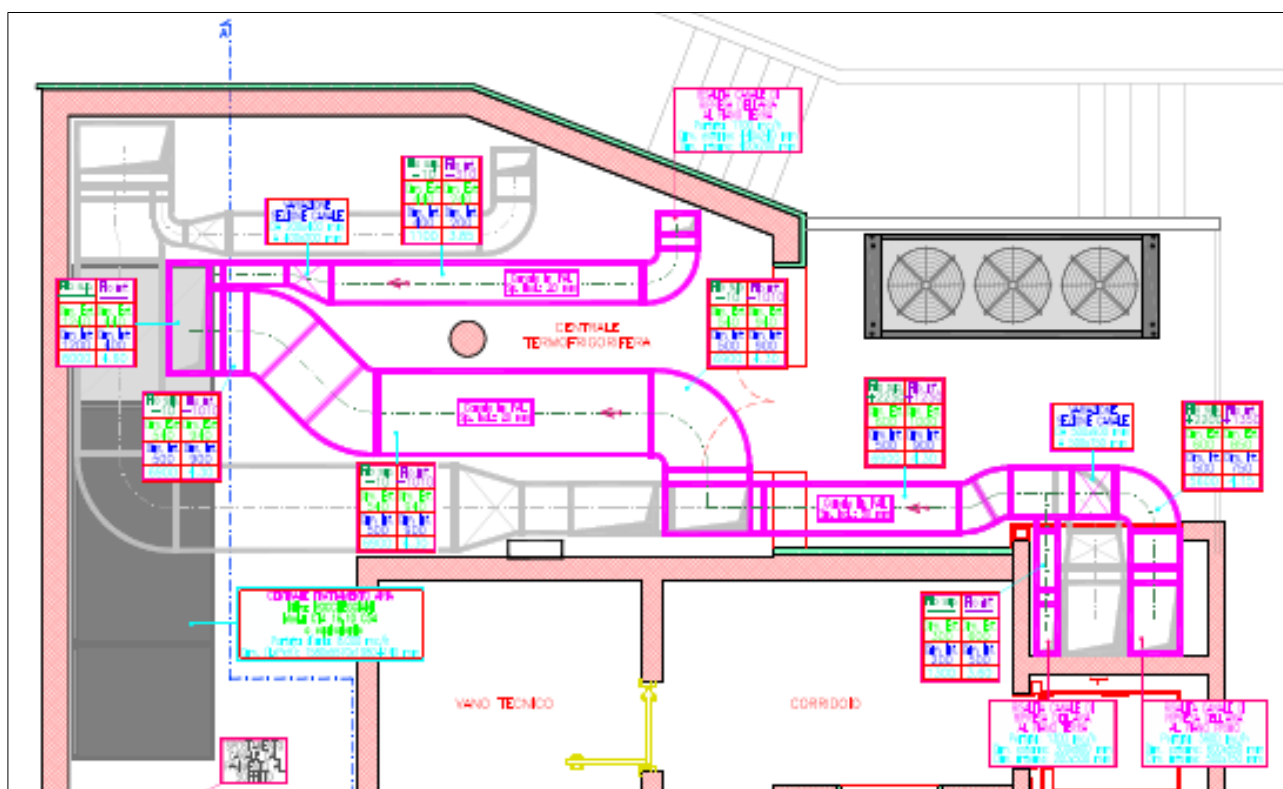
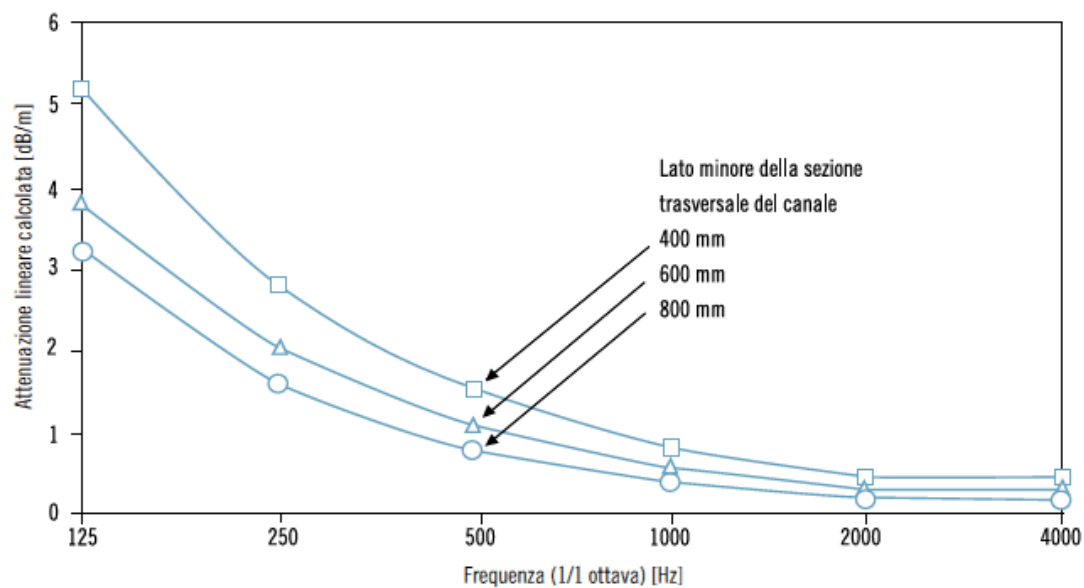
Ripresa

Calcolo rumorosità

Livello di potenza sonora [dB]												
Frq.[Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Somma [dB(A)]			
Aspirazione	73,0	69,0	70,0	54,0	38,0	39,0	45,0	58,0	63,6			
Uscita	78,0	80,0	89,0	86,0	87,0	84,0	80,0	78,0	91,2			
Carpenteria	67,0	69,0	76,0	73,0	74,0	72,0	51,0	42,0	77,9			
Livello di pressione sonora [dB]												
Frq.[Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Somma [dB(A)]	Punto di misura a	1 m	di distanza
Aspirazione	65,1	61,1	62,1	46,1	30,1	31,1	37,1	50,1	55,7			
Uscita	70,1	72,1	81,1	78,1	79,1	76,1	72,1	70,1	83,3			
Carpenteria	59,1	61,1	68,1	65,1	66,1	64,1	43,1	34,1	70,0			

La rete di canalizzazioni in PAL dall'UTA all'aula musica è realizzata con sezioni di canale 50x90 cm, 75x50 cm, 95x40 cm, 30x20 cm e successivamente con tubazione isolata flessibile di alimentazione del diffusore d'aria.

Ai fini della verifica dell'attenuazione lineare [dB/m] si è considerato lo scenario nella frequenza maggiormente sfavorevole nel rapporto tra emissione dell'impianto ed attenuazione lineare, e pertanto l'analisi è stata riferita alla frequenza di 250 Hz.



Pagina
27 di 43



ACUSTICA ARCHITETTONICA

DESCRIZIONE E DESTINAZIONE D'USO DEGLI AMBIENTI

Le aule oggetto della presente valutazione risultano essere ambienti scolastici e conseguentemente riconducibili ai limiti previsti dalla vigente Normativa il DPCM 5-12-97 e della relativa Circolare 3150 del 22/05/1967.

Come sopradescritto, la presente valutazione previsionale farà riferimento al Decreto 11 ottobre 2017, che disciplina i criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione e manutenzione di edifici pubblici.

Tale Decreto, al punto 2.3.5.6 “*comfort acustico*” disciplina i valori dei requisiti acustici passivi dell'edificio secondo le Norme UNI 11367 e UNI 11532.

OBIETTIVI DELLO STUDIO

Lo scopo del presente studio è quello di garantire una corretta fruibilità dell'ambiente ed altresì ottemperare ai valori limite previsti dalla sopracitata vigente normativa, e conseguentemente:

Tempo di riverberazione per locali adibiti ad insegnamento [250 - 2000 Hz] $\leq 1,2$ ”

Si procede alla descrizione delle analisi svolte e dei dati definiti a seguito della elaborazione con software di modellizzazione digitale acustica.



TEMPO DI RIVERBERAZIONE

Nonostante il diffondersi di nuovi indici di valutazione, la previsione del tempo di riverberazione e del suo andamento in funzione della frequenza, resta uno degli aspetti più importanti della progettazione acustica.

La diffusione del suono in un ambiente dipende dalla natura e dalla distribuzione dei materiali sulle superfici che lo confinano e da come la loro forma governa il gioco delle riflessioni.

La riverberazione è un fenomeno connesso alla riflessione ripetuta fino all'assorbimento totale, delle onde sonore generate da una sorgente.

Tecnicamente tale valore, calcolato e determinato in secondi ed associato alla presenza di sorgente e ricevitore, equivale al tempo necessario affinché il livello di pressione sonora nel punto di osservazione decada di 60 dB, a partire dall'istante in cui è disattivata la sorgente che sosteneva il precedente regime permanente.

Le prime esperienze pratiche del tempo di riverberazione furono condotte da W.C. Sabine, a cui si deve il fondamento della formula del tempo di riverberazione:

$$T_{60(s)} = \frac{0.161 \cdot V}{A}$$

perfezionata, successivamente, con altre espressioni più complete e precise formulate da Norris, Eyring, Millington, Setten e Joice.

Le numerose riflessioni permettono al suono di persistere per un breve lasso di tempo prima di venire assorbite totalmente dagli elementi architettonici, dal corpo umano, dall'aria.

Il tempo di riverberazione ottimale è funzione della frequenza del suono, del volume e della forma del locale analizzato.

In considerazione dei generi rappresentativi proponibili nell'ambiente sonoro in oggetto sono stati individuati i tempi di riverberazione ottimali, evinti da dati di letteratura tecnica (riferimento di importanza storica sono i risultati del lavoro di Beranek riportati nel testo *Music, Acoustics and Architecture*, relativi alle prove svolte in 54 sale da concerto e teatri d'opera) e da esperienze praticate in ambienti analoghi. Il modello di simulazione numerica adottato consente l'utilizzo delle più recenti formulazioni sopracitate. È stato, infatti, possibile determinare, oltre al tempo di riverberazione classico "T₆₀", anche altri parametri di notevole interesse per una valutazione complessiva della bontà acustica dell'ambiente.

INTELLIGIBILITA'

L'esigenza fondamentale nella comunicazione verbale è la comprensione corretta del messaggio trasmesso.

Per intelligibilità si intende la percentuale di parole o frasi correttamente comprese da un ascoltatore rispetto alla totalità di frasi pronunciate da un parlatore.

Essa dipende, oltre che dai fenomeni connessi ad una eccessiva riverberazione ed alla presenza di rumore di fondo, dalle caratteristiche di emissione della voce umana, in particolare dalla emissione, variabile secondo lo sforzo vocale del parlatore, dalla composizione in frequenza, dall'andamento temporale, dalla direzionalità e da altri fattori di natura linguistica, ovvero la struttura grammaticale della lingua e semantica.

Esistono diversi modi per valutare tale parametro.

Lo studio in oggetto si è soffermato sulla analisi dello *STI*, *Speech Transmission Index* definito dalla norma IEC 60268-16 che quantifica l'effetto combinato dell'interferenza del rumore di fondo e della riverberazione sulla riduzione di intelligibilità del parlato.

Il valore è tanto migliore quanto più prossimo all'unità, secondo la UNI 11367 per ambienti adibiti ad attività sportive l'indice dovrà essere > 0.6 .

SPEECH TRANSMISSION INDEX (STI)

La valutazione pratica di tale parametro è effettuata mediante una misurazione in corrispondenza del ricevitore ed utilizzando, quale sorgente sonora, una riproduzione di un segnale di test filtrato per bande di ottava da 125 a 4000 Hz, modulato sinusoidalmente in ampiezza, con indice di modulazione pari a 1, secondo 14 frequenze di modulazione.

Ogni rapporto segnale/rumore apparente è convertito in indice di trasmissione ($TI_{f,F}$), compreso in un intervallo tra 0 e 1.

$$TI_{f,F} = \frac{SNR_{f,F} + 15}{30}$$

Per ogni banda di ottava viene calcolato l'indice di trasferimento della modulazione (MTI_f) come media aritmetica degli indici di trasmissione:

$$MTI_f = \frac{1}{14} \sum_{f=1}^{14} TI_{f,F}$$

Infine si ottiene l'indice STI come somma pesata degli indici di trasferimento della modulazione:

$$STI = \sum_{f=1}^7 \alpha_f MTI_f - \sum_{f=1}^6 \beta_f \sqrt{MTI_f - MTI_f + 1}$$

La valutazione in fase di progetto è determinata applicando la procedura dell'acustica statistica di Houtgast et al. per il calcolo della MTF, dalla quale si ottiene l'indice STI.



SOFTWARE DI PREVISIONE ACUSTICA

Per lo studio dei parametri acustici funzionali alla propagazione sonora all'interno dell'ambiente in oggetto, è stato utilizzato il software "Ramsete" versione 2.7, attualmente uno dei migliori prodotti per l'analisi della simulazione dei fenomeni acustici.

Il programma è basato sulla tecnica del *Piramid Tracing* e dell'acustica geometrica.

Il pacchetto è dotato di più programmi per la formazione di un database dei coefficienti di assorbimento ed isolamento acustico dei materiali, e delle sorgenti sonore utilizzabili (impianto di diffusione sonora, sorgenti spurie, voce umana, etc.).

Tramite un software di visualizzazione bi e tridimensionale è possibile inserire od importare l'elaborato grafico dell'ambiente sonoro in esame.

Infine, mediante un modulo di calcolo è possibile ottenere una serie di dati ed informazioni per una notevole quantità di punti e ricettori all'interno della sala e di visualizzarli prospetticamente, tramite un rendering della mappatura dell'area interessata.

Sono quindi disponibili, per la tipologia di parametri acustici descritti precedentemente, i dati relativi a ciascun ricettore disposto all'interno dell'ambiente sonoro, con visualizzazione numerica dei livelli di pressione sonora diretta, lineare e pesato "A", la curva di decadimento di Schroeder, i vari tempi di riverberazione.

Come metodo di calcolo è stata utilizzata la tecnica del *Piramid Tracing* perché, oltre ad ottenere i vantaggi del *Ray Tracing* consente una elevata risoluzione nella descrizione della risposta all'impulso, un preciso posizionamento dei ricevitori e tempi di calcolo molto ridotti.

Il tracciatore di piramidi implementato consente, infatti, di tenere conto dell'effetto di diffrazione sul bordo libero delle schermature o degli ostacoli e considera, pure, la quota parte di energia che passa attraverso le superfici (dotate di potere fonoisolante finito).

La generazione delle piramidi è perfettamente isotropa, grazie all'algoritmo di *Tenenbaum et al.*, costituito da una progressiva bisezione degli 8 spicchi di superficie sferica di partenza.

Il tracciamento delle piramidi viene proseguito fino ad ordini elevatissimi in modo da ricostruire l'intera coda sonora in ciascun punto ricevitore.

La correzione della coda sonora è di tipo moltiplicativo. Essa si basa sul fatto che il numero di impatti sul ricevitore nell'unità di tempo $n(t)$, ottenuto da un tracciatore di fasci divergenti, può essere descritto matematicamente, secondo *Maercke-Martin*, dalla relazione:

$$n(t) = \frac{4\pi C_0^3 t^2}{V} (1 - e^{-t_c^2/t^2})$$

L'andamento teorico secondo la teoria delle sorgenti immagine è, invece, costituito semplicemente dal primo fattore della relazione suddetta, senza il termine fra parentesi e, pertanto, cresce con il quadrato del tempo.

Al tendere all'infinito del tempo t , la relazione fornisce poi un valore teoricamente costante del numero di impatti sul ricevitore nell'unità di tempo:

$$n(\infty) = \frac{N C_0^3 l_{cm}^2}{V} \frac{\pi}{4\beta}$$

Nella relazione compare il termine l_{cm} definito come "libero cammino medio" che viene calcolato in base ad una statistica sull'effettiva percorrenza dei raggi sparati in asse alle piramidi ed il coefficiente adimensionale β che dipende dalla natura sabiniana del campo sonoro (in campo perfettamente



diffuso $\beta = 0.3$). Il tempo critico t_c che compare nella relazione, rappresenta il punto ideale di separazione fra la prima parte della coda sonora, in cui vengono rilevate correttamente tutte le sorgenti immagine, e la parte tardiva in cui il numero di arrivi di energia nell'unità di tempo è costante: esso è, infatti, definito come il punto di intersezione fra la parabola, corrispondente all'andamento teorico, e la retta orizzontale che rappresenta il numero costante di intercettazioni ($n(\infty)$), ricavato dall'ultima relazione. La correzione della coda riverberante viene dunque eseguita dividendo l'energia sonora per il termine fra parentesi che è sempre minore di 1 e va diminuendo progressivamente al crescere di t . In pratica la stima di t_c è vincolata alla scelta di un opportuno valore del coefficiente β , scelta che è effettuata ricercando il valore che minimizza la differenza fra la coda sonora esatta, ottenuta con un numero di raggi N molto elevato, e la coda sonora stimata lanciando un ridotto numero di raggi. L'altro aspetto che differenzia il tracciatore piramidale di "Ramsete" dagli altri metodi di *Beam Tracing* è la possibilità di dichiarare "obstructing" alcune superfici. Quando una piramide colpisce una di queste superfici vengono attivati ulteriori controlli per verificare se dietro ad essa si trovi un ricevitore. In tal caso si calcola il contributo, sullo stesso, fornito dall'onda sonora che ha attraversato la superficie (in base al potere fonoisolante della stessa).

Si verifica poi se la superficie presenta bordi liberi e, in caso affermativo, viene portato un ulteriore contributo di energia al ricevitore a partire da ciascun bordo libero, calcolato secondo la nota relazione di Kurze e Anderson (1971) che riprende gli studi Maekawa (1968):

$$L_{diff} = L_{dir} - 5 - 10 \log \left[\frac{\sqrt{2\pi N}}{\tanh \sqrt{2\pi N}} \right]$$

In cui L_{dir} è il livello diretto che giungerebbe al ricevitore senza la presenza dell'ostacolo ed N è il numero di Fresnel.

Grazie a queste possibilità l'algoritmo di tracciamento è in grado di affrontare lo studio della propagazione sonora anche in spazi geometricamente complessi, in presenza di schermature parziali o totali.



CARATTERIZZAZIONE ACUSTICA DELL'AMBIENTE SONORO IN CONDIZIONI DI UTILIZZO

Mediante il software di simulazione dei fenomeni acustici "Ramsete" descritto precedentemente, è stato possibile definire qualitativamente e quantitativamente i descrittori acustici oggettivi, individuando, pertanto, le caratteristiche acustiche più appropriate dei materiali di rivestimento superficiale, e la conformazione geometrica dell'ambiente sonoro nelle condizioni di fruizione dello stesso.

Per la simulazione sono state utilizzate le seguenti impostazioni:

- Sorgente sonora
La sorgente sonora, salvo per la definizione dell'indice STI di intelligibilità in cui è stata utilizzata la riproduzione della voce umana, è una cassa di diffusione sonora di tipo omnidirezionale ed è stata posizionata al centro del locale oggetto di analisi ad una altezza di 1.7 m.
La potenza sonora è di 110 dB alle varie frequenze e l'indice di direttività è pari a 1 .
- Subdivision Level (N)
Indica il numero di piramidi tracciate dalla sorgente sonora. Il numero di piramidi equivale a $8 \cdot 2^N$ dove ad N è stato attribuito il valore di 10. Tipicamente il valore minimo per una corretta simulazione è 5. Si è ritenuto opportuno aumentare tale valore per migliorare ulteriormente la definizione del risultato e diminuire, pertanto, l'errore di approssimazione. Il numero di piramidi tracciate dalla sorgente è, pertanto, pari a 16384.
- Time resolution
È l'ampiezza temporale in secondi degli intervalli in cui viene suddivisa la risposta all'impulso. È compresa tra 1 ms e 100 ms. È stato utilizzato un valore di 10 ms per ottenere un grado di precisione superiore.
- Humidity e Temperature
Sono stati utilizzati parametri di umidità del 60 % e di temperatura di 20 °C.

STATO DI PROGETTO

Si è preso in esame un locale campione adibito ad insegnamento identificato nell'aula 14, la stesa risulta essere caratterizzata da una superficie di 50,08 mq - volume di circa 151 mc.

La valutazione ha interrato altresì l'open space da realizzarsi al piano terra, caratterizzato da una superficie di 180 mq - volume di circa 550 mc

L'analisi dell'elaborato progettuale architettonico evidenzia la presenza di un'aula musica, tale ambiente di insegnamento risulta essere caratterizzato da volume, superficie, rivestimenti ed arredi analoghi alle altre aule, si ritiene conseguentemente che i risultati ottenuti nell'aula campione oggetto di valutazione possano essere riferiti anche all'aula musica.

Come precedentemente descritto nella stratigrafia, nella parete perimetrale XLAM è stata prevista la realizzazione di un rivestimento interno in controparete a secco.

Le pareti interne saranno in tecnica a secco.

Per quanto attiene al solaio di copertura avente stratigrafia precedentemente descritta si è prevista la formazione all'intradosso di controsoffitto fonoassorbente del tipo in pannelli 60x60 cm marca "ROCKFON" modello "EKLA".

Nel lato della copertura adiacente alla partizione perimetrale è prevista la realizzazione di una veletta (ad altezza 3,35 m) in lastra di cartongesso liscia.

Relativamente agli arredi in questa fase progettuale si sono previsti tavoli e sedie in legno (libere).

Per la pavimentazione si è considerata una finitura in linoleum.

Si è proceduto all'informatizzazione delle superfici di rivestimento e relative caratteristiche acustiche dei materiali previsti a progetto al fine di analizzare nel locale in oggetto i parametri:

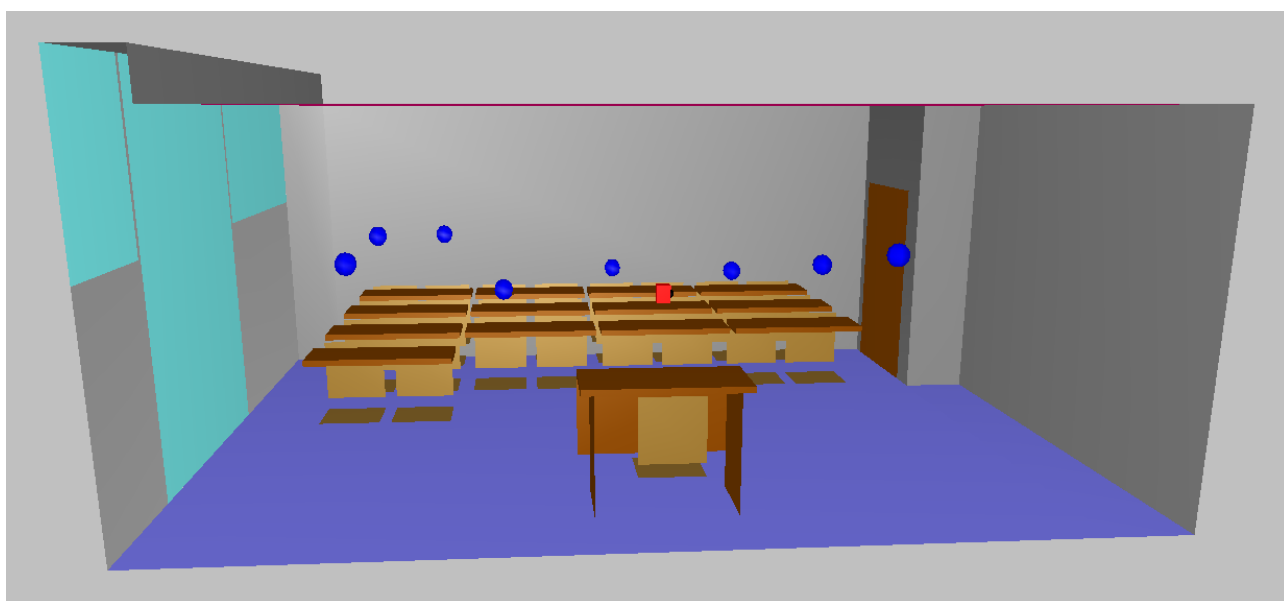
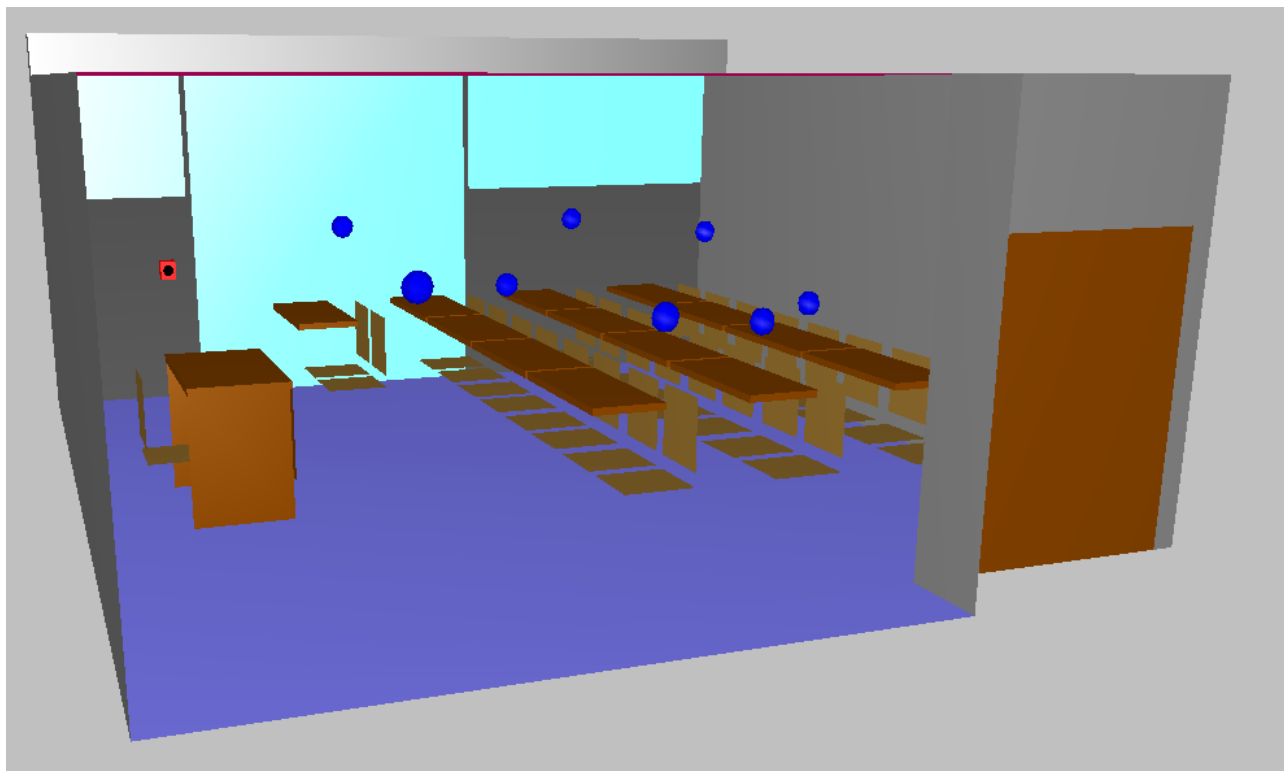
- Tempo di riverberazione di sabine (T_{60});
- Speech Transmission Index (STI).

I coefficienti di fonoassorbimento alle varie frequenze dei rivestimenti considerati sono i seguenti.

Tipologia	Coefficiente di fonoassorbimento alle varie frequenze					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Pavimentazione in linoleum	0,011	0,011	0,022	0,032	0,032	0,043
Legno	0,11	0,12	0,12	0,12	0,10	0,10
Vetro	0,15	0,08	0,06	0,06	0,06	0,06
Sedia in legno libera	0,03	0,05	0,05	0,10	0,15	0,10
Gesso	0,165	0,087	0,065	0,065	0,065	0,065
Controsoffitto tipo ROCKFON EKLA 20/200	0,50	0,85	0,95	0,95	1,00	1,00

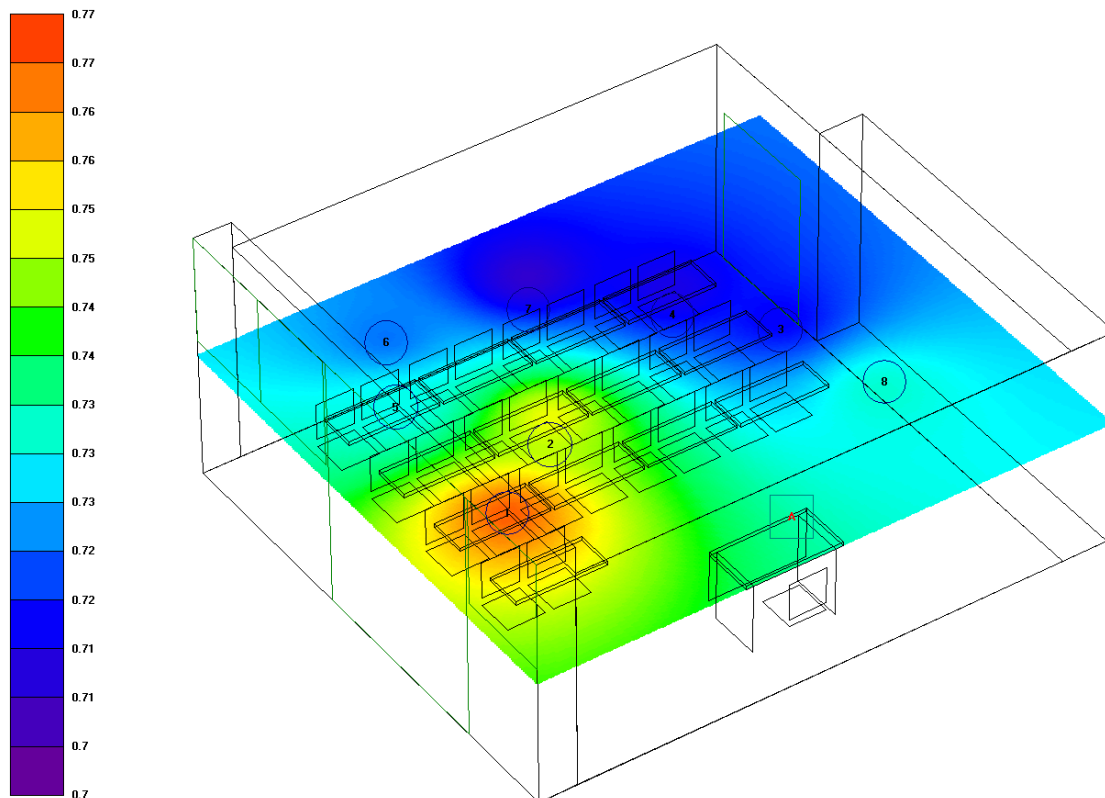
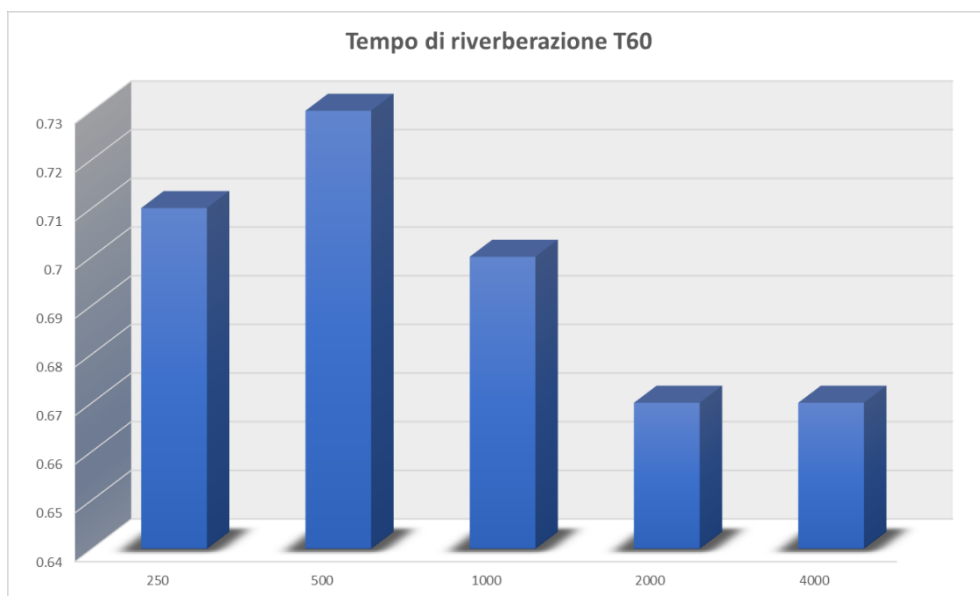
AULA 14

Si riporta un estratto della modellazione digitale sviluppata.

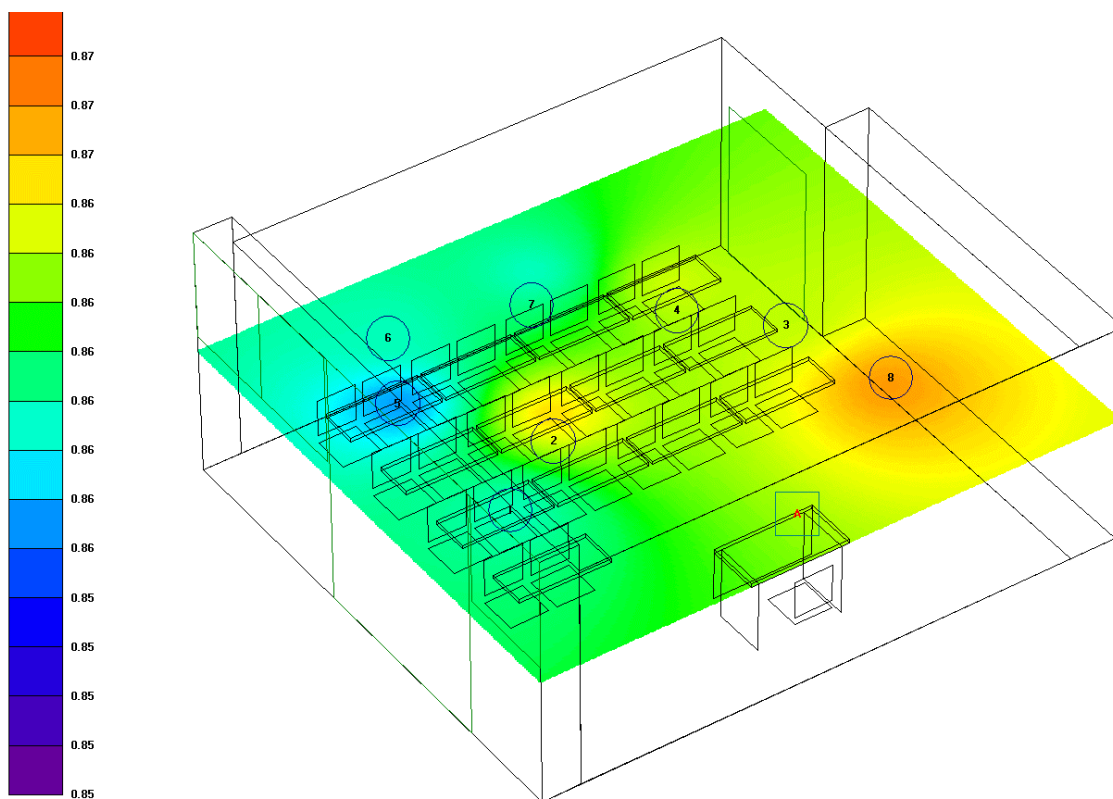
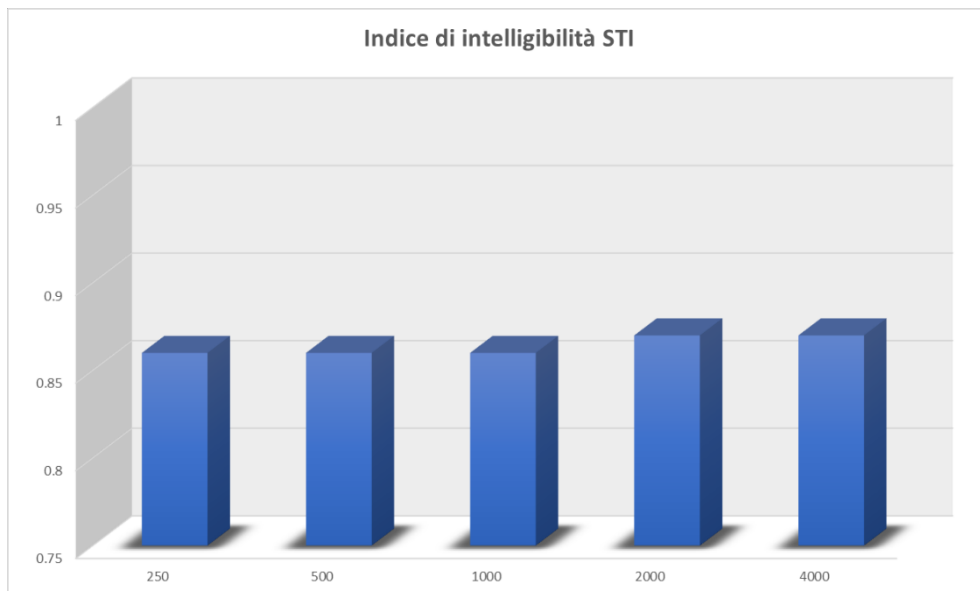


A seguito dell'informatizzazione dell'ambiente oggetto di valutazione nel software di previsione acustica si è proceduto alla determinazione dell'indice del tempo di riverberazione e dell'indice intelligibilità (STI) alle varie frequenze. Si riportano di seguito i risultati ottenuti dalle analisi effettuate.

Ambiente	T ₆₀ alle frequenze di terzi d'ottava (")						T ₆₀ medio(")
	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	
Aula 14	0,68	0,71	0,73	0,7	0,67	0,67	0,70

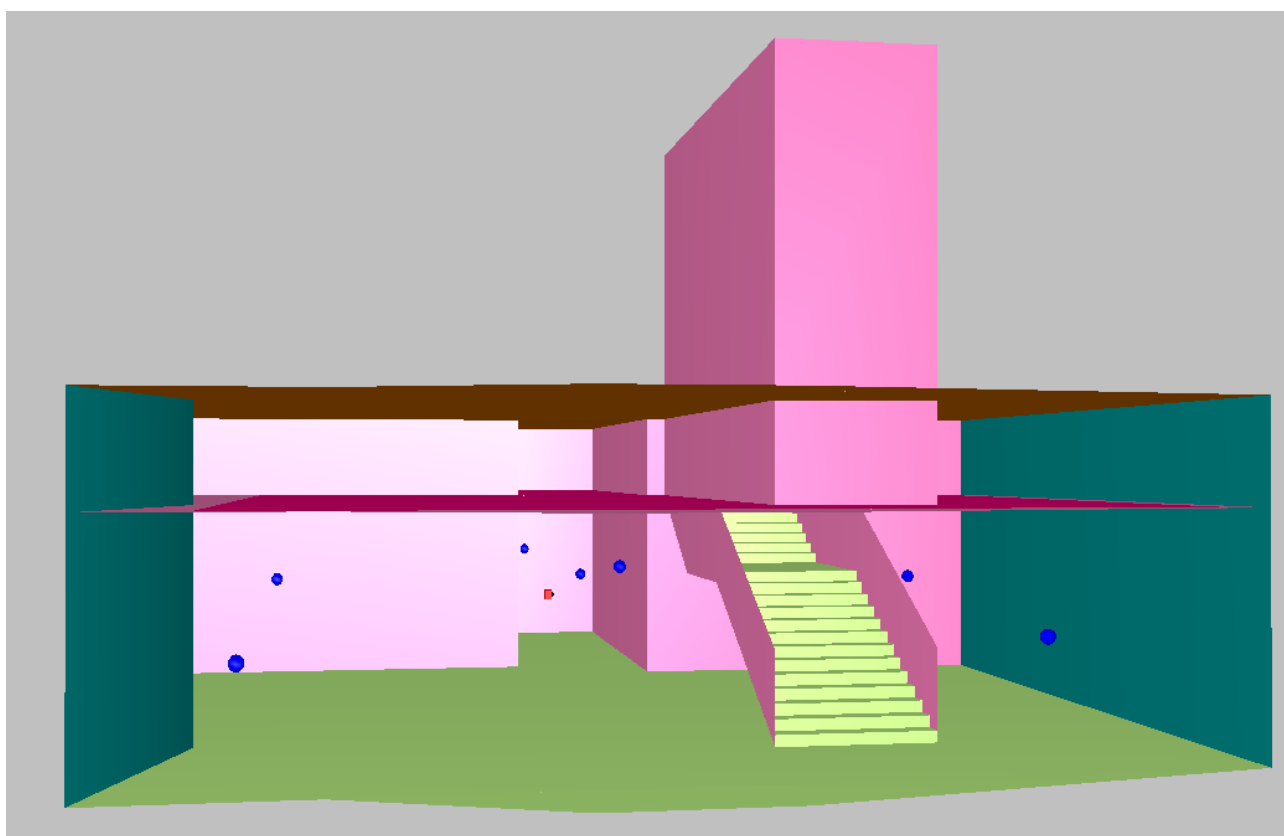
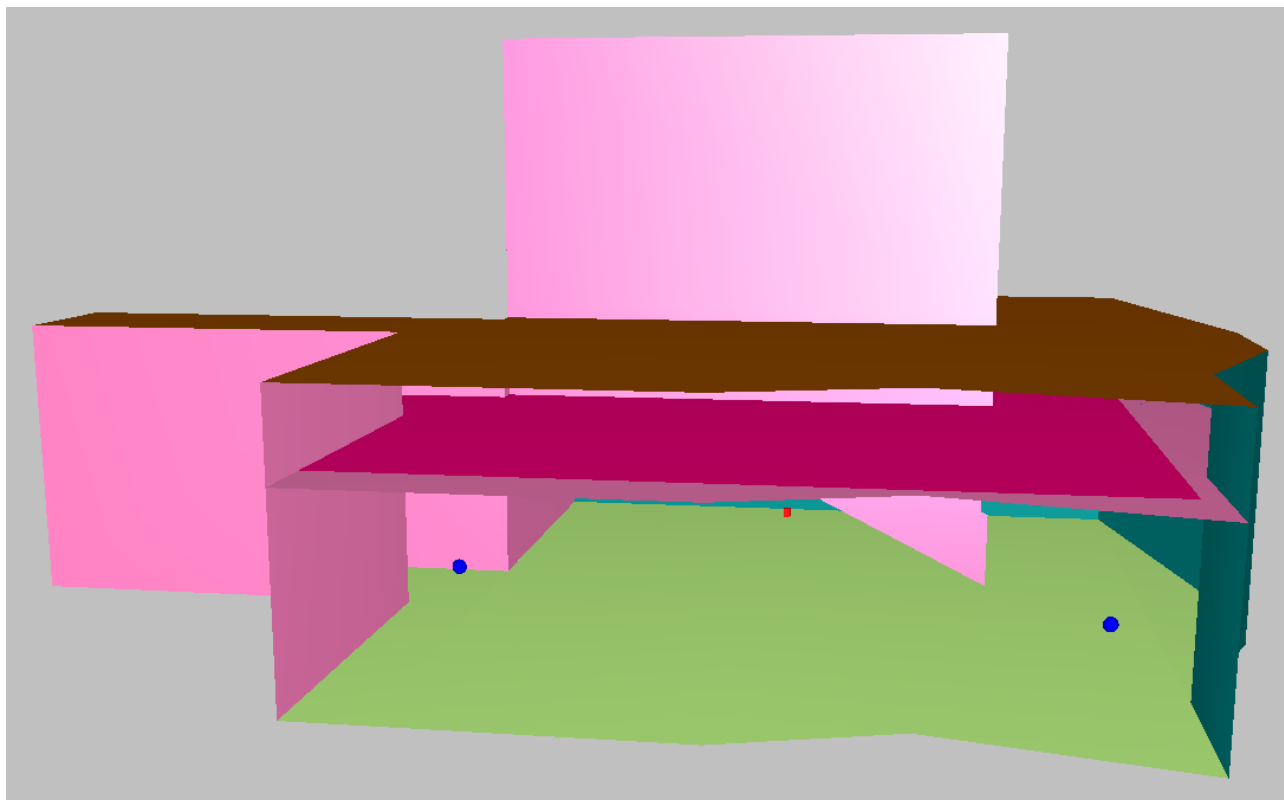


Ambiente	STI alle frequenze di terzi d'ottava (")						STI medio(")
	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	
Aula 14	0,85	0,86	0,86	0,86	0,87	0,87	0,86



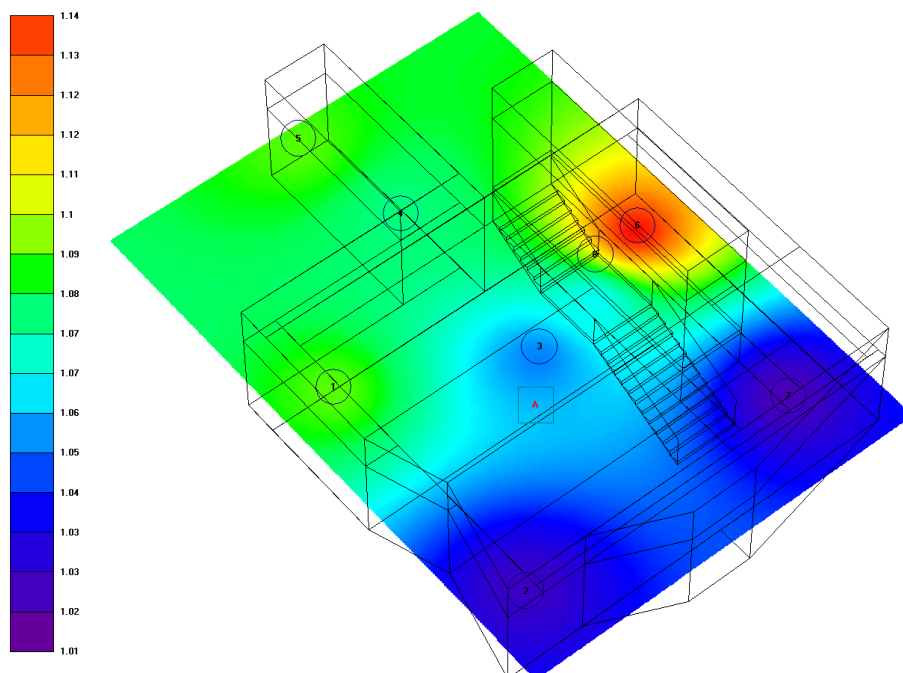
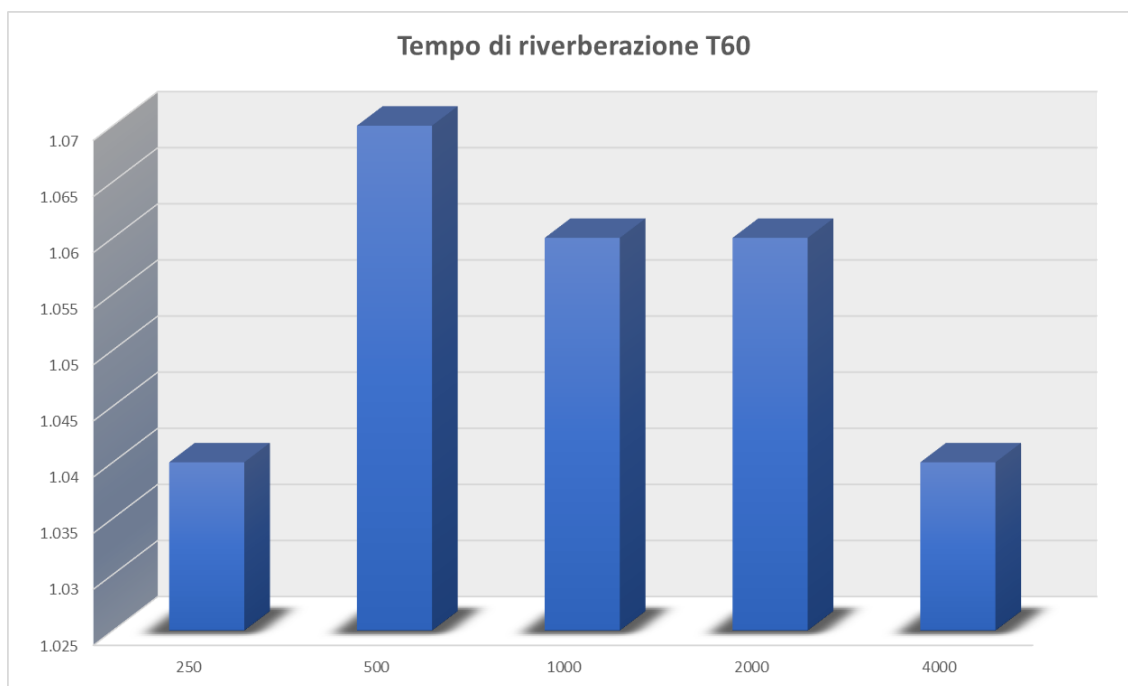
OPEN SPACE – PIANO TERRA

Si riporta un estratto della modellazione digitale sviluppata.

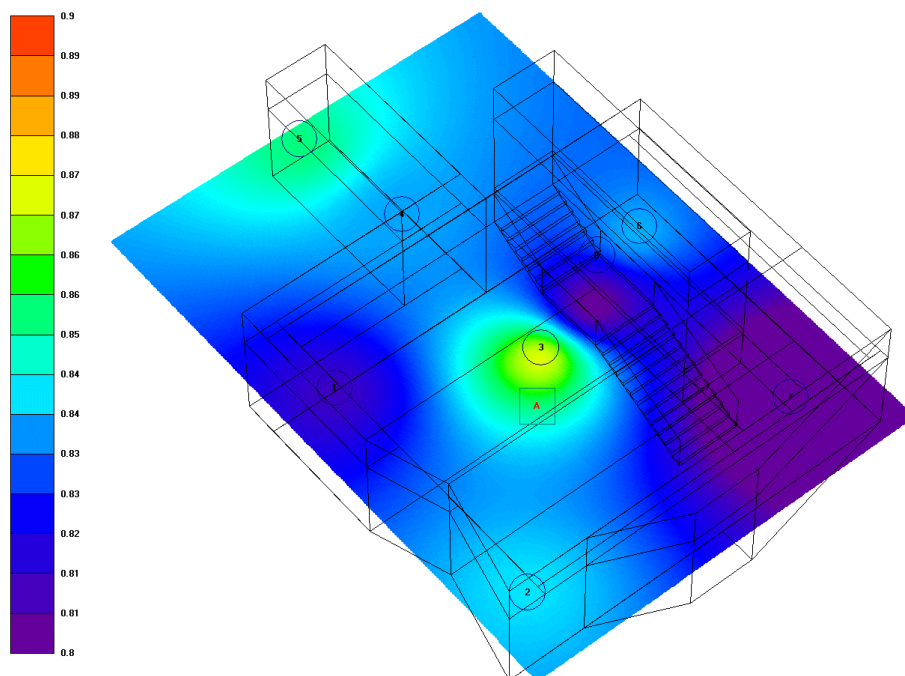
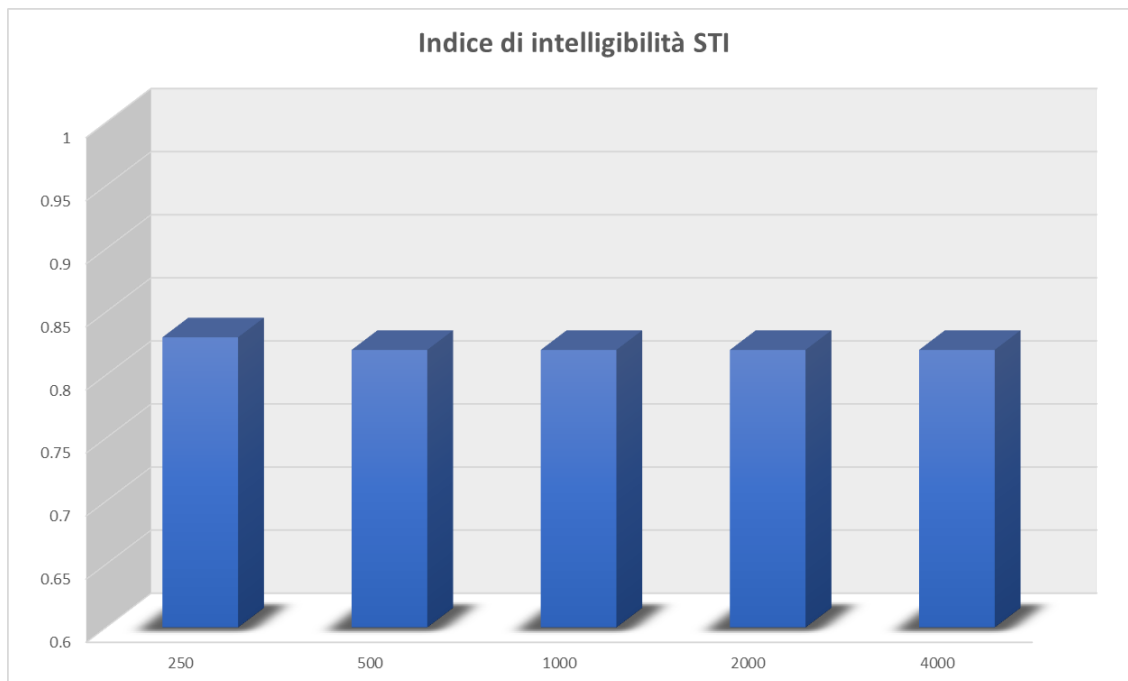


A seguito dell'informatizzazione dell'ambiente oggetto di valutazione nel software di previsione acustica si è proceduto alla determinazione dell'indice del tempo di riverberazione e dell'indice intelligibilità (STI) alle varie frequenze. Si riportano di seguito i risultati ottenuti dalle analisi effettuate.

Ambiente	T ₆₀ alle frequenze di terzi d'ottava (")						T ₆₀ medio(")
	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	
Open space - PT	0,95	1,04	1,07	1,06	1,06	1,04	1,05



Ambiente	STI alle frequenze di terzi d'ottava (")						STI medio(")
	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	
Open space - PT	0,85	0,83	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82





CONFRONTO DEGLI SCENARI PROGETTUALI CON I LIMITI DI NORMA

Si procede alla comparazione dei risultati ottenuti per gli indici considerati con i valori previsti dalla vigente Normativa per quanto attiene al Tempo di riverberazione e ottimali secondo UNI 11367 per quanto attiene all'indice di intelligibilità STI.

SCENARIO 01				
Ambiente	T ₆₀ medio (") [250 – 2000 Hz]	Circolare 3150 - T ₆₀ (") [250 – 2000 Hz]	T ₆₀ Scostamento (")	ESITO
AULA 14	0,70	1,20	-0,50	SODDISFATTOE
Ambiente	STI medio [250 – 2000 Hz]	STI ottimale [250 – 2000 Hz]	STI Scostamento	ESITO
AULA 14	0,86	> 0,60	+0,26	SODDISFATTO
Ambiente	T ₆₀ medio (") [250 – 2000 Hz]	Circolare 3150 - T ₆₀ (") [250 – 2000 Hz]	T ₆₀ Scostamento (")	ESITO
OPEN SPACE	1,05	1,20	-0,15	SODDISFATTOE
Ambiente	STI medio [250 – 2000 Hz]	STI ottimale [250 – 2000 Hz]	STI Scostamento	ESITO
OPEN SPACE	0,82	> 0,60	+0,22	SODDISFATTO

CONSIDERAZIONI

Come si evidenzia dai risultati soprariportati, nello scenario considerato, si è verificato il soddisfacimento dei limiti Normativi Vigenti previsti dal DPCM 5-12-97 e dalla richiamata Circolare 3150/67.

Si evidenzia altresì il sostanziale soddisfacimento di quanto previsto dal recente Decreto 11/10/2017 con riferimento alle Norme UNI 11367 e UNI 11532.

Si specifica inoltre che la verifica analitica previsionale è stata svolta considerando gli ambienti privi di persone, ciò al fine di poter paragonare quanto valutato analiticamente con un'eventuale verifica in opera che, in ottemperanza alle Norme tecniche di riferimento UNI EN ISO 140, UNI EN ISO 3383, UNI EN ISO 18233 ed alla Circolare 3150 del 22/05/1967, prevede la presenza nel locale all'atto delle verifiche al massimo di due persone.

Come già precedentemente indicato i risultati ottenuti possono essere associati altresì all'aula musica, anche per tale ambito i risultati ottenuti dall'analisi previsionale svolta evidenziano valori dei descrittori di riferimento qualitativi e conseguentemente adeguati all'insegnamento della materia musicale.

CONCLUSIONI

L'analisi peculiare degli indici di valutazione dei requisiti acustici passivi applicabili all'edificio in oggetto ha evidenziato i seguenti risultati.

Le stratigrafie previste per quanto attiene alla facciata verticale **consentono** di ottemperare ai requisiti previsti, relativamente l'indice di isolamento acustico standardizzato di facciata, dalla normativa di riferimento costituita dal D.P.C.M. 5 dicembre 1997.

Le stratigrafie previste per quanto attiene alle partizioni interne di separazione **consentono** di ottemperare ai requisiti previsti dal Decreto 11/10/2017 e conseguentemente dalla UNI 11367 – appendice A ed appendice B.

Le stratigrafie dei solai di separazione orizzontale, **consentono** di ottemperare ai requisiti previsti dal Decreto 11/10/2017 e conseguentemente dalla UNI 11367 – appendice A per quanto attiene al descrittore dell'isolamento acustico normalizzato $D_{nT,w}$.

Relativamente il descrittore del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato, la stratigrafia del solaio **consente** di soddisfare i requisiti di cui alla UNI 11367 – appendice A per la *“prestazione di base”*.

La verifica analitica dell'attenuazione del livello di pressione sonora emesso in ambiente scolastico da parte dell'UTA ha evidenziato la completa attenuazione, lungo la rete aeraulica, del livello di pressione sonora emesso dall'impianto.

Le caratteristiche fonoassorbenti degli elementi edilizi e di arredo costituenti il locale adibito ad insegnamento valutato **consentono** di ottemperare al requisito qualitativo del tempo di riverberazione T_{60} previsto dalla Circolare 3150/67, dal Decreto 11/10/2017 e conseguentemente dalla UNI 11367 e UNI 11532, relativamente l'open space del piano terra si evidenziano valori del Tempo di riverberazione e dell'indice di intelligibilità STI qualitativamente in linea con le indicazioni Normative soprarichiamate.

Si precisa che a seguito di eventuali varianti architettoniche, interessanti aspetti connessi con la materia in esame, si dovrà procedere alla definizione ed alla comunicazione delle relative varianti di isolamento acustico

Pieve di Soligo, 24 Settembre 2019

ALLEGATO 01

Attestato di riconoscimento del Tecnico Competente in Acustica Ambientale.



REGIONE DEL VENETO
A.R.P.A.V.



AGENZIA REGIONALE PER LA PREVENZIONE E PROTEZIONE AMBIENTALE DEL VENETO

*Riconoscimento della figura di Tecnico Competente in Acustica
Ambientale, artt. 6, 7 e 8 della Legge 447/95*

*Si attesta che Cristian Bortot, nato/a a Soligo (TV) il 28/04/74 è stato/a
inserito/a con deliberazione A.R.P.A.V. n.372 del 28 maggio 2002 nell'elenco dei
Tecnici Competenti in Acustica Ambientale ai sensi dell'art.2 commi 6 e 7 della
Legge 447/95 con il numero 45.*

A.R.P.A.V.

Il Responsabile dell'Osservatorio Regionale Agenti Fisici

Enio Trovati

A.R.P.A.V.

Piazzale Stazione, 1 - 35131 Padova

Direzione Generale Tel. 049/8239301 Direzione Area Amministrativa Tel. 049/8239302

Direzione Area Tecnico-Scientifica Tel. 049/8239303 Direzione Area Ricerca e Informazione Tel. 049/8239304

Fax 049/660966



(index.php) / Tecnici Competenti in Acustica (tecnici_viewlist.php) / Vista

Numero Iscrizione Elenco Nazionale	605
Regione	Veneto
Numero Iscrizione Elenco Regionale	45
Cognome	Bortot
Nome	Cristian
Titolo studio	Diploma di perito industriale capotecnico
Luogo nascita	Farra di Soligo
Data nascita	28/04/1974
Codice fiscale	BRTCST74D28D505M
Regione	Veneto
Provincia	TV
Comune	Farra di Soligo
Via	Via Martiri della Libertà
Cap	31020
Civico	15
Nazionalità	IT
Email	bortot@studiosinthesi.it
Pec	cristian.bortot@pec.eppi.it
Telefono	
Cellulare	348-1554816
Data pubblicazione in elenco	10/12/2018