



PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA (PNRR)
MISSIONE M2 – COMPONENTE C3 – INVESTIMENTO 1.1
Costruzione di nuove scuole mediante sostituzione di edifici

CUP F72C22000050006

IL RICHIEDENTE

IL PROGETTISTA

REV	DATA / DATE:	DESCRIZIONE / DESCRIPTION:

Progettazione Architettonica

cm2 Associati
Via Castel Morrone 2, 20129, Milano
T +39 02 29 00 30 54 | www.cm-2.it

Arch. Marco Luigi Oriani
Arch. Francesco Adorni

**Progettazione Architettonica
Coordinamento della Sicurezza**

Bernardi Massimo Geom.
Via Castel Morrone 2, 20129, Milano
T +39 02 29 00 30 54

IGeom. Bernardi Massimo

Progettazione Acustica

P2A DESIGN
Via Monte Nevoso, 16, 20131, Milano

Arch. Alessandro Pasini

COMMITTENTE / CLIENT:

Comune di Toano
Corso Trieste n. 65 Toano (RE)

PROGETTO / PROJECT:

Scuola Primaria "M. Tori" di Cerredolo
Comune di Toano (RE)

PROGETTISTA / DESIGNER:

CM2 Associati - Francesco Adorni - Iscritto all'Ordine degli Architetti di Milano n°11187

OGGETTO / OBJECT:

Progetto Esecutivo

TITOLO / DESCRIPTION:

Studio Acustico

DISEGNATO DA:

DRAWN BY:

Author

CONTROLLATO DA:

CHECKED BY:

Checker

DATA/ DATE:

06/07/2023

SCALA / SCALE:

DATA REV.:

FORMAT:

A4

NOME FILE / FILE NAME:

2208_CM2_DO-E-RT-02

COMMESSA / JOB:

2208

TAVOLA / DRAWING:

DO-E-RT-02

REV.:

STUDIO ACUSTICO

(D.P.C.M. 05/12/1997 – D.M. 23/06/2022)

Committente:

Comune di Toano
Corso Trieste, 65
42010 Toano (RE)

Progettista:

CM2 Associati - arch. Francesco Adorni
Via Castel Morrone, 2
Milano

Oggetto d'indagine:

progetto di nuovo edificio scolastico
Scuola Primaria "M. Tori" di Cerredolo
Toano (RE)

Data:

06/07/2023

Revisione:

00



Condotto da:

Dott. Arch. Alessandro Pasini
Tecnico Competente in acustica ambientale
ENTECA n° 2033 del 10/12/2018

SOMMARIO

1. INQUADRAMENTO NORMATIVO	3
1.1. D.P.C.M. 05/12/1997	3
1.2. D.M. 23/06/2022	5
2. PROGETTO IN ESAME	7
3. REQUISITI E LIMITI ACUSTICI NEL CASO IN ESAME	8
4. METODI PREVISIONALI	11
5. ISOLAMENTO ACUSTICO PER VIA AEREA TRA AMBIENTI SOVRAPPOSTI	12
6. ISOLAMENTO ACUSTICO PER VIA AEREA TRA AMBIENTI ADIACENTI NON COMUNICANTI	17
7. ISOLAMENTO ACUSTICO PER VIA AEREA TRA AMBIENTI ADIACENTI COMUNICANTI	20
8. RUMORE DI CALPESTIO	25
9. ISOLAMENTO ACUSTICO DI FACCIATA	27
10. RUMORE DI IMPIANTI A FUNZIONAMENTO CONTINUO (AMBIENTE NON SERVITO)	32
11. RUMORE DI IMPIANTI A FUNZIONAMENTO CONTINUO (AMBIENTE SERVITO)	36
12. RUMORE DI IMPIANTI A FUNZIONAMENTO DISCONTINUO	41
13. INTELLIGIBILITÀ DEL PARLATO	42
14. RIVERBERAZIONE	43
15. RUMOROSITÀ IN AMBIENTE	47
16. CONFRONTO CON I REQUISITI E LIMITI ACUSTICI APPLICABILI	49
ALLEGATO A: IMPATTO ACUSTICO	50
ALLEGATO B: INDICAZIONI PER IMPIANTI A FUNZIONAMENTO CONTINUO	56
ALLEGATO C: INDICAZIONI PER IMPIANTI A FUNZIONAMENTO DISCONTINUO	63
ALLEGATO D: MISURA DI CLIMA ACUSTICO NELLO STATO DI FATTO	73

1. INQUADRAMENTO NORMATIVO

1.1. D.P.C.M. 05/12/1997

La Legge n. 447/1995 *“Legge quadro sull’inquinamento acustico”* ha attribuito allo Stato la competenza per *“la determinazione (...) dei requisiti acustici delle sorgenti sonore e dei requisiti acustici passivi degli edifici e dei loro componenti, allo scopo di ridurre l’esposizione umana al rumore”* (art. 3, comma 1, lettera e).

Conseguentemente, il D.P.C.M. 05/12/1997 *“Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici”* ha stabilito valori limite per i seguenti parametri:

- **R’_w**: indice di valutazione del potere fonoisolante apparente di una partizione.
Il decreto specifica che il valore limite di tale parametro si applica solo a elementi di separazione tra due distinte unità immobiliari.
- **D_{2m,nT,w}**: indice di valutazione dell’isolamento acustico di facciata, normalizzato rispetto al tempo di riverberazione.
- **L’_{n,w}**: indice di valutazione del livello di rumore di calpestio.
N.B. Secondo il parere del Ministero dell’Ambiente n. 25041 del 29/07/2014, *“i solai interni ad una stessa unità immobiliare non sono assoggettabili a limitazioni nei confronti del rispetto dell’Indice di valutazione del rumore di calpestio”*.
- **L_{ASmax}**: livello massimo di pressione sonora ponderata A con costante di tempo slow.
Il decreto specifica che:
 - il valore limite di tale parametro si applica ai seguenti impianti tecnologici a funzionamento discontinuo: ascensori, scarichi idraulici, servizi igienici e rubinetteria;
 - *“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”*.
- **L_{Aeq}**: livello continuo equivalente di pressione sonora, ponderata A.
Il decreto specifica che:
 - il valore limite di tale parametro si applica ai seguenti impianti tecnologici a funzionamento continuo: impianti di riscaldamento aerazione e condizionamento;
 - *“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”*. Ne consegue che il limite non si applica alle sorgenti di rumore di impianti a funzionamento continuo presenti all’interno dell’ambiente in esame (ad es. fan coils e diffusori d’aria).

Il Ministero dell’Ambiente, con il documento n° DVA-2010-0020117 del 13.08.2010, ha chiarito quanto segue: *“Si ritiene che i criteri stabiliti dal D.P.C.M. 5/12/97 non si applicano ai locali adiacenti appartenenti alla stessa unità immobiliare in quanto le disposizioni dello stesso si intendono riferite a unità immobiliari differenti”*.

Per la definizione di unità immobiliare fa fede la seguente, formulata nel Decreto del Ministro delle Finanze 02.01.1998, n. 28 e richiamata nelle vigenti norme in materia di tutela dall’inquinamento acustico:

“L’unità immobiliare è costituita da una porzione di fabbricato, o da un fabbricato, o da un insieme di fabbricati ovvero da un’area, che, nello stato in cui si trova e secondo l’uso locale, presenta potenzialità di autonomia funzionale e reddituale”.

La definizione tecnico-operativa dei suddetti parametri acustici è oggetto di specifiche norme tecniche, redatte da enti italiani, europei ed internazionali di normazione (UNI, CEN e ISO), che hanno subito revisioni successive negli anni. Attualmente, le norme di riferimento sono:

- UNI 11367 per i termini e le definizioni;
- serie UNI EN ISO 12354, UNI EN ISO 717 e UNI 11175 per le analisi in sede previsionale;
- serie UNI EN ISO 16283 e UNI EN ISO 717 per le analisi in sede di collaudo in opera per i parametri R'_w , $D_{2m,nT,w}$, $L'_{n,w}$;
- UNI EN ISO 16032, UNI EN ISO 10052 e UNI 11367 per le analisi in sede di collaudo in opera per i parametri L_{A5max} e L_{Aeq} .

Il rispetto dei limiti stabiliti dal D.P.C.M. 05/12/1997 per i parametri suindicati è richiesto per i soli ambienti abitativi, come definiti dalle norme vigenti in materia di tutela dall'inquinamento acustico:

- Legge n. 447/1195:
Ambiente abitativo: *“ogni ambiente interno ad un edificio destinato alla permanenza di persone o di comunità ed utilizzato per le diverse attività umane”*.
- UNI 11367:2010:
Ambiente abitativo: *“Porzione di unità immobiliare completamente delimitata destinata al soggiorno e alla permanenza di persone per lo svolgimento di attività e funzioni caratterizzanti la destinazione d'uso”*.

Dagli ambienti abitativi sono distinti gli ambienti accessori o di servizio, così definiti dalla norma UNI 11367:2010:

“Ambiente accessorio o di servizio: porzione di unità immobiliare (se di utilizzo individuale) o di sistema edilizio (se di utilizzo comune o collettivo) con funzione diversa da quella abitativa ovvero non destinato allo svolgimento di attività e funzioni caratterizzanti la destinazione d'uso. Sono ambienti accessori gli spazi completamente o parzialmente delimitati destinati al collegamento degli ambienti abitativi ed alla distribuzione orizzontale e verticale all'interno del sistema edilizio, nonché gli spazi destinati a deposito, immagazzinamento e rimessaggio. Sono ambienti di servizio gli spazi completamente delimitati destinati ad ospitare elementi tecnici connessi con il sistema edilizio (per esempio vani ascensore, vani scala, ecc) e quelli specializzati a fornire servizi richiesti da particolari attività degli utenti, quali i servizi igienici, i locali tecnici degli edifici, i ripostigli anche interni all'unità abitativa, ecc”.

I limiti stabiliti dal D.P.C.M. 05/12/1997 sono differenziati in funzione della destinazione d'uso degli edifici, come indicato nelle tabelle A e B del decreto, riportate qui di seguito.

TABELLA A - CLASSIFICAZIONE 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 TECN.

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

* Il limite di 35 dB(A) riportato nella tabella B del D.P.C.M. 05/12/1997 è in contraddizione con la precedente indicazione, contenuta all'interno del testo del medesimo decreto sotto la voce "rumore prodotto dagli impianti tecnologici", del limite di 25 dB(A). Per dirimere tale contraddizione, a livello ministeriale sono state formulate le seguenti indicazioni:

- Ministero dell'Ambiente, circolare n° 880/SIAR/99 del 09.03.1999:

"Il valore di L_{Aeq} indicato in 25 dB(A) alla voce: "rumore prodotto dagli impianti tecnologici" dell'allegato A, viene poi indicato in maniera differenziata ai "requisiti acustici passivi degli edifici, dei loro componenti e degli impianti tecnologici" della tabella B. Trattasi questo di mero lapsus calami di cui, più volte, è stata richiesta a codesto Ufficio una errata corrice da ufficializzare sulla G.U."

- Ministero dell'Ambiente, documento n° DVA-2010-0020117 del 13.08.2010:

"Domanda: Nelle abitazioni il requisito di rumorosità (L_{Aeq}) degli impianti a funzionamento continuo, stabilito dal D.P.C.M. 5/12/97, è 25 dB o 35 dB?"

Risposta: Ai sensi dell'art. 2 del DPCM 5/12/97, le grandezze cui far riferimento nella determinazione del limite di rumorosità prodotta dagli impianti a funzionamento continuo o discontinuo sono definite nell'Allegato A, che costituisce parte integrante del Decreto. Come stabilito nel suindicato Allegato, per gli impianti a funzionamento continuo il limite previsto è pari a 25 dB(A) L_{Aeq} ."

1.2. D.M. 23/06/2022

Nell'ambito dell'edilizia pubblica si applicano i Criteri Ambientali Minimi (CAM) per l'affidamento del servizio di progettazione di interventi edilizi, ai sensi del vigente D.M. 23/06/2022.

Tra i CAM rientra la voce "Prestazioni e comfort acustici" (capitolo 2.4.11 dell'allegato al decreto), con le seguenti prescrizioni.

Criterio

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

prospetto A.1 dell'Appendice A di tale norma e rispettano, inoltre, i valori caratterizzati come "prestazione buona" nel prospetto B.1 dell'Appendice B di tale norma. Le scuole soddisfano almeno i valori di riferimento di requisiti acustici passivi e comfort acustico interno indicati nella UNI 11532-2.

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

Nel caso di interventi su edifici esistenti, si applicano le prescrizioni sopra indicate se l'intervento riguarda la ristrutturazione totale degli elementi edilizi di separazione tra ambienti interni ed ambienti esterni o tra unità immobiliari differenti e contermini, la realizzazione di nuove partizioni o di nuovi impianti.

Per gli altri interventi su edifici esistenti va assicurato il miglioramento dei requisiti acustici passivi preesistenti. Detto miglioramento non è richiesto quando l'elemento tecnico rispetti le prescrizioni sopra indicate, quando esistano vincoli architettonici o divieti legati a regolamenti edilizi e regolamenti locali che precludano la realizzazione di soluzioni per il miglioramento dei requisiti acustici passivi, o in caso di impossibilità tecnica ad apportare un miglioramento dei requisiti acustici esistenti degli elementi tecnici coinvolti. La sussistenza dei precedenti casi va dimostrata con apposita relazione tecnica redatta da un tecnico competente in acustica di cui all'articolo 2, comma 6 della legge 26 ottobre 1995, n. 447. Anche nei casi nei quali non è possibile apportare un miglioramento, va assicurato almeno il mantenimento dei requisiti acustici passivi preesistenti.

Verifica

La Relazione CAM, di cui criterio "2.2.1-Relazione CAM", illustra in che modo il progetto ha tenuto conto di questo criterio progettuale e prevede anche una relazione acustica di calcolo previsionale redatta da un tecnico competente in acustica secondo le norme tecniche vigenti; in fase di verifica finale della conformità è prodotta una relazione di collaudo basata su misure acustiche in opera eseguite da un tecnico competente in acustica secondo le norme tecniche vigenti.

2. PROGETTO IN ESAME

Il progetto in esame consiste nella realizzazione di un nuovo edificio scolastico, così costituito.

Piano terra (P0)

- Aula Sud (45 mq)
- Attività integrative (37 mq)
- Aula Nord (46 mq)
- Connettivo (17 mq)
- Bidelleria (3 mq)
- Locali tecnici, di servizio e accessori

Piano primo (P1)

- Aula Sud (45 mq)
- Interciclo (27 mq)
- Attività integrative (10 mq)
- Connettivo (27 mq)
- Mensa (66 mq)
- Locali di servizio e accessori

Piano secondo (P2)

- Aula Sud (45 mq)
- Aula Nord (45 mq)
- Interciclo (26 mq)
- Connettivo (28 mq)
- Aula insegnanti (21 mq)
- Locali di servizio e accessori

3. REQUISITI E LIMITI ACUSTICI NEL CASO IN ESAME

Il seguente prospetto espone i requisiti e limiti acustici applicabili nel caso in esame, a tutela dei soli ambienti abitativi (aule, interciclo, aula insegnanti, mensa).

LEGENDA

A	area di assorbimento acustico equivalente (in mq)
C50	Chiarezza (in dB)
$D_{2m,nT,w}$	indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverberazione (in dB)
$D_{nT,w}$	indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato rispetto al tempo di riverberazione (in dB)
h	altezza media dell'ambiente (in m)
L_{Aeq}	livello continuo equivalente di pressione sonora ponderata A (in dBA)
L_{amb}	livello di rumore in ambiente (in dBA)
L_{ASmax}	livello massimo di pressione sonora ponderata A con costante di tempo slow (in dBA)
L_{ic}	livello di rumore di impianto a funzionamento continuo misurato in un ambiente diverso da quello servito (in dBA)
$L_{ic,int}$	livello di rumore di impianto a funzionamento continuo misurato nell'ambiente servito (in dBA)
$L'_{n,w}$	indice di valutazione del livello di rumore di calpestio normalizzato (in dB)
NC	Noise Criteria (adimensionale)
STI	Speech Transmission Index (adimensionale)
T	tempo di riverberazione (in s)
V	volume (in mc)

Requisito acustico	Limite acustico	Riferimento normativo	Note
Isolamento acustico tra ambienti sovrapposti	$D_{nT,w} \geq 55$ dB	DM 23/06/2022 & UNI 11367 prospetto A.1	-
Isolamento acustico tra ambienti adiacenti non comunicanti	$D_{nT,w} \geq 50$ dB	DM 23/06/2022 & UNI 11367 prospetto A.1	-
Isolamento acustico tra ambienti adiacenti comunicanti	$D_{nT,w} \geq 30$ dB	DM 23/06/2022 & UNI 11367 prospetto B.1	-

CONTINUA

CONTINUA

Requisito acustico		Limite acustico	Riferimento normativo	Note
Rumore di calpestio		$L'_{n,w} \leq 53$ dB	DM 23/06/2022 & UNI 11367 prospetto A.1	1
Isolamento acustico di facciata		$D_{2m,nT,w} \geq 48$ dB	DPCM 5/12/1997	-
Rumore di impianti a funzionamento continuo (ambienti diversi da quello servito)		$L_{A,eq} \leq 25$ dBA	DPCM 5/12/1997	2
		$L_{ic} \leq 28$ dBA	DM 23/06/2022 & UNI 11367 prospetto A.1	3
Rumore di impianti a funzionamento continuo (ambiente servito)	Aule	$L_{ic,int} \leq 34$ dBA NC ≤ 25	DM 23/06/2022 & UNI 11532-2	4
	Altri ambienti	$L_{ic,int} \leq 45$ dBA NC ≤ 35		
Rumore di impianti a funzionamento discontinuo		$L_{ASmax} \leq 35$ dB	DPCM 5/12/1997	2
		$L_{id} \leq 34$ dB	DM 23/06/2022 & UNI 11367 prospetto A.1	-
Intelligibilità del parlato	Aule (cat. A2) Interciclo (cat. A3) Aula insegnanti (cat. A3)	STI ≥ 0.55 C50 ≥ 2 dB	DM 23/06/2022 & UNI 11532-2	5
Riverberazione	Aule (cat. A2)	$T \leq (0.37 \log V - 0.14)$ s	DM 23/06/2022 & UNI 11532-2	6
	Interciclo (cat. A3) Aula insegnanti (cat. A3)	$T \leq (0.32 \log V - 0.17)$ s		
	Mensa (cat. A6.5)	$A/V \geq [1.47 + 4.69 \log(h)]^{-1}$	DM 23/06/2022 & UNI 11532-2	7
Rumorosità in ambiente	Aule	$L_{amb} \leq 38$ dBA	DM 23/06/2022 & UNI 11532-2	8
	Altri ambienti	$L_{amb} \leq 48$ dBA		

Note

- La norma UNI 11367 specifica che *“non sono stati definiti valori di riferimento per il livello sonoro al calpestio di ambienti adiacenti all’interno della stessa unità immobiliare, poiché è prassi attualmente molto diffusa realizzare solai con massetto di ripartizione continuo: e per queste tipologie costruttive i dati attualmente disponibili non consentono di stabilire criteri condivisi”*. Il requisito si applica quindi ai soli ambienti sovrapposti.
- Il DPCM 5/12/1997 specifica che *“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”*.

3. La norma UNI 11367 specifica che *“il livello sonoro immesso da un impianto a servizio (...) di un’aula o di aule polifunzionali separate da strutture mobili, deve essere valutato all’interno di ambienti acusticamente verificabili diversi dall’ambiente servito”*.
4. I parametri $L_{ic,int}$ e NC sono tra loro alternativi.
5. Il valore di riferimento è riferito ad ambiente arredato non occupato. Il limite relativo al parametro C50 è riferito alla media aritmetica dei valori rilevati (come media aritmetica dei valori nelle bande d’ottava 500-1000-2000 Hz) nelle “Posizioni di misura” indicate nella norma.
6. Il valore di riferimento è riferito ad ambiente arredato e occupato all’80% della capienza a progetto. La norma UNI 11532-2 indica la modalità di conversione tra i valori nello stato occupato e quelli nello stato non occupato, nonché l’andamento e l’intervallo di conformità del tempo di riverberazione in funzione della frequenza.
7. Il valore di riferimento si applica nelle singole ottave da 250 Hz a 2000 Hz senza considerare l’assorbimento acustico delle persone.
8. La rumorosità in ambiente L_{amb} è data dalla sommatoria del rumore prodotto dagli impianti in funzione e del rumore immesso dall’esterno (rumore residuo), come specificato nella norma UNI 11532-2.

4. METODI PREVISIONALI

Segue l'indicazione dei metodi previsionali utilizzati in questa sede per il calcolo dei requisiti acustici indicati nel capitolo precedente.

Requisito acustico		Metodo previsionale
Isolamento acustico per via aerea tra ambienti sovrapposti	$D_{nT,w}$	UNI EN ISO 12354-1
Isolamento acustico per via aerea tra ambienti adiacenti non comunicanti	$D_{nT,w}$	UNI EN ISO 12354-1
Isolamento acustico per via aerea tra ambienti adiacenti comunicanti	$D_{nT,w}$	UNI EN ISO 12354-1
Rumore di calpestio	$L'_{n,w}$	UNI EN ISO 12354-2
Isolamento acustico di facciata	$D_{2m,nT,w}$	UNI EN ISO 12354-3
Rumore di impianti a funzionamento continuo (ambienti diversi da quello servito)	$L_{A,eq}$	UNI EN 12354-5
	L_{ic}	UNI EN 12354-5
Rumore di impianti a funzionamento continuo (ambiente servito)	$L_{ic,int}$ NC	UNI EN 12354-5
Rumore di impianti a funzionamento discontinuo	L_{ASmax}	UNI EN 12354-5
	L_{id}	UNI EN 12354-5
Intelligibilità del parlato	STI C50	UNI 11532-1
Riverberazione	T	UNI EN 12354-6
	A/V	-
Rumorosità in ambiente	L_{amb}	UNI EN ISO 12354-4 + UNI EN 12354-5

5. ISOLAMENTO ACUSTICO PER VIA AEREA TRA AMBIENTI SOVRAPPosti

TRASMISSIONE DIRETTA

Superiormente ad ogni ambiente abitativo, il divisorio (solaio interpiano) presenta la seguente stratigrafia:

strato	spessore
finitura: linoleum incollato	5 mm
massetto autolivellante ca. 2000 kg/mq con annegati tubi radianti \varnothing 15 mm	\geq 35 mm
pannello EPS	20 mm
materassino anticalpestio $s' \leq 25$ MN/mc (tipo Index Fonostop Duo)	5 mm
massetto alleggerito ca. 600 kg/mc per rasatura impianti	65 mm
solaio in predalles ≥ 300 kg/mq	300 mm
controsoffitto fonoassorbente	Var.

L'indice di valutazione del potere fonoisolante è valutato $R_w = 60.6$ dB.

Riferimenti:

Calcolo di R_w secondo la norma UNI 11175:2021

- Struttura di base: solaio in predalles (da banca dati ANDIL):

$$R_{wBASE} = 53.5 \text{ dB.}$$

- Strato addizionale: pavimento galleggiante:

$$f_0 = 160 \sqrt{s' \left(\frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} \leq 160 \sqrt{25 \left(\frac{1}{300} + \frac{1}{70} \right)} = 106 \text{ Hz}$$

$$\Delta R_w = 74.4 - 20 \log(f_0) - R_{wBASE} / 2 = 74.4 - 20 \log(106) - 53.5 / 2 = 7.1 \text{ dB.}$$

- Struttura di base + strato addizionale:

$$R_w = R_{wBASE} + \Delta R_w = 53.5 + 7.1 = 60.6 \text{ dB.}$$

TRASMISSIONE INDIRETTA

Le strutture edilizie laterali rispetto al percorso diretto di trasmissione (solaio interpiano) presentano le seguenti stratigrafie.

Pilastri e setti in c.a.

strato	spessore
cappotto termico esterno	...
intonaco esterno	15 mm
c.a.	300 mm
intonaco interno	15 mm

L'indice di valutazione del potere fonoisolante è valutato $R_w = 56.8$ dB.

Riferimenti:

Calcolo di R_w secondo la norma UNI 11175:2021

$$R_w = 20\log(m') = 20\log(2300 \cdot 0.30) = 56.8 \text{ dB.}$$

Facciata

strato	spessore
cappotto termico esterno	...
intonaco esterno	15 mm
laterizio alleggerito in pasta in blocchi forati termoisolanti (600÷660 kg/mc)	300 mm
intonaco interno	15 mm

L'indice di valutazione del potere fonoisolante è valutato $R_w = 47.7$ dB.

Riferimenti:

Calcolo di R_w secondo la norma UNI 11175:2021

$$R_w = 20\log(m') = 20\log(244.1) = 47.7 \text{ dB.}$$

Partizione interna a secco (DW01)

strato	spessore
lastra di cartongesso	12.5 mm
orditura con lana di vetro	100 mm
lastra di cartongesso	12.5 mm

L'indice di valutazione del potere fonoisolante è valutato $R_w = 46$ dB.

Riferimenti:

Catalogo di produttore tipo (Etex Siniat)

TRASMISSIONE COMPLESSIVA

L'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente (R'_w), che risente sia della trasmissione diretta attraverso il divisorio sia della trasmissione indiretta attraverso le strutture laterali, è stato determinato in sede previsionale secondo il modello di calcolo delle norme UNI EN ISO 12354-1:2017 e UNI 11175-1:2021, relativamente alle seguenti situazioni (situazioni tipo / situazioni più svantaggiose):

- tra aula Sud al P2 e aula Sud al P1
- tra aula Sud al P1 e aula Sud al P0

Seguono i calcoli effettuati.

Partizione n° 1

Ambiente emittente: aula Sud al P2

Ambiente ricevente: aula Sud al P1

Parametro R'_w

ELEMENTI: dimensioni, R_w e ΔR_w						
	descrizione	m'	S_s	ΔR_w_D	ΔR_w_d	R_w
		(kg/mq)	(mq)	(dB)	(dB)	(dB)
Dd	divisorio	300	45,00	7,1	0,0	53,5
		m'	l_r	ΔR_w		R_w
		(kg/mq)	(m)	(dB)		(dB)
F1	pilastrini e setti in c.a.	690	7,36	0,0		56,8
F2	facciata	244	6,90	0,0		47,7
F3	partizione interna a secco	18	12,48	0,0		46,0
f1	pilastrini e setti in c.a.	690	7,36	0,0		56,8
f2	facciata	244	6,90	0,0		47,7
f3	partizione interna a secco	18	12,48	0,0		46,0

Determinazione di ΔR_w							
	m'	s'	d	fissato all'elemento	f_0	ΔR_w	
	(kg/mq)	(MN/mc)	(m)		(Hz)	(2002) (dB)	(2017) (dB)
D	70,0	25,0	0,005	SI	106	3,3	7,1
d	-	-	-	-	-	-	-
F1	-	-	-	-	-	-	-
F2	-	-	-	-	-	-	-
F3	-	-	-	-	-	-	-
f1	-	-	-	-	-	-	-
f2	-	-	-	-	-	-	-
f3	-	-	-	-	-	-	-

PERCORSI DI TRASMISSIONE: $R_{ij,w}$										
	$R_{i,w}$	$R_{j,w}$	$\Delta R_{ij,w}$	giunto	Δ_{resil}	$m'i$	$m'Li$	M	K_{ij}	$R_{ij,w}$
	dB	dB	dB		dB	(kg/mq)	(kg/mq)	-	dB	dB
Dd	53,5		7,1							60,6
Df1	53,5	56,8	7,1	TL	0,0	300	690	0,36	6,45	76,6
Df2	53,5	47,7	7,1	TL	0,0	300	244	-0,09	5,75	71,6
Df3	53,5	46,0	7,1	DSL	0,0	300	18	-1,22	22,22	84,7
F1d	56,8	53,5	0,0	TL	0,0	690	300	-0,36	6,45	69,4
F2d	47,7	53,5	0,0	TL	0,0	244	300	0,09	5,75	64,5
F3d	46,0	53,5	0,0	DSL	0,0	18	300	1,22	22,22	77,5
F1f1	56,8	56,8	0,0	Td	0,0	690	300	-0,36	1,35	66,0
F2f2	47,7	47,7	0,0	Td	0,0	244	300	0,09	7,01	62,9
F3f3	46,0	46,0	0,0	Dsdi	0,0	18	300	1,22	34,44	86,0
R'_w (dB)						56,6				

Si calcola quindi $D_{nT,w} = 56.4$ dB:

$$D_{nT,w} = R'_w - 10 \log \frac{S \cdot T_0}{0.16 \cdot V} = 56.6 - 10 \log \frac{0.5}{0.16 \cdot 3} = 56.4 \text{ dB}$$

Partizione n° 2

Ambiente emittente: aula Sud al P1

Ambiente ricevente: aula Sud al P2

Parametro R'_w

ELEMENTI: dimensioni, R_w e ΔR_w						
	descrizione	m'	S_s	ΔR_w_D	ΔR_w_d	R_w
		(kg/mq)	(mq)	(dB)	(dB)	(dB)
Dd	divisorio	300	45,00	7,1	0,0	53,5
		m'	l_r	ΔR_w		R_w
		(kg/mq)	(m)	(dB)		(dB)
F1	pilastrini e setti in c.a.	690	7,36	0,0		56,8
F2	facciata	244	12,30	0,0		47,7
F3	partizione interna a secco	18	7,08	0,0		46,0
f1	pilastrini e setti in c.a.	690	7,36	0,0		56,8
f2	facciata	244	12,30	0,0		47,7
f3	partizione interna a secco	18	7,08	0,0		46,0

Determinazione di ΔR_w							
	m'	s'	d	fissato all'elemento	f_0	ΔR_w	
	(kg/mq)	(MN/mc)	(m)		(Hz)	(2002) (dB)	(2017) (dB)
D	70,0	25,0	0,005	SI	106	3,3	7,1
d	-	-	-	-	-	-	-
F1	-	-	-	-	-	-	-
F2	-	-	-	-	-	-	-
F3	-	-	-	-	-	-	-
f1	-	-	-	-	-	-	-
f2	-	-	-	-	-	-	-
f3	-	-	-	-	-	-	-

PERCORSI DI TRASMISSIONE: $R_{ij,w}$										
	$R_{i,w}$	$R_{j,w}$	$\Delta R_{ij,w}$	giunto	Δ_{resil}	$m'i$	$m'Li$	M	K_{ij}	$R_{ij,w}$
	dB	dB	dB		dB	(kg/mq)	(kg/mq)	-	dB	dB
Dd	53,5		7,1							60,6
Df1	53,5	56,8	7,1	TL	0,0	300	690	0,36	6,45	76,6
Df2	53,5	47,7	7,1	TL	0,0	300	244	-0,09	5,75	69,1
Df3	53,5	46,0	7,1	DSL	0,0	300	18	-1,22	22,22	87,1
F1d	56,8	53,5	0,0	TL	0,0	690	300	-0,36	6,45	69,4
F2d	47,7	53,5	0,0	TL	0,0	244	300	0,09	5,75	62,0
F3d	46,0	53,5	0,0	DSL	0,0	18	300	1,22	22,22	80,0
F1f1	56,8	56,8	0,0	Td	0,0	690	300	-0,36	1,35	66,0
F2f2	47,7	47,7	0,0	Td	0,0	244	300	0,09	7,01	60,4
F3f3	46,0	46,0	0,0	Dsdi	0,0	18	300	1,22	34,44	88,5

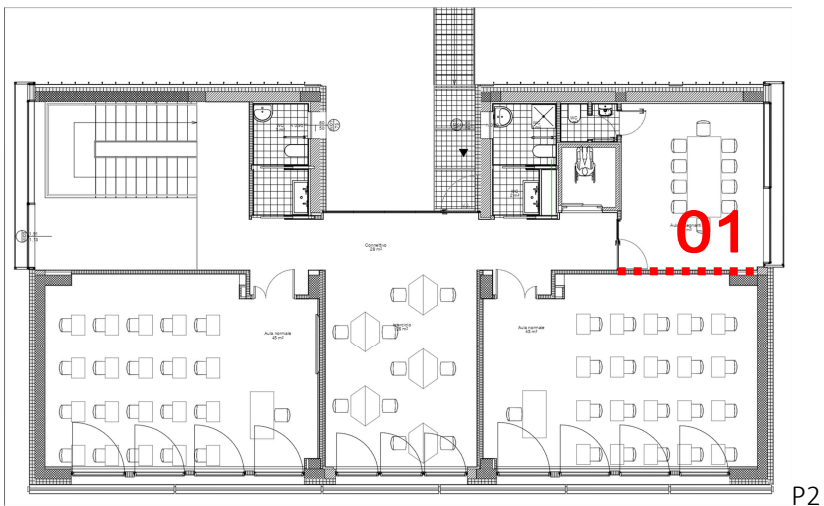
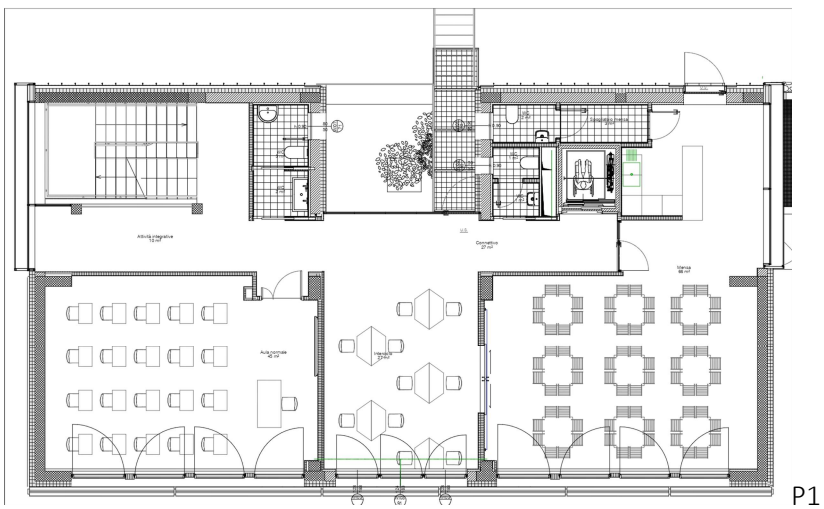
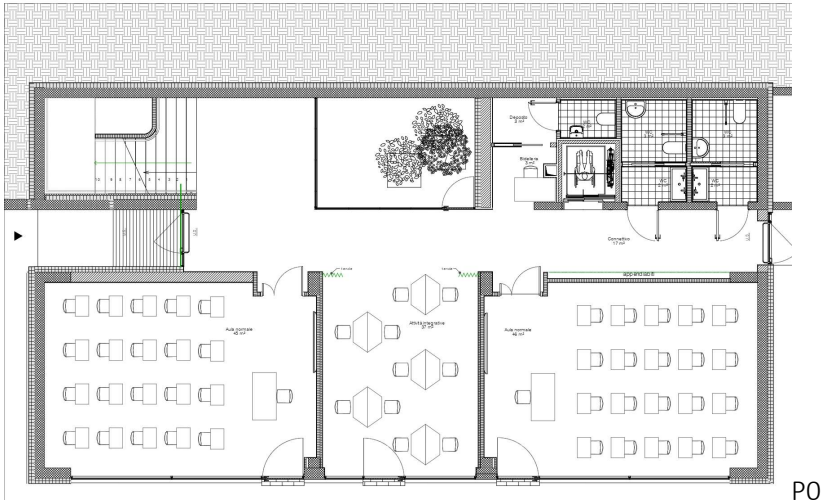
R'_w (dB)	55,3
-------------------------------	-------------

Si calcola quindi $D_{nT,w} = 55.1$ dB:

$$D_{nT,w} = R'_w - 10 \log \frac{S \cdot T_0}{0.16 \cdot V} = 55.3 - 10 \log \frac{0.5}{0.16 \cdot 3} = 55.1 \text{ dB}$$

6. ISOLAMENTO ACUSTICO PER VIA AEREA TRA AMBIENTI ADIACENTI NON COMUNICANTI

Le piante seguenti mostrano i divisori tra ambienti adiacenti non comunicanti a cui si applica il requisito acustico normativo.



TRASMISSIONE DIRETTA

È prevista la seguente stratigrafia del divisorio in esame tra ambienti adiacenti non comunicanti (tra aula e aula insegnanti al P2):

strato	spessore
Lastra di cartongesso	12.5 mm
Lastra di cartongesso	12.5 mm
Orditura con lana di vetro	100 mm
Lastra di cartongesso	12.5 mm
Lastra di cartongesso	12.5 mm

L'indice di valutazione del potere fonoisolante è valutato $R_w = 54$ dB.

Riferimenti:

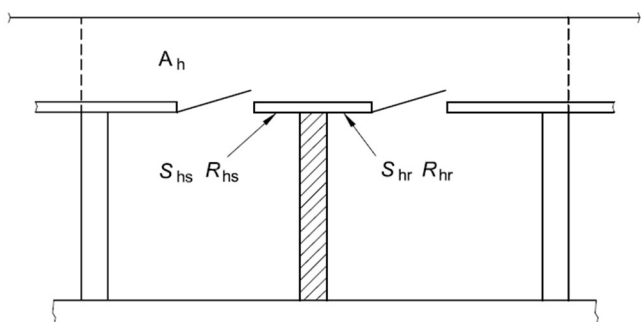
Istituto Giordano SpA - Rapporto di prova n. 186656 del 26/08/2004, determinazione del potere fonoisolante di parete divisoria secondo le norme ISO 140 parte 3ª del 1995 e ISO 717 parte 1ª del 1996 di divisorio assimilabile (le differenze rispetto alla stratigrafia di progetto, ossia l'utilizzo di orditura sp. 75 mm anziché sp. 100 mm e di lana di roccia 40 kg/mc sp. 60 mm anziché lana di vetro, possono essere considerate di segno opposto, tali da compensarsi reciprocamente).

N.B. Al fine di conseguire la prestazione acustica indicata, è necessario garantire l'assenza di ponti acustici nel divisorio in esame, in particolare a carico di attraversamenti e/o alloggiamenti impiantistici.

TRASMISSIONE INDIRETTA

Nel caso in esame il solo percorso di trasmissione laterale degno di nota è quello attraverso le porte di accesso dallo spazio distributivo agli ambienti in esame.

Per tale circostanza, l'appendice H alla norma UNI EN ISO 12354-1:2017 offre il seguente metodo di calcolo previsionale dell'isolamento acustico normalizzato per trasmissione indiretta per via aerea.



$$D_{n,s} = D_{n,h} = R_{hs} + R_{hr} + 10 \lg \frac{A_h A_o}{S_{hs} S_{hr}} + C_{doorposition} \text{ dB}$$

dove:

R_{hs} è il potere fonoisolante della parete tra un atrio e l'ambiente emittente, in decibel;

R_{hr} è il potere fonoisolante della parete tra un atrio e l'ambiente ricevente, in decibel;

S_{hs} è l'area della parete tra l'atrio e l'ambiente emittente, in metri quadri;

- S_{hr} è l'area della parete tra l'atrio e l'ambiente ricevente, in metri quadri;
- A_h è l'area di assorbimento equivalente di un atrio, in metri quadri;
- $C_{doorposition}$ è un termine di correzione per tenere conto dell'effetto dell'orientamento delle porte, una rispetto all'altra (il valore per questo termine di correzione può essere valutato tra -2 dB, per porte a 90° una rispetto all'altra a meno di 1 m di distanza, e 0 dB per distanze maggiori e/o posizioni parallele).

Nel caso in esame, si valuta quanto segue.

	$R_{hs}^{(1)}$	$R_{hr}^{(2)}$	A_h	$S_{hs}^{(1)}$	$S_{hr}^{(2)}$	$C_{doorposition}$	$D_{n,s}$
	dB	dB	mq	mq	mq	dB	dB
125	25,0	13,0	46,8	29,61	5,28	-1	41,8
250	34,0	22,0	58,5	29,61	5,28	-1	60,7
500	41,0	29,0	64,4	29,61	5,28	-1	75,1
1000	44,0	32,0	64,4	29,61	5,28	-1	81,1
2000	45,0	33,0	64,4	29,61	5,28	-1	83,1
w	43	31	-	-	-	-	67,0

Note

⁽¹⁾ Si veda il capitolo 7 "Isolamento acustico per via aerea tra ambienti adiacenti comunicanti", divisorio n° 06.

⁽²⁾ Si veda il capitolo 7 "Isolamento acustico per via aerea tra ambienti adiacenti comunicanti", divisorio n° 07.

TRASMISSIONE COMPLESSIVA

Nel caso in esame si calcola (in base alla formula 1 della norma UNI 11175:2021):

$$R'_w = -10 \log \left[10^{-\frac{R_w}{10}} + \frac{10}{S} 10^{-\frac{D_{n,s,w}}{10}} \right] = -10 \log \left[10^{-\frac{54}{10}} + \frac{10}{9.9} 10^{-\frac{67}{10}} \right] = 53.8 \text{ dB}$$

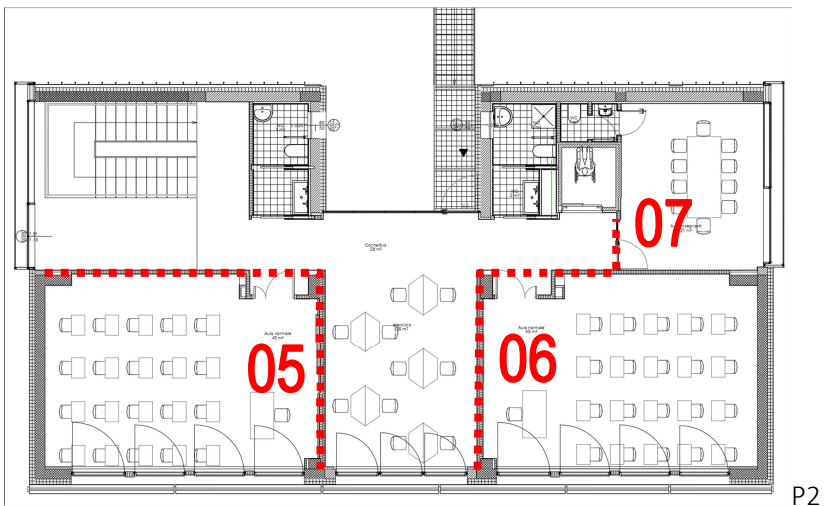
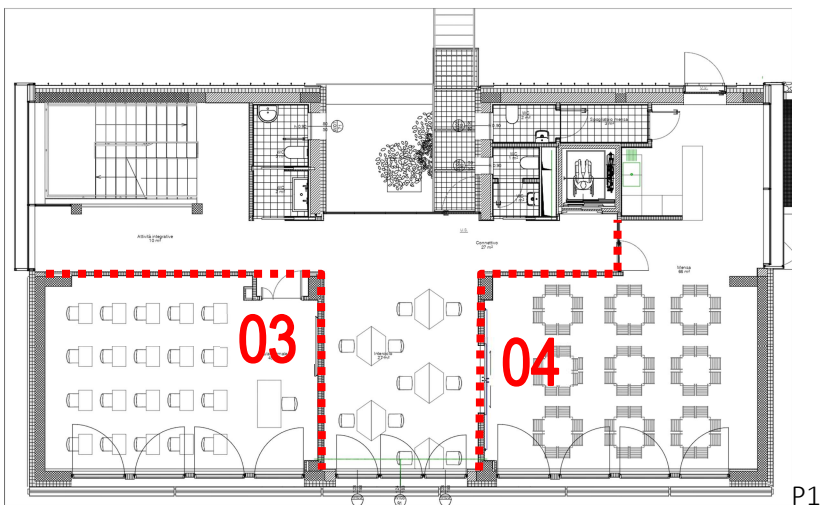
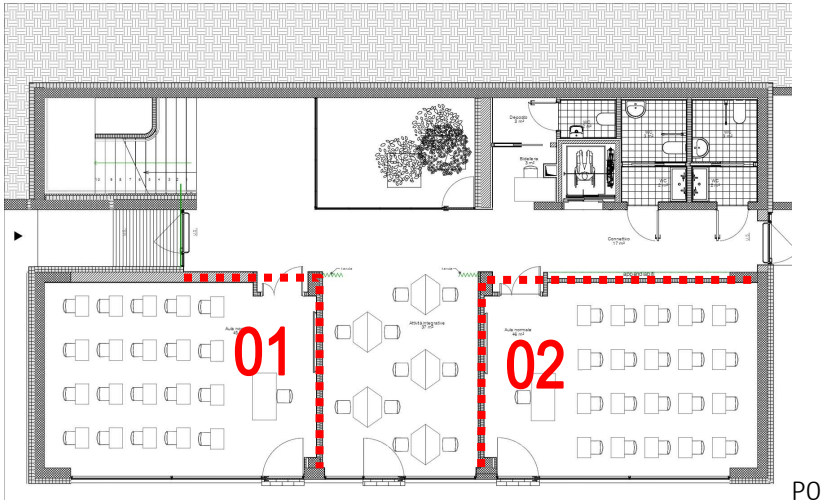
Si calcola quindi:

$$D_{nT,w} = R'_w - 10 \log \frac{S \cdot T_0}{0.16 \cdot V} = 53.8 - 10 \log \frac{0.5}{0.16 \cdot 4.94} = 55.8 \text{ dB}$$

La prestazione attesa in opera è quindi $D_{nT,w} = 55.8 \text{ dB}$.

7. ISOLAMENTO ACUSTICO PER VIA AEREA TRA AMBIENTI ADIACENTI COMUNICANTI

Le piante seguenti mostrano i divisori tra ambienti adiacenti non comunicanti a cui si applica il requisito acustico normativo.



I componenti edilizi coinvolti nei divisori tra ambienti adiacenti comunicanti sono:

- pilastrini e setti in c.a.
- tramezza in laterizio alleggerito in pasta in blocchi forati termoisolanti (600÷660 kg/mc) sp. 300 mm
- partizione interna a secco (DW01)
- porta di accesso ad aula (porta opaca a due ante asimmetriche)
- porta n° 1 di accesso a mensa (porta a vetro a due pannelli scorrevoli)
- porta n° 2 di accesso a mensa (porta a vetro a singola anta con pannello vetrato fisso a lato)
- porta di accesso ad aula insegnanti (porta a vetro a singola anta con pannello vetrato fisso a lato)

Si valutano le seguenti prestazioni acustiche.

- pilastrini e setti in c.a.
 $R_w = 56.8$ dB (come già valutato nel capitolo 5 "Isolam. acustico per via aerea tra ambienti sovrapposti")
- tramezza in laterizio alleggerito in pasta in blocchi forati termoisolanti (600÷660 kg/mc) sp. 300 mm
 $R_w = 47.7$ dB (come già valutato nel capitolo 5 "Isolam. acustico per via aerea tra ambienti sovrapposti")
- partizione interna a secco (DW01)
 $R_w = 46$ dB (come già valutato nel capitolo 5 "Isolam. acustico per via aerea tra ambienti sovrapposti")
- porta di accesso ad aula (porta opaca a due ante asimmetriche)
prestazione di capitolato: $R_w \geq 35$ dB
- porta di accesso ad aula insegnanti (porta a vetro a singola anta e pannello vetrato fisso a lato)
prestazione di capitolato: $R_w \geq 30$ dB
- porta n° 2 di accesso a mensa (porta a vetro a singola anta e pannello vetrato fisso a lato)
prestazione di capitolato: $R_w \geq 30$ dB
- porta n° 1 di accesso a mensa (porta a vetro a due pannelli scorrevoli)
prestazione di capitolato: $R_w \geq 25$ dB

Si applica la legge dei divisori composti:

$$R_w = -10 \log \left(\frac{\sum_i S_i \cdot 10^{-R_{w,i}/10}}{S} \right)$$

Si applica inoltre la formula di conversione dal parametro R_w al parametro $D_{nT,w}$, assumendo che, per le trasmissioni sonore all'interno dell'edificio, i percorsi di trasmissione laterale siano trascurabili, ossia $R'_w \approx R_w$:

$$D_{nT,w} = R'_w - 10 \log \frac{S \cdot T_0}{0.16 \cdot V} \approx R_w - 10 \log \frac{S \cdot T_0}{0.16 \cdot V}$$

Nel seguente prospetto sono riportati i valori dei parametri S_i , S , $R_{w,i}$, R_w , V e $D_{nT,w}$ per ciascun divisorio in esame.

DIVISORIO N° 01 (P0, da connettivo / attività integrative ad aula Sud)

componente	S_i e S (mq)	$R_{w,i}$ e R_w (dB)
pilastri e setti in c.a.	2.70	56.8
tramezza in laterizio	6.18	47.7
partizione interna a secco	18.63	46
porta di accesso ad aula	2.52	35
TOT	30.03	43.4

V = 135 mc

$D_{nT,w} = 45.0$ dB

DIVISORIO N° 02 (P0, da connettivo / attività integrative ad aula Nord)

componente	S_i e S (mq)	$R_{w,i}$ e R_w (dB)
pilastri e setti in c.a.	5.16	56.8
partizione interna a secco	34.83	46
porta di accesso ad aula	5.52	35
TOT	42.51	44.0

V = 138 mc

$D_{nT,w} = 44.2$ dB

DIVISORIO N° 03 (P1, da connettivo / interciclo ad aula Sud)

componente	S_i e S (mq)	$R_{w,i}$ e R_w (dB)
pilastri e setti in c.a.	3.54	56.8
partizione interna a secco	35.82	46
porta di accesso ad aula	2.52	35
TOT	41.88	43.9

V = 135 mc

$D_{nT,w} = 44.0$ dB

DIVISORIO N° 04 (P1, da connettivo / interciclo a mensa)

componente	S _i e S (mq)	R _{w,i} e R _w (dB)
pilastri e setti in c.a.	4.38	56.8
partizione interna a secco	23.17	46
porta n° 1 di accesso a mensa	4.05	30
porta n° 2 di accesso a mensa	4.16	25
TOT	35.76	34.0

V = 198 mc

D_{nt,w} = 35.5 dB

DIVISORIO N° 05 (P2, da connettivo / interciclo ad aula Sud)

componente	S _i e S (mq)	R _{w,i} e R _w (dB)
pilastri e setti in c.a.	3.54	56.8
partizione interna a secco	35.04	46
porta di accesso ad aula	2.52	35
TOT	41.1	43.9

V = 135 mc

D_{nt,w} = 44.1 dB

DIVISORIO N° 06 (P2, da connettivo / interciclo ad aula Nord)

componente	S _i e S (mq)	R _{w,i} e R _w (dB)
pilastri e setti in c.a.	1.20	56.8
partizione interna a secco	25.89	46
porta di accesso ad aula	2.52	35
TOT	29.61	43.1

V = 135 mc

D_{nt,w} = 44.7 dB

DIVISORIO N° 07 (P2, da connettivo / interciclo ad aula insegnanti)

componente	S _i e S (mq)	R _{w,i} e R _w (dB)
partizione interna a secco	1.23	46
porta di accesso ad aula insegnanti	4.05	30
TOT	5.28	31.1

V = 63 mc

D_{nT,w} = 36.9 dB

8. RUMORE DI CALPESTIO

Si rimanda al capitolo 5 “Isolamento acustico per via aerea tra ambienti sovrapposti” per la descrizione e la valutazione del potere fonoisolante delle strutture edilizie coinvolte nei percorsi di trasmissione del rumore tra piani sovrapposti.

In questa sede, si valutano i soli contributi alla trasmissione del rumore di calpestio.

TRASMISSIONE DIRETTA

L'indice di valutazione del livello di rumore di calpestio normalizzato per il percorso diretto è valutato $L_{n,d,w} = 48.4$ dB.

Riferimenti:

Calcolo secondo la norma UNI 11175:2021

- Solo solaio strutturale:
 $L_{n,eq,0,w} = 160 - 35 \log(m') \leq 160 - 35 \log(300) = 73.3$ dB
- Strato addizionale all'estradosso (pavimento galleggiante):
 $\Delta L_{D,w} = 13 \log(m') - 14.2 \log(s') + 20.8 = 13 \log(70) - 14.2 \log(25) + 20.8 = -24.9$ dB
- Strato addizionale all'intradosso (controsoffitto):
 $\Delta L_{d,w} = 0.0$ dB
- Intero divisorio:
 $L_{n,d,w} = L_{n,eq,0,w} - \Delta L_{D,w} = 73.3 - 24.9 = 48.4$ dB

TRASMISSIONE INDIRECTA E TRASMISSIONE COMPLESSIVA

L'indice di valutazione del livello di rumore di calpestio normalizzato complessivo ($L'_{n,w}$), che risente sia della trasmissione diretta attraverso il divisorio sia della trasmissione indiretta attraverso le strutture laterali, è stato determinato in sede previsionale secondo il modello di calcolo delle norme UNI EN ISO 12354-2:2017 e UNI 11175-1:2021, relativamente alle seguenti situazioni (situazioni tipo / situazioni più svantaggiose):

- tra aula Sud al P2 e aula Sud al P1
- tra aula Sud al P1 e aula Sud al P0

Seguono i calcoli effettuati.

Partizione n° 1

Ambiente emittente: aula Sud al P2

Ambiente ricevente: aula Sud al P1

PERCORSI DI TRASMISSIONE: $L_{n,ij,w}$							
	Struttura laterale	$R_{i,w}$	$R_{j,w}$	$\Delta R_{j,w}$	K_{ij}	$10\lg(S_i/I_{o,ij})$	$L_{n,ij,w}$
		dB	dB	dB	dB	dB	(dB)
Df1	pilastrini e setti in c.a.	53,5	56,8	0,0	6,4	7,9	32,4
Df2	facciata	53,5	47,7	0,0	5,7	8,1	37,4
Df3	partizione interna a secco	53,5	46,0	0,0	22,2	5,6	24,3
$L'_{n,w}$ (dB)		48,8					

Partizione n° 2

Ambiente emittente: aula Sud al P1

Ambiente ricevente: aula Sud al P0

PERCORSI DI TRASMISSIONE: $L_{n,ij,w}$							
	Struttura laterale	$R_{i,w}$	$R_{j,w}$	$\Delta R_{j,w}$	K_{ij}	$10\lg(S_i/I_{o,ij})$	$L_{n,ij,w}$
		dB	dB	dB	dB	dB	(dB)
Df1	pilastrini e setti in c.a.	53,5	56,8	0,0	6,4	7,9	32,4
Df2	facciata	53,5	47,7	0,0	5,7	5,6	39,9
Df3	partizione interna a secco	53,5	46,0	0,0	22,2	8,0	21,9
$L'_{n,w}$ (dB)		49,0					

9. ISOLAMENTO ACUSTICO DI FACCIATA

PRESTAZIONE ACUSTICA DEI COMPONENTI EDILIZI

Tamponamento opaco di facciata

La prestazione acustica del componente edilizio in esame è già stata valutata nel capitolo 5 "Isolamento acustico per via aerea tra ambienti sovrapposti" in termini di indice di valutazione del potere fonoisolante: $R_w = 47.7$ dB.

Ai fini del calcolo dell'isolamento acustico di facciata, in questa sede a tale prestazione è stata associata la seguente distribuzione dei valori di potere fonoisolante per bande di frequenza (in via cautelativa, i valori sono stati ottenuti per traslazione della curva dei valori del potere fonoisolante di una parete in laterizio forato sp. 8 cm con doppio intonaco, certificata R_w 40.7 dB dall'Istituto Giordano SpA con rapporto di prova n° 194472 del 24/03/2005 ai sensi delle norme UNI EN ISO 140-3:1997 e UNI EN ISO 717-1:1997):

F (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
R (dB)	38,5	36,2	36,2	33,8	40,8	39,1	39,7	41,3	42,7	47,0	49,6	51,6	53,7	54,6	55,5	57,4

Serramenti

Al fine di conseguire il rispetto del requisito normativo per l'isolamento acustico delle facciate (DPCM 5/12/1997), la prestazione acustica minima richiesta per i serramenti esterni è valutata come segue: $R_w (C;C_{tr}) \geq 48 (-2;-4)$ dB.

Ai fini del calcolo dell'isolamento acustico di facciata, in questa sede a tale prestazione è stata associata la seguente distribuzione dei valori di potere fonoisolante per bande di frequenza (i valori sono stati ottenuti per traslazione della curva dei valori del potere fonoisolante di un serramento tipo, finestra a singola anta con ribalta di dimensioni 1.23x1.48 m, realizzata con profili in alluminio multicamera e vetratura 66.1a/20/55.1a, certificata R_w 49.0 dB da CSI SpA con rapporto di prova n° 0023\DC\ACU\13 del 30/05/2013 ai sensi delle norme UNI EN ISO 10140-1, UNI EN ISO 10140-2 e UNI EN ISO 717-1):

F (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
R (dB)	35,0	31,4	37,5	36,7	41,2	43,4	46,7	47,8	48,4	47,6	47,8	49,9	50,0	50,0	51,0	51,1

Note

- Il requisito prestazionale acustico dei serramenti qui indicato, compatibile con prodotti commerciali, va inteso come prestazione minima di capitolato per rispettare il limite acustico normativo (DPCM 5/12/1997).
- Tali requisiti prestazionali minimi sono da intendersi riferiti al singolo serramento nelle sue effettive caratteristiche dimensionali, costruttive e di installazione.

In particolare, va considerato che ad un incremento delle dimensioni del serramento corrisponde generalmente una riduzione di prestazione acustica, a parità delle restanti caratteristiche costruttive e di installazione. A tale riguardo, la norma UNI EN 14351:2016 indica le seguenti regole di estrapolazione rispetto al valore di R_w determinato mediante prova di laboratorio secondo la norma EN ISO 140-3 per un provino di dimensioni 1.23 x 1.48 m = 1.82 mq (dimensioni di riferimento):

- serramento di dimensioni $\leq 150\%$ rispetto al provino (ossia ≤ 2.7 mq): $R_w = R_w$ del provino
- serramento di dimensioni $\leq 200\%$ rispetto al provino (ossia ≤ 3.6 mq): $R_w = R_w$ del provino - 1 dB
- serramento di dimensioni $\leq 250\%$ rispetto al provino (ossia ≤ 4.6 mq): $R_w = R_w$ del provino - 2 dB
- serramento di dimensioni $> 250\%$ rispetto al provino (ossia > 4.6 mq): $R_w = R_w$ del provino - 3 dB

Perciò, per ottenere la prestazione acustica prescritta, ad un incremento delle dimensioni può corrispondere la necessità di utilizzare vetrazioni a maggiore prestazione acustica e/o altri accorgimenti di potenziamento dell'isolamento acustico.

Per maggiori dettagli relativi alla determinazione dell'isolamento acustico di finestre e porte-finestre, si rimanda alla norma UNI EN 14351:2016.

- La trasmissione sonora attraverso i giunti e le tenute è considerata compresa nei dati relativi al serramento.
- Oltre al tamponamento opaco di facciata e ai serramenti, così come precedentemente descritti, non sono previsti ulteriori elementi di facciata che interessano gli ambienti abitativi (in particolare, cassonetti per avvolgibili, fori di aerazione, etc.).

PRESTAZIONE ACUSTICA DELLA FACCIATA

La prestazione acustica della facciata dei singoli ambienti abitativi è stata calcolata secondo il modello di calcolo della norma UNI 11175-1:2021.

Seguono i dati geometrici utilizzati per le analisi:

- V: volume, in mc;
- Stot: superficie della facciata, in mq;
- Si: superficie dell'elemento di tipologia i della facciata, in mq, con la seguente identificazione numerica:
 1. tamponamento opaco;
 2. serramenti;
- Δfs : isolamento acustico per la forma della facciata, in dB;
- V/S: rapporto tra volume dell'ambiente (in mc) e superficie della facciata (in mq).

piano	ambiente	affaccio	V	Stot	S1	S2	Δfs	V/S	
			mc	mq	mq	mq	dB	m	
P0	Aula Sud	S	135,0	16,41	16,41	0,00	0	8,23	
		E	135,0	24,18	6,56	17,62	0	5,58	
	Attività integrative	E	83,4	13,80	2,40	11,40	0	6,04	
	Aula Nord	E	138,0	24,30	6,73	17,57	0	5,68	
		N	138,0	16,41	16,41	0,00	0	8,41	
P1	Aula	S	135,0	16,47	16,47	0,00	0	8,20	
		E	135,0	24,24	12,61	11,63	0	5,57	
	Interciclo	E	81,9	13,68	6,27	7,41	0	5,99	
		Mensa	E	141,0	24,30	12,67	11,63	0	5,80
			N	141,0	17,67	17,67	0,00	0	7,98
P2	Aula Sud	S	135,0	16,23	16,23	0,00	0	8,32	
		E	135,0	24,24	12,61	11,63	0	5,57	
	Interciclo	E	81,0	13,47	6,06	7,41	0	6,01	
		Aula Nord	E	135,0	24,39	12,76	11,63	0	5,54
			N	135,0	16,23	16,23	0,00	0	8,32
	Aula insegnanti	N	63,0	14,82	0,30	14,52	0	4,25	
		O	63,0	12,57	12,57	0,00	0	5,01	

Per ottenere il valore del potere fonoisolante apparente della facciata (parametro R') occorre determinare il contributo della trasmissione laterale. Tuttavia, la norma UNI EN ISO 12354-3 specifica che “nella maggior parte dei casi, non è necessario calcolare il contributo della trasmissione laterale. Nei casi che comportano presenza di elementi rigidi, la trasmissione laterale può essere incorporata in modo globale diminuendo il potere fonoisolante per questo tipo di elementi di facciata rigidi e pesanti; è generalmente accettabile sottrarre 2 dB”. Nel caso in esame, le strutture laterali alla facciata che possono contribuire alla trasmissione di rumore dall'esterno sono unicamente i solai interpiano e le strutture interne a secco. Considerato che la tipologia costruttiva di tali strutture non si presta ad una trasmissione laterale significativa, la riduzione per trasmissione indiretta è stata valutata sottraendo 1 dB dal valore di R della facciata.

Per ciascun ambiente esaminato, seguono i dati di output (parametro $D_{2m,nT}$ per singole bande di 1/3 di ottava da 100 a 3150 Hz e corrispondente indice di valutazione $D_{2m,nT,w}$), ottenuti dall'analisi delle facciate.

Nel caso di ambienti d'angolo è stata utilizzata la metodologia di calcolo previsionale illustrata nella norma UNI 11175-1:2021, che introduce e stima il parametro ΔD_{FL} (attenuazione dovuta alla diffrazione dell'angolo dell'edificio). Nello specifico:

- per i piani inferiori (P0, P1), il parametro $D_{2m,nT}$ è stato determinato come media energetica tra il valore relativo alla combinazione di posizioni dell'altoparlante più sfavorevole (1+2 a) e il valore relativo alla combinazione di posizioni dell'altoparlante più favorevole (1+2 b);
- per il piano P2, il parametro $D_{2m,nT}$ è stato determinato relativamente alla sola combinazione possibile dell'altoparlante (1+2 b).

piano	ambiente	affaccio	$D_{2m,nT}$																
			100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz	800 Hz	1000 Hz	1250 Hz	1600 Hz	2000 Hz	2500 Hz	3150 Hz	w
			dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
P0	A. S	1	41,9	39,6	39,6	37,2	44,2	42,5	43,1	44,7	46,1	50,4	53,0	55,0	57,1	58,0	58,9	60,8	51,1
		2	36,5	33,1	38,1	36,8	42,1	42,9	44,8	46,2	47,3	48,4	49,1	51,2	51,6	51,6	52,6	52,9	49,6
		1+ $\Delta D_{FL a}$	35,4	32,2	35,8	34,0	40,0	39,7	40,9	42,4	43,6	46,3	47,6	49,7	50,5	50,7	51,7	52,2	47,3
		2+ $\Delta D_{FL a}$	35,4	32,2	35,8	34,0	40,0	39,7	40,9	42,4	43,6	46,3	47,6	49,7	50,5	50,7	51,7	52,2	47,3
		1+2 a	35,4	32,2	35,8	34,0	40,0	39,7	40,9	42,4	43,6	46,3	47,6	49,7	50,5	50,7	51,7	52,2	47,3
		1+ $\Delta D_{FL b}$	41,4	39,0	39,4	37,0	44,0	42,4	43,0	44,6	46,0	50,2	52,7	54,7	56,6	57,4	58,3	60,0	50,9
		2+ $\Delta D_{FL b}$	36,5	33,0	38,0	36,7	42,0	42,8	44,6	46,0	47,1	48,3	49,0	51,1	51,5	51,6	52,6	52,9	49,5
		1+2 b	38,3	35,1	38,7	36,8	42,9	42,6	43,7	45,2	46,5	49,1	50,5	52,5	53,4	53,6	54,6	55,1	50,2
	1+2	36,6	33,4	37,0	35,2	41,2	40,9	42,1	43,6	44,8	47,5	48,8	50,9	51,7	51,9	52,9	53,4	48,5	
	A.i.	-	37,5	34,0	39,3	38,1	43,2	44,3	46,4	47,8	48,8	49,5	50,1	52,2	52,5	52,6	53,6	53,8	50,7
	A. N	1	36,6	33,2	38,2	36,9	42,1	43,0	44,9	46,3	47,3	48,5	49,2	51,3	51,6	51,7	52,7	53,0	49,6
		2	42,0	39,7	39,7	37,3	44,3	42,6	43,2	44,8	46,2	50,5	53,1	55,1	57,2	58,1	59,0	60,9	51,2
		1+ $\Delta D_{FL a}$	35,5	32,3	35,9	34,1	40,1	39,8	40,9	42,4	43,7	46,4	47,7	49,8	50,6	50,8	51,8	52,3	47,4
		2+ $\Delta D_{FL a}$	35,5	32,3	35,9	34,1	40,1	39,8	40,9	42,4	43,7	46,4	47,7	49,8	50,6	50,8	51,8	52,3	47,4
		1+2 a	35,5	32,3	35,9	34,1	40,1	39,8	40,9	42,4	43,7	46,4	47,7	49,8	50,6	50,8	51,8	52,3	47,4
		1+ $\Delta D_{FL b}$	36,6	33,1	38,1	36,7	42,0	42,8	44,7	46,1	47,1	48,4	49,1	51,2	51,6	51,7	52,7	53,0	49,5
		2+ $\Delta D_{FL b}$	41,5	39,1	39,5	37,1	44,1	42,5	43,1	44,7	46,1	50,3	52,8	54,8	56,7	57,5	58,4	60,1	51,0
		1+2 b	38,4	35,2	38,7	36,9	42,9	42,6	43,8	45,3	46,6	49,2	50,6	52,6	53,5	53,7	54,7	55,2	50,3
1+2	36,7	33,5	37,1	35,3	41,3	41,0	42,1	43,6	44,9	47,6	48,9	51,0	51,8	52,0	53,0	53,5	48,6		

CONTINUA

CONTINUA

piano	ambiente	affaccio	D _{2m,nT}																
			100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz	800 Hz	1000 Hz	1250 Hz	1600 Hz	2000 Hz	2500 Hz	3150 Hz	W
			dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
P1	A.	1	41,9	39,6	39,6	37,2	44,2	42,5	43,1	44,7	46,1	50,4	53,0	55,0	57,1	58,0	58,9	60,8	51,0
		2	37,5	34,2	38,0	36,3	42,2	42,1	43,3	44,8	46,0	48,5	49,7	51,8	52,5	52,7	53,7	54,2	49,6
		1+ΔD _{FL a}	37,5	34,5	36,8	34,7	41,2	40,2	41,0	42,6	43,9	47,4	49,3	51,3	52,6	53,1	54,0	54,9	48,4
		2+ΔD _{FL a}	36,6	33,5	36,4	34,5	40,7	40,1	41,1	42,6	43,9	47,0	48,6	50,6	51,6	52,0	53,0	53,6	48,0
		1+2 a	37,0	34,0	36,6	34,6	40,9	40,1	41,1	42,6	43,9	47,2	48,9	51,0	52,1	52,5	53,4	54,2	48,2
		1+ΔD _{FL b}	41,2	38,7	39,2	36,8	43,8	42,2	42,8	44,4	45,8	50,0	52,4	54,4	56,3	57,1	58,1	59,7	50,7
		2+ΔD _{FL b}	37,4	34,1	37,8	36,1	42,0	41,8	43,0	44,5	45,8	48,3	49,6	51,7	52,4	52,7	53,6	54,1	49,4
		1+2 b	38,9	35,8	38,5	36,4	42,8	42,0	42,9	44,5	45,8	49,1	50,8	52,8	54,0	54,3	55,3	56,1	50,1
	1+2	37,8	34,8	37,4	35,4	41,8	41,0	41,9	43,4	44,8	48,0	49,8	51,8	52,9	53,3	54,3	55,0	49,0	
	I.	-	38,3	35,0	38,9	37,1	43,0	42,9	44,2	45,7	46,9	49,3	50,5	52,6	53,3	53,5	54,5	55,0	50,4
	M.	1	37,6	34,4	38,2	36,5	42,4	42,2	43,5	45,0	46,2	48,7	49,9	52,0	52,7	52,9	53,9	54,4	49,8
		2	41,7	39,4	39,4	37,0	44,0	42,3	42,9	44,5	45,9	50,2	52,8	54,8	56,9	57,8	58,7	60,6	50,9
		1+ΔD _{FL a}	36,7	33,6	36,5	34,6	40,8	40,2	41,1	42,7	44,0	47,1	48,7	50,7	51,8	52,1	53,1	53,8	48,1
		2+ΔD _{FL a}	37,6	34,6	36,8	34,7	41,2	40,2	41,0	42,6	43,9	47,4	49,3	51,4	52,7	53,1	54,1	55,0	48,4
		1+2 a	37,1	34,1	36,7	34,6	41,0	40,2	41,1	42,6	44,0	47,3	49,0	51,0	52,2	52,6	53,6	54,3	48,2
		1+ΔD _{FL b}	37,5	34,3	38,0	36,2	42,2	42,0	43,2	44,7	45,9	48,5	49,8	51,8	52,6	52,8	53,8	54,3	49,6
		2+ΔD _{FL b}	41,1	38,6	39,1	36,7	43,7	42,1	42,7	44,3	45,7	49,9	52,3	54,3	56,3	57,1	58,0	59,6	50,6
		1+2 b	39,0	35,9	38,5	36,5	42,9	42,0	42,9	44,5	45,8	49,1	50,9	52,9	54,1	54,5	55,4	56,2	50,1
1+2	37,9	34,9	37,5	35,5	41,8	41,0	41,9	43,5	44,8	48,1	49,8	51,9	53,0	53,4	54,4	55,2	49,1		
P2	A. S	1	41,9	39,6	39,6	37,2	44,2	42,5	43,1	44,7	46,1	50,4	53,0	55,0	57,1	58,0	58,9	60,8	51,1
		2	37,5	34,2	38,0	36,3	42,2	42,1	43,3	44,8	46,0	48,5	49,7	51,8	52,5	52,7	53,7	54,2	49,6
		1+ΔD _{FL b}	41,2	38,8	39,2	36,9	43,8	42,2	42,9	44,5	45,9	50,0	52,5	54,5	56,4	57,2	58,1	59,7	50,7
		2+ΔD _{FL b}	37,4	34,1	37,8	36,1	42,0	41,8	43,0	44,5	45,8	48,3	49,6	51,7	52,4	52,7	53,6	54,1	49,4
		1+2	38,9	35,8	38,5	36,5	42,8	42,0	43,0	44,5	45,8	49,1	50,8	52,8	54,0	54,4	55,3	56,1	50,1
	I.	-	38,3	35,0	38,9	37,2	43,0	43,0	44,2	45,7	47,0	49,3	50,5	52,6	53,3	53,5	54,5	55,0	50,4
	A. N	1	37,4	34,2	38,0	36,3	42,2	42,0	43,3	44,8	46,0	48,5	49,7	51,8	52,5	52,7	53,7	54,2	49,6
		2	41,9	39,6	39,6	37,2	44,2	42,5	43,1	44,7	46,1	50,4	53,0	55,0	57,1	58,0	58,9	60,8	51,1
		1+ΔD _{FL b}	37,4	34,1	37,8	36,0	42,0	41,8	43,0	44,5	45,7	48,3	49,6	51,6	52,4	52,6	53,6	54,1	49,4
		2+ΔD _{FL b}	41,2	38,8	39,2	36,9	43,8	42,2	42,9	44,5	45,9	50,0	52,5	54,5	56,4	57,2	58,1	59,7	50,7
		1+2	38,9	35,8	38,5	36,5	42,8	42,0	42,9	44,5	45,8	49,1	50,8	52,8	54,0	54,4	55,3	56,1	50,1
	A. ins.	1	34,6	31,0	37,0	36,2	40,7	42,8	46,0	47,1	47,7	47,1	47,4	49,5	49,6	49,6	50,6	50,7	48,5
		2	39,7	37,4	37,4	35,0	42,0	40,3	40,9	42,5	43,9	48,2	50,8	52,8	54,9	55,8	56,7	58,6	48,9
		1+ΔD _{FL b}	34,5	30,9	36,8	35,8	40,5	42,4	45,2	46,4	47,1	46,9	47,2	49,3	49,5	49,5	50,5	50,6	48,2
		2+ΔD _{FL b}	38,9	36,4	37,1	34,8	41,7	40,2	40,8	42,4	43,8	47,9	50,3	52,3	54,1	54,8	55,7	57,2	48,6
		1+2	36,2	32,8	36,9	35,3	41,1	41,1	42,5	44,0	45,2	47,4	48,5	50,6	51,2	51,4	52,4	52,8	48,5

In sintesi, le prestazioni di isolamento acustico calcolate per le facciate dei locali abitativi sono le seguenti.

Piano	ambiente	$D_{2m,nT,w}$ (dB)
P0	Aula Sud	48,5
	Attività integrative	50,7
	Aula Nord	48,6
P1	Aula	49,0
	Interciclo	50,4
	Mensa	49,1
P2	Aula Sud	50,1
	Interciclo	50,4
	Aula Nord	50,1
	Aula insegnanti	48,5

10. RUMORE DI IMPIANTI A FUNZIONAMENTO CONTINUO (AMBIENTE NON SERVITO)

In relazione agli impianti a funzionamento continuo (aerazione, riscaldamento, raffrescamento, condizionamento), il progetto impiantistico comprende:

- n° 1 pompa di calore aria-acqua all'interno di locale tecnico al piano terra, in adiacenza all'edificio scolastico;
- macchine VMC da controsoffitto, ubicate presso gli spazi distributivi di ciascun piano e canalizzate con presa aria esterna (PAE) ed espulsione (EXP) in facciata, mandata (M) all'interno degli ambienti abitativi e ripresa (R) in corrispondenza dei medesimi spazi distributivi.

Dati la tipologia di impianti e il lay-out di progetto,

- al rumore prodotto dalla pompa di calore ed immesso all'interno dell'edificio scolastico si applicano i limiti normativi previsti per gli ambienti non serviti;
- diversamente, i medesimi limiti non si applicano al rumore prodotto dalle macchine VMC e relative canalizzazioni, in quanto gli ambienti verificabili acusticamente sono tutti ambienti serviti.

N.B. Il rumore prodotto dalla pompa di calore ed immesso nell'ambiente esterno circostante deve rispettare, oltre ai limiti di rumore applicabili all'interno del medesimo edificio scolastico, anche i limiti applicabili in materia di inquinamento acustico, a tutela di ricettori terzi, stabiliti dalla normativa vigente. L'analisi di tale aspetto è illustrata nell'[allegato A](#).

La valutazione del rumore prodotto dalla pompa di calore ed immesso all'interno dell'edificio scolastico è stata effettuata seguendo i passi qui indicati:

- 1) determinazione del livello di potenza sonora della sorgente;
- 2) determinazione del livello di pressione sonora incidente sulla facciata dell'edificio, in corrispondenza dell'ambiente interno più penalizzato;
- 3) determinazione del livello di pressione sonora immesso nel medesimo ambiente interno per trasmissione e attenuazione attraverso la facciata.

1. Livello di potenza sonora della sorgente

Si considerano i seguenti dati di progetto:

- Modello di riferimento: Daikin EWYT115B-XSA1 (unità standard senza opzioni).
- Livello di potenza sonora nelle condizioni nominali di esercizio (EVAP. IN/OUT 12/7°C e 35°C Amb., in funzionamento a pieno carico): $L_w = 86$ dBA (da scheda tecnica del produttore)
- Distribuzione in frequenza del livello di potenza sonora (desunto dalla distribuzione in frequenza del livello di pressione sonora, in scheda tecnica del produttore):

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Tot A
L_w (dB)	86	87	82	82	80	81	75	67	86

2. Livello di pressione sonora incidente sulla facciata

Il livello di pressione sonora incidente sulla facciata dell'edificio scolastico è stato calcolato mediante software di simulazione (CadnaA, prodotto da DataKustik GmbH), che implementa gli algoritmi di calcolo della propagazione del suono in ambiente esterno stabiliti dalla norma ISO 9613.

La sorgente sonora è stata modellata come sorgente sonora equivalente puntiforme omnidirezionale, ubicata alla quota di 2.00 m dal pavimento del locale tecnico.

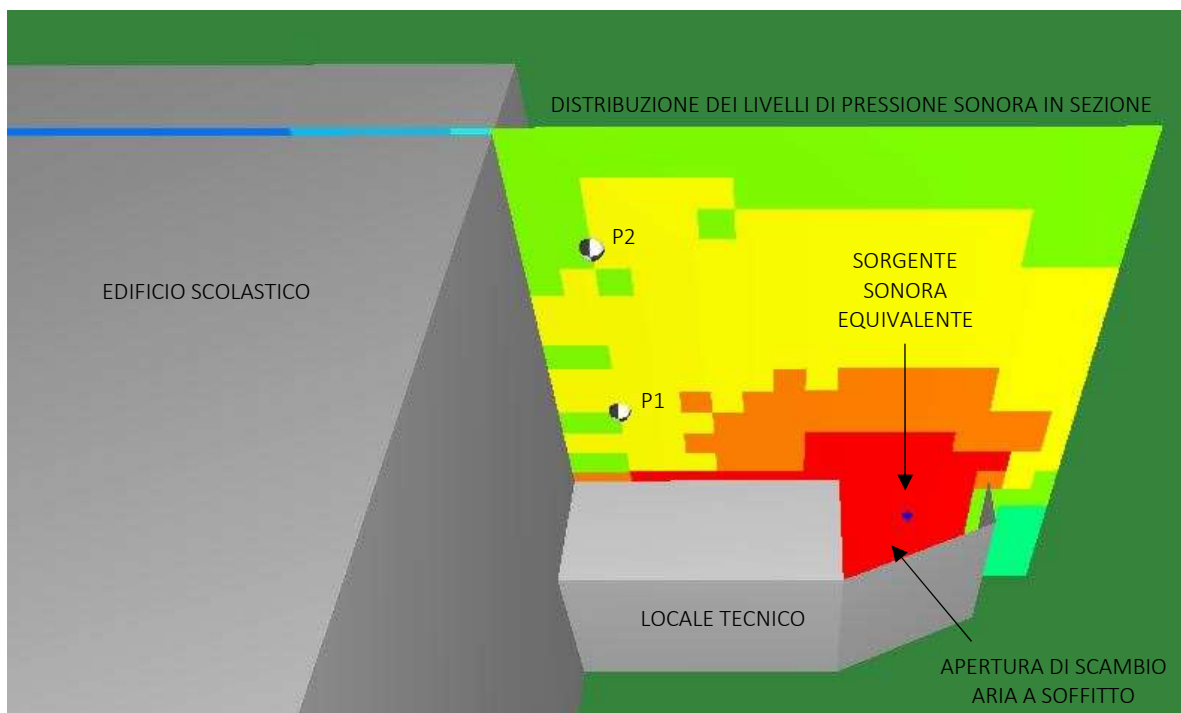
Il locale tecnico è stato modellato come un elemento schermante sia lateralmente (oggetto "barrier", H 3 m dal suolo) sia superiormente (oggetto "3D reflector"), a parte un'apertura di scambio aria posta in copertura, superiormente alla sorgente sonora, di superficie complessiva pari a 8 mq ca.

Il locale tecnico è stato considerato privo di trattamento acustico fonoassorbente delle pareti interne e/o del soffitto.

Il prospetto seguente riporta i livelli di pressione sonora calcolati a 1 m dalla facciata dell'edificio scolastico (trattandosi di livelli di rumore incidenti sulla facciata, non è stato calcolato il contributo della riflessione sulla facciata stessa), in corrispondenza degli ambienti abitativi più penalizzati, in quanto più vicini alla fonte di rumore e dotati di serramenti esterni (facciata Nord della mensa al piano 1, facciata Nord dell'aula insegnanti al piano 2).

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Tot A
P1 (@ 1m dalla facciata Nord della mensa al piano 1)									
Lp (dB)	59.5	58.2	57.3	57.4	55.3	56.0	49.7	41.1	61.3
P2 (@ 1m dalla facciata Nord dell'aula insegnanti al piano 2)									
Lp (dB)	60.1	58.9	53.6	53.9	52.0	53.0	46.9	38.4	58.2

Segue una vista 3D del modello di simulazione realizzato, comprensiva di sezione verticale ortogonale alla facciata dell'edificio scolastico, in cui su base cromatica è mostrata la distribuzione dei livelli di pressione sonora.



3. Livello di pressione sonora immesso in ambiente interno

Il livello di pressione sonora immesso in ambiente interno è stato calcolato per bande di ottava secondo la seguente formula (norma UNI EN ISO 12354-3:2017, appendice E):

$$L_{2,nT} = L_{1,2m} - D_{2m,nT}$$

dove:

- $L_{2,nT}$ è il livello medio di pressione sonora nell'ambiente ricevente, normalizzato rispetto ad un tempo di riverberazione di 0.5 secondi, in decibel;
- $L_{1,2m}$ è il livello di pressione sonora all'esterno, alla distanza di 2 m dalla facciata, in decibel;
- $D_{2m,nT}$ è l'isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverberazione, calcolato in conformità alla norma UNI EN ISO 12354, in decibel.

I valori di $L_{1,2m}$ sono assimilati a quelli calcolati nel precedente punto 2.

I valori di $D_{2m,nT}$ sono quelli calcolati nel capitolo 9 "Isolamento acustico di facciata", previa conversione da valori per bande di 1/3 di ottava a valori per bande di ottava.

I risultati del calcolo sono riportati nel prospetto seguente.

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Tot A
mensa									
$L_{1,2m}$ (dB)	59.5	58.2	57.3	57.4	55.3	56.0	49.7	41.1	61.3
$D_{2m,nT}$ (dB)	31.2 *	36.6	38.5	43.2	49.7	53.6	55.2	55.2 *	
$L_{2,nT}$ (dB)	28.3	21.6	18.8	14.2	5.6	2.4	-	-	15.6
aula insegnanti									
$L_{1,2m}$ (dB)	60.1	58.9	53.6	53.9	52.0	53.0	46.9	38.4	58.2
$D_{2m,nT}$ (dB)	29.5 *	34.9	38.2	43.8	48.6	51.6	52.8	52.8 *	
$L_{2,nT}$ (dB)	30.6	24.0	15.4	10.1	3.4	1.4	-	-	13.9

* valori estrapolati

Nel caso in esame, i valori di $L_{2,nT}$ possono essere assimilati ai valori del parametro L_{ic} determinati ai sensi della norma UNI 11367, appendice D ($L_{2,nT} \approx L_{ic}$).

Per valutare i corrispondenti valori del parametro L_{Aeq} , determinati ai sensi del DPCM 5/12/1997, occorre considerare il contributo del tempo di riverberazione T, mediante la formula seguente:

$$L_{Aeq} = L_{2,nT} + 10\log(T/T_0)$$

Mensa

I valori di T possono essere valutati con buona approssimazione mediante la formula di Sabine ($T = 0.16V/A$), dove il rapporto V/A è desunto dal requisito della norma UNI 11532-2 per ambienti di categoria A6.5: $A/V \geq [1.47+4.69\log(h)]^{-1} = [1.47+4.69\log(3.0)]^{-1} = 0.27 \text{ m}^{-1}$.

Risulta quindi $T \leq 0.16V/A = 0.59 \text{ s}$, $L_{Aeq} = L_{2,nT} + 10\log(T/T_0) \leq 15.6 + 10\log(0.59/0.5) = 15.6 + 0.7 = \mathbf{16.3 \text{ dBA}}$

Aula insegnanti

I valori di T possono essere valutati pari al requisito della norma UNI 11532-2 per ambienti di categoria A3, V = 63 mc:

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
T inoccupato (s)	0.94	0.94	0.73	0.65	0.62	0.57	0.45	0.35

Risulta quindi:

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Tot A
L_{Aeq} (dB)	33.4	26.8	17.0	11.3	4.4	2.0	-	-	15.7

11. RUMORE DI IMPIANTI A FUNZIONAMENTO CONTINUO (AMBIENTE SERVITO)

Nel progetto in esame, il rumore prodotto dagli impianti VMC e dalle canalizzazioni annesse è stato calcolato per bande di ottava in funzione di:

- livello di potenza sonora dell'unità ventilante;
- livello di potenza sonora di eventuali sorgenti secondarie, ovvero fonti di rumore rigenerato per turbolenza (curve, gomiti, cambi di sezione, serrande, griglie, etc.);
- attenuazione lungo il canale (con eventuale silenziatore);
- attenuazione per cambio di impedenza alla bocchetta;
- attenuazione per dispersione e assorbimento acustico in ambiente (formula di Hopkins-Stryker).

Formula di Hopkins-Stryker

$$L_{eq} = L_w + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right)$$

dove:

- L_{eq} (in dB o dBA) è il livello sonoro atteso nel punto di valutazione per il contributo della singola sorgente sonora;
- R (in mq) è la costante dell'ambiente:
$$R = \frac{S_{TOT} \cdot \bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}}$$
- S_{TOT} (in mq) è la superficie totale dell'involucro dell'ambiente
- $\bar{\alpha}$ (adimensionale) è il coefficiente di assorbimento acustico medio dell'ambiente:
$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_i S_i \cdot \alpha_i}{S_{TOT}}$$
- S_i (in mq) è la superficie dell'i-esima porzione dell'involucro dell'ambiente
- α_i (adimensionale) è il coefficiente di assorbimento acustico dell'i-esima porzione dell'involucro dell'ambiente
- L_w (in dB o dBA) è il livello di potenza sonora della singola sorgente sonora
- Q (adimensionale) è il fattore di direttività della singola sorgente sonora
- r (in metri) è la distanza tra la singola sorgente sonora e il punto di valutazione.

N.B. In via cautelativa, R (costante dell'ambiente) $\approx A$ (assorbimento acustico equivalente dell'ambiente).

Quindi, mediante la formula di Sabine:

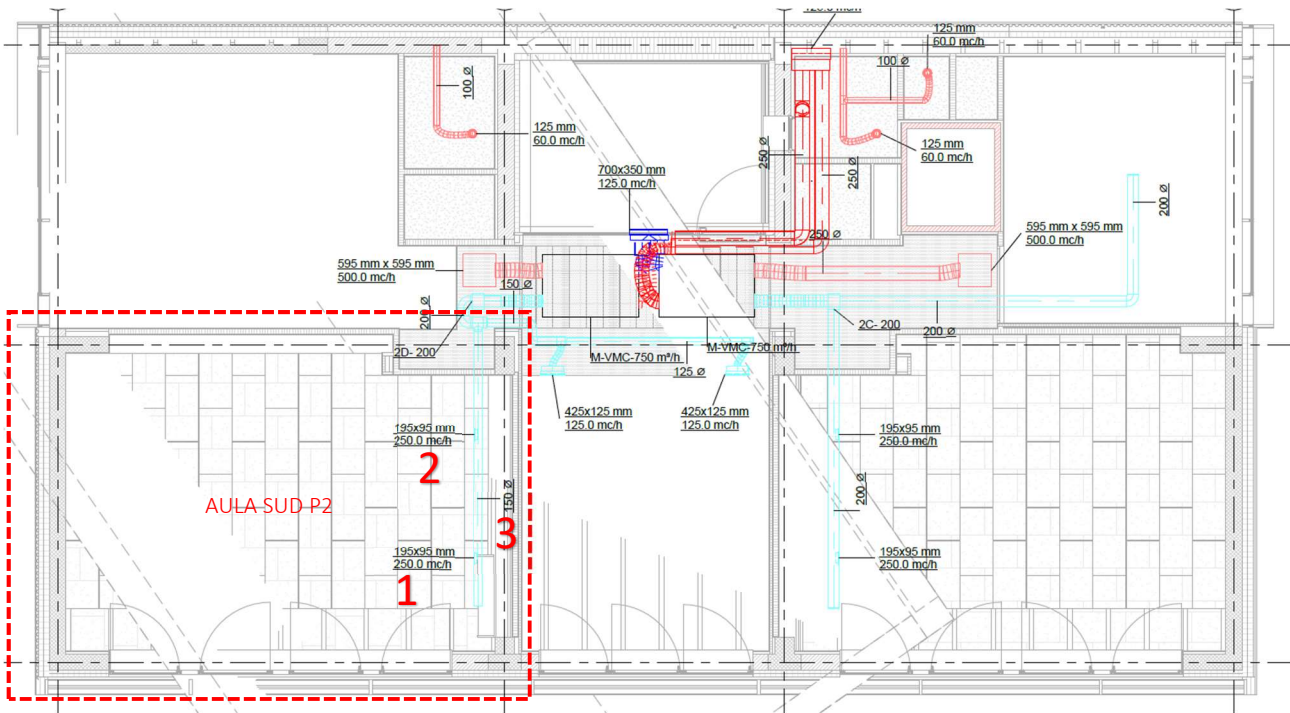
$$R \approx A = 0.16 V/T$$

dove:

- V (in mc) è il volume dell'ambiente;
- T (in s) è il tempo di riverberazione dell'ambiente.

Seguono i calcoli previsionali effettuati per l'aula tipo (worst case).

AULA TIPO (WORST CASE)



Contributo n° 1: livello di potenza sonora L_w della bocchetta di mandata n° 1

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Tot A
Lw unità ventilante 750 mc/h (dB)	50,8	50,8	48,8	44,8	39,8	33,8	29,8	24,8	46,2

N.B. In carenza di dati acustici certificati relativi all'unità ventilante di progetto, i valori per bande indicate vanno intesi come requisiti acustici prestazionali (valor massimi) di capitolato, da conseguire con eventuale abbinamento dell'unità ventilante a silenziatore.

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Tot A
Canale Ø 20 cm L 205 cm (dB)	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	
Curva 90° (dB)	27,2	27,2	26,2	26,2	25,2	23,2	16,2	4,2	29,7
Curva 90° (dB)	27,2	27,2	26,2	26,2	25,2	23,2	16,2	4,2	29,7
Diramazione (750/500 mc/h) (dB)	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	
Canale Ø 15 cm L 200 cm (dB)	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	
Diramazione (500/250 mc/h) (dB)	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	
Canale Ø 15 cm L 220 cm (dB)	-0,2	-0,2	-0,4	-0,4	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	
Griglia con plenum/silenz. (dB)	34,0	38,0	37,0	35,0	33,0	31,0	23,0	11,0	38,0
Cambio di imped. alla bocch. (dB)	-20,0	-15,0	-9,0	-5,0	-1,0	0,0	0,0	0,0	

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Tot A
Lw risultante alla bocchetta (dB)	25,7	31,1	35,1	35,5	35,2	32,7	26,3	19,0	39,3

Dati di input (formula di Hopkins-Stryker):

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Tot A
Lw risultante alla bocchetta (dB)	25,7	31,1	35,1	35,5	35,2	32,7	26,3	19,0	39,3

V = 135 mc

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
T inoccupato (s) *	0,98	0,98	0,75	0,67	0,64	0,59	0,46	0,36

* Valori calcolati nel capitolo 14 "Riverberazione"

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
ID = 10log(Q) (dB) *	2,0	3,5	4,5	5,5	7,0	8,0	8,5	9,0

* Fonte: Ian Sharland, "Fläkt Woods Practical Guide to Noise Control", 1972

r = 4,50 m

Dati di output (formula di Hopkins-Stryker):

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Tot A
Leq al ricevitore (dB)	18,4	23,9	26,8	26,9	26,6	24,0	16,8	8,9	30,7

Contributo n° 2: livello di potenza sonora Lw della bocchetta di mandata n° 2

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Tot A
Lw unità ventilante 750 mc/h (dB)	50,8	50,8	48,8	44,8	39,8	33,8	29,8	24,8	46,2

N.B. In carenza di dati acustici certificati relativi all'unità ventilante di progetto, i valori per bande indicati vanno intesi come requisiti acustici prestazionali (valor massimi) di capitolato, da conseguire con eventuale abbinamento dell'unità ventilante a silenziatore.

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Tot A
Canale Ø 20 cm L 205 cm (dB)	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	
Curva 90° (dB)	27,2	27,2	26,2	26,2	25,2	23,2	16,2	4,2	29,7
Curva 90° (dB)	27,2	27,2	26,2	26,2	25,2	23,2	16,2	4,2	29,7
Diramazione (750/500 mc/h) (dB)	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	
Canale Ø 15 cm L 200 cm (dB)	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	
Diramazione (500/250 mc/h) (dB)	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	
Griglia con plenum/silenz. (dB)	34,0	38,0	37,0	35,0	33,0	31,0	23,0	11,0	38,0
Cambio di imped. alla bocc. (dB)	-20,0	-15,0	-9,0	-5,0	-1,0	0,0	0,0	0,0	

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Tot A
Lw risultante alla bocchetta (dB)	25,9	31,3	35,4	35,8	35,6	33,0	26,7	19,6	39,7

Dati di input (formula di Hopkins-Stryker):

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Tot A
Lw risultante alla bocchetta (dB)	25,9	31,3	35,4	35,8	35,6	33,0	26,7	19,6	39,7

V = 135 mc

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
T inoccupato (s) *	0,98	0,98	0,75	0,67	0,64	0,59	0,46	0,36

* Valori calcolati nel capitolo 14 "Riverberazione"

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
ID = 10log(Q) (dB) *	2,0	3,5	4,5	5,5	7,0	8,0	8,5	9,0

* Fonte: Ian Sharland, "Fläkt Woods Practical Guide to Noise Control", 1972

$r = 4.50 \text{ m}$

Dati di output (formula di Hopkins-Stryker):

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Tot A
Leq al ricevitore (dB)	18,6	24,1	27,1	27,2	27,0	24,3	17,2	9,5	31,0

Contributo n° 3: livello di potenza sonora L_w irradiato dal canale a vista (break-out)

Si calcola $L_w = L_{wIN} + 10 \log(S'/A) - TL$

dove:

L_{wIN} è il livello di potenza sonora in ingresso al canale in esame

A (in pollici²) è la sezione interna del canale

S' (in pollici²) è la superficie equivalente irradiante esterna del canale: $S' = P \times L'$

P (in pollici) è il perimetro del canale

L' (in pollici) è la lunghezza equivalente del canale: $L' = (\gamma^L - 1) / (\ln(\gamma))$

$\gamma = 10^{-\alpha/10}$

α (in dB/piede) è l'attenuazione per unità di lunghezza lungo il canale

(fonte ASHRAE)

Dati di input:

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Tot A
L_{wIN} (dB)	25,9	31,3	35,4	35,8	35,6	33,0	26,7	19,6	39,7

$A = 0.02 \text{ m}^2$

$P = 0.47 \text{ m}$

$L = 3.30 \text{ m}$

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Tot A
α (dB/piede)	0,03	0,03	0,05	0,05	0,10	0,10	0,10	0,10	-

Dati di output:

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Tot A
L_w irradiato (break-out) (dB)	17,9	7,9	11,7	25,6	21,9	19,2	21,0	20,8	21,6

Dati di input (formula di Hopkins-Stryker):

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Tot A
L_w irradiato (break-out) (dB)	17,9	7,9	11,7	25,6	21,9	19,2	21,0	20,8	21,6

$V = 135 \text{ mc}$

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
T innocupato (s) *	0,98	0,98	0,75	0,67	0,64	0,59	0,46	0,36

* Valori calcolati nel capitolo 14 "Riverberazione"

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
$L_D = 10\log(Q)$ (dB)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

$r = 4.20$ m

Dati di output (formula di Hopkins-Stryker):

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Tot A
Leq al ricevitore (dB)	10,6	0,6	3,2	16,6	12,8	9,7	10,5	9,3	18,7

Il livello continuo equivalente di rumore prodotto dagli impianti a funzionamento continuo all'interno dell'ambiente servito è dato dalla somma logaritmica dei singoli contributi (1+2+3):

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Tot A
Leq_{TOT} al ricevitore = L_{ic,int} (dB)	21,9	27,0	30,0	30,3	29,9	27,2	20,5	14,0	34,0

NOTA BENE

Il conseguimento dell'obiettivo prestazionale acustico è subordinato all'impiego di elementi impiantistici conformi alle prestazioni acustiche indicate, nonché alla progettazione e alla realizzazione degli impianti a regola d'arte.

In [allegato B](#) sono riportati alcune indicazioni per la corretta progettazione e realizzazione degli impianti a funzionamento continuo, ai fini del contenimento del rumore prodotto dal funzionamento degli impianti stessi.

12. RUMORE DI IMPIANTI A FUNZIONAMENTO DISCONTINUO

In carenza di modelli di calcolo previsionale fruibili sulla base dei dati disponibili, non è possibile effettuare un calcolo analitico dei livelli di pressione sonora previsti.

In questa sede, ci si limita pertanto a riportare alcune indicazioni per la corretta progettazione e realizzazione degli impianti a funzionamento discontinuo (si veda l'[allegato C](#)), ai fini del contenimento del rumore prodotto dal funzionamento degli impianti stessi.

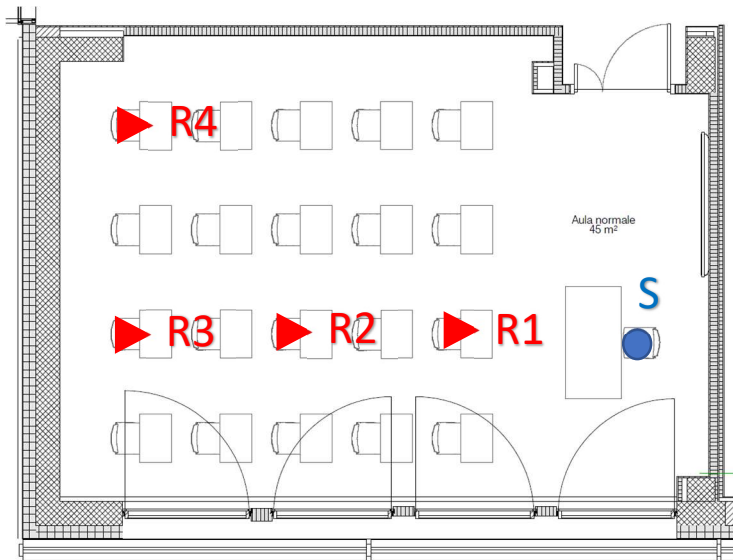
13. INTELLIGIBILITÀ DEL PARLATO

L'intelligibilità è stata calcolata in termini di chiarezza (C50) secondo il metodo di calcolo e i criteri indicati nelle norme UNI 11532-1 e UNI 11532-2, in funzione di:

- volume dell'ambiente;
- tempo di riverberazione dell'ambiente inoccupato (valori calcolati nel capitolo 14 "Riverberazione")
- posizione del ricevitore e distanza sorgente / ricevitore (r).

Segue il calcolo previsionale del tempo di riverberazione per l'aula tipo, ambiente con il requisito prestazionale più restrittivo (categoria A2).

AULA TIPO (cat. A2)



Pianta

V = 135 mc

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz		
T ambiente inoccupato (s)	0,98	0,75	0,67	0,64	0,59	0,46		
Ricevitore	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	500÷2k	r (m)
R1	0,9	2,7	3,4	3,8	4,5	6,5	3,9	2,22
R2	0,4	2,1	2,8	3,2	3,8	5,8	3,3	4,25
R3	0,2	1,9	2,7	3,0	3,7	5,6	3,1	6,23
R4	0,2	1,9	2,7	3,0	3,7	5,6	3,1	6,77
MEDIA	-	-	-	-	-	-	C50 = 3,4	≥ 2

14. RIVERBERAZIONE

Ai fini del calcolo del tempo di riverberazione, si considerano i seguenti coefficienti di assorbimento acustico delle differenti porzioni di superficie.

Pavimento: linoleum incollato

125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04

Soffitto tipo A: controsoffitto Celenit ABE sp.25 mm + lana di roccia 50 kg/mc sp. 50 mm + intercapedine vuota (ribassamento tot 300 mm)

125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
0.55	0.90	1.00	1.00	0.85	0.95

Soffitto tipo B: solaio intonacato

125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

Parete tipo A: controparete Celenit L2ABE25C sp.25+50 = 75 mm in aderenza a parete

125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
0.35	0.90	1.00	1.00	0.90	0.90

Parete tipo B: controparete in cartongesso forato (tipo Gyproc Gyptone Big Quattro 41 o 43) sp. 12.5 mm + lana minerale sp. 50 mm in intercapedine

125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
0.40	0.75	0.85	0.75	0.65	0.65

Parete tipo C: parete non rivestita (cartongesso)

125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
0.12	0.10	0.08	0.06	0.06	0.06

Serramento interno: porta

125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
0.14	0.10	0.06	0.08	0.10	0.10

Serramento esterno: finestra o porta-finestra

125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02

Tendaggio:

125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
0.40	0.45	0.90	0.90	0.95	0.95

Si considerano inoltre i seguenti contributi, espressi in termini area equivalente di assorbimento (A_{obj} o ΔA).

Persone (cad.): alunno della scuola primaria (fino a 11 anni) seduto al tavolo

125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
0.05	0.10	0.20	0.35	0.40	0.45

Fonte: norma UNI 11532-2

Sedie (cad.): non rivestita/imbottita (legno, plastica o affine)

125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.04

Fonte: norma UNI EN ISO 12354-6

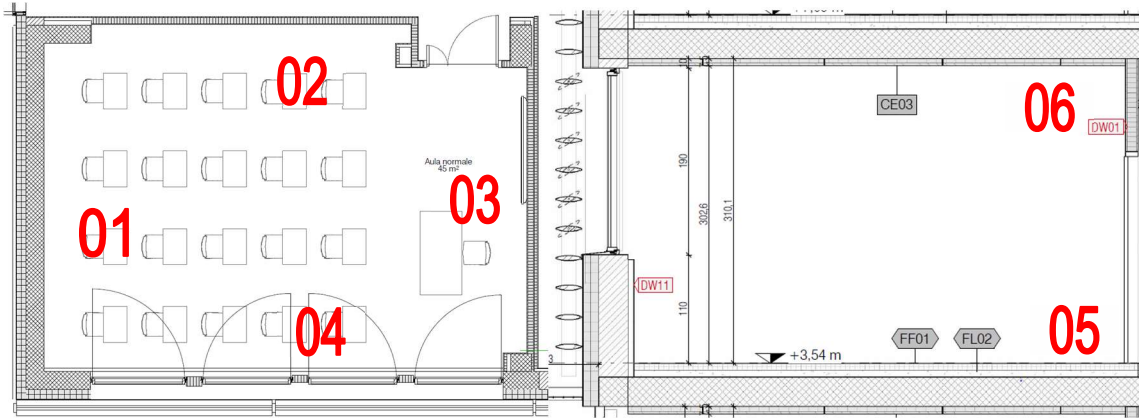
Oggetti rigidi: $A_{obj} = V_{obj}^{2/3}$ ad ogni banda di frequenza (dove V_{obj} in mc è il volume complessivo degli oggetti)

Fonte: norma UNI EN ISO 12354-6

Segue il calcolo previsionale del tempo di riverberazione per l'aula tipo, ambiente con il requisito prestazionale più restrittivo (categoria A2).

AULA TIPO (cat. A2)

Per l'ambiente tipo aula, il tempo di riverberazione è stato calcolato secondo il modello della norma UNI EN ISO 12354-6 considerando quanto segue.

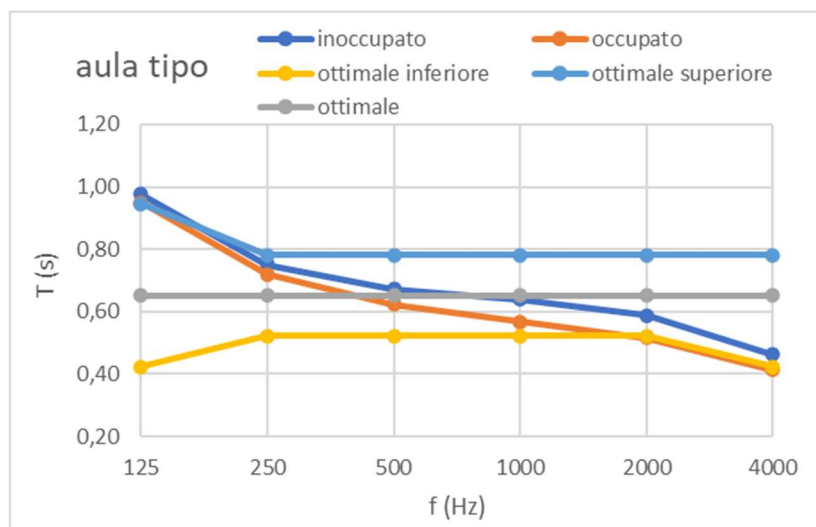


Pianta

Sezione

ID superficie	Estensione (mq)	Tipologia
Parete (01)	16.61	Parete tipo C
Parete (02)	1.00	Parete tipo B
	20.87	Parete tipo C
	2.52	Serramento interno
Parete (03)	5.18	Parete tipo B
	11.43	Parete tipo C
Parete (04)	12.76	Parete tipo C
	11.63	Serramento esterno
Pavimento (05)	45.00	Pavimento
Soffitto (06)	45.00	Soffitto tipo A
ID altro	Quantità	
Persone	16 (80% della capienza, UNI 11532-2)	
Sedie	21	
Oggetti	0 mc	

I valori del tempo di riverberazioni calcolati sono riportati qui di seguito in forma grafica e tabellare.



	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
inoccupato	0,98	0,75	0,67	0,64	0,59	0,46
occupato	0,95	0,72	0,62	0,57	0,52	0,41
ottimale	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
ottimale inferiore	0,42	0,52	0,52	0,52	0,52	0,42
ottimale superiore	0,95	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78

15. RUMOROSITÀ IN AMBIENTE

La rumorosità in ambiente L_{amb} è data dalla sommatoria del rumore prodotto dagli impianti in funzione e del rumore immesso dall'esterno (rumore residuo), come specificato nella norma UNI 11532-2.

Cautelativamente, si considera il solo caso peggiore riferito alle aule, in quanto ambienti a cui si applica il requisito più severo rispetto alla rumorosità in ambiente.

- Rumore di impianti a funzionamento continuo

I livelli di pressione sonora previsti sono illustrati nei capitoli 10 “Rumore di impianti a funzionamento continuo (ambiente non servito)” e 11 “Rumore di impianti a funzionamento continuo (ambiente servito)”:

- Rumore di impianti a funzionamento continuo (ambiente non servito): $L_{Aeq} = 15.7$ dBA
- Rumore di impianti a funzionamento continuo (ambiente servito): $L_{Aeq} = 34.0$ dBA

- Rumore di impianti a funzionamento discontinuo

Alla luce del lay-out degli ambienti di progetto, della conseguente ubicazione degli impianti e delle modalità di progettazione e costruzione a regola d'arte assunte a base del progetto in esame (si veda l'allegato C), il rumore prodotto da tali impianti all'interno degli ambienti abitativi può essere considerato trascurabile.

- Rumore residuo

I livelli di pressione sonora previsti sono valutati qui di seguito, sulla base dei livelli di rumore presenti in ambiente esterno (come risultante dalla misura di clima acustico illustrata nell'allegato D) e dell'isolamento acustico della facciata (come valutato nel capitolo 9 “Isolamento acustico di facciata”).

Il livello di pressione sonora immesso in ambiente interno è stato calcolato per bande di ottava secondo la seguente formula (norma UNI EN ISO 12354-3:2017, appendice E):

$$L_{2,nT} = L_{1,2m} - D_{2m,nT}$$

dove:

- $L_{2,nT}$ è il livello medio di pressione sonora nell'ambiente ricevente, normalizzato rispetto ad un tempo di riverberazione di 0.5 secondi, in decibel;
- $L_{1,2m}$ è il livello di pressione sonora all'esterno, alla distanza di 2 m dalla facciata, in decibel;
- $D_{2m,nT}$ è l'isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverberazione, calcolato in conformità alla norma UNI EN ISO 12354, in decibel.

I valori di $L_{1,2m}$ sono assimilati a quelli misurati in ambiente esterno nella porzione di misura di 30' in cui il valore complessivo è risultato più alto.

I valori di $D_{2m,nT}$ sono quelli calcolati nel capitolo 9 “Isolamento acustico di facciata” per l'aula insegnanti (caso peggiore riscontrato), previa conversione da valori per bande di 1/3 di ottava a valori per bande di ottava.

I risultati del calcolo sono riportati nel prospetto seguente.

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Tot A
$L_{1,2m}$ (dB)	61.6	54.6	51.3	51.3	52.6	48.0	45.3	41.5	39.9
$D_{2m,nT}$ (dB)	29.5 *	34.9	38.2	43.8	48.6	51.6	52.8	52.8 *	
$L_{2,nT}$ (dB)	32.1	19.7	13.1	7.5	4.0	-	-	-	12.5

* valori estrapolati

Per valutare il valore del parametro L_{Aeq} corrispondente al valore del parametro $L_{2,nT}$, occorre considerare il contributo del tempo di riverberazione T , mediante la formula seguente:

$$L_{Aeq} = L_{2,nT} + 10\log(T/T_0)$$

I valori di T possono essere valutati pari al requisito della norma UNI 11532-2 per ambienti di categoria A3, $V = 63$ mc:

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
T inoccupato (s)	0.94	0.94	0.73	0.65	0.62	0.57	0.45	0.35

Risulta quindi:

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Tot A
L_{Aeq} (dB)	34.8	22.4	14.7	8.6	4.9				14.1

Si calcola quindi L_{amb} come segue:

$$L_{amb} = 10\log \sum_i 10^{L_{Aeq_i}/10} = 10\log(10^{15.7/10} + 10^{34.0/10} + 10^{14.1/10}) = \mathbf{34.1 \text{ dBA}}$$

16. CONFRONTO CON I VALORI DI RIFERIMENTO

Dal seguente confronto tra valori calcolati e valori di riferimento, si evince che i requisiti e limiti acustici applicabili risultano rispettati.

Requisito acustico	Valore calcolato	Valore di riferimento	Limite rispettato	Capitolo
Isolamento acustico tra ambienti sovrapposti	$D_{nT,w} \geq 55.1$ dB	$D_{nT,w} \geq 55$ dB	SI	5
Isolamento acustico tra ambienti adiacenti non comunicanti	$D_{nT,w} = 55.8$ dB	$D_{nT,w} \geq 50$ dB	SI	6
Isolamento acustico tra ambienti adiacenti comunicanti	$D_{nT,w} \geq 35.5$ dB	$D_{nT,w} \geq 30$ dB	SI	7
Rumore di calpestio	$L'_{n,w} \leq 49.0$ dB	$L'_{n,w} \leq 53$ dB	SI	8
Isolamento acustico di facciata	$D_{2m,nT,w} \geq 48.5$ dB	$D_{2m,nT,w} \geq 48$ dB	SI	9
Rumore di impianti a funzionamento continuo (ambienti diversi da quello servito)	$L_{A,eq} \leq 16.3$ dBA	$L_{A,eq} \leq 25$ dBA	SI	10
	$L_{ic} \leq 15.6$ dBA	$L_{ic} \leq 28$ dBA	SI	
Rumore di impianti a funzionamento continuo (ambiente servito): aule	$L_{ic,int} \leq 34$ dBA	$L_{ic,int} \leq 34$ dBA	SI	11
Rumore di impianti a funzionamento discontinuo	si vedano il capitolo 12 e l'allegato C	$L_{A5max} \leq 35$ dB	SI	12
		$L_{id} \leq 34$ dB		
Intelligibilità del parlato Aule (cat. A2)	$C50 \geq 3.4$ dB	$C50 \geq 2$ dB	SI	13
Riverberazione Aule (cat. A2)	si veda il capitolo 14	$T \leq (0.37 \log V - 0.14)$ s	SI	14
Rumorosità in ambiente Aule	$L_{amb} \leq 34.1$ dBA	$L_{amb} \leq 38$ dBA	SI	15

| ALLEGATO A: IMPATTO ACUSTICO

In questa sede viene analizzato l'impatto acustico prodotto dalla pompa di calore prevista a progetto, in quanto unico impianto in grado di immettere nell'ambiente esterno rumore con possibile rilevanza rispetto all'inquinamento acustico, come disciplinato dalla normativa vigente.

Inquadramento normativo

Il Comune di Toano è privo di Piano di Classificazione Acustica del territorio comunale (strumento di pianificazione urbanistica, previsto dalla Legge n. 447/1995, in subordine al quale si applicano i limiti di inquinamento acustico stabili dal D.P.C.M. 14/11/1997).

In tal caso, si applica il disposto del D.P.C.M. 14/11/1997, art. 8, comma 1, che rimanda al D.P.C.M. 01/03/1991, art. 6, comma 1:

In attesa della suddivisione del territorio comunale nelle zone di cui alla tabella 1, si applicano per le sorgenti sonore fisse i seguenti limiti di accettabilità:

Zonizzazione	Limite diurno Leq (A)	Limite notturno Leq (A)
Tutto il territorio nazionale	70	60
Zona A (decreto ministeriale n. 1444/68) (*)	65	55
Zona B (decreto ministeriale n. 1444/68) (*)	60	50
Zona esclusivamente industriale	70	70

(*) Zone di cui all'art. 2 del decreto ministeriale 2 aprile 1968.

Si applicano inoltre i limiti differenziali di immissione definiti dal D.P.C.M. 14/11/1997, anche in assenza di Piano di Classificazione Acustica del territorio comunale, come chiarito in più occasioni sia in sede ministeriale che in sede giurisprudenziale.

I limiti differenziali di immissione si applicano ai livelli differenziali di immissione (LD), ossia alla differenza aritmetica tra il livello di rumore ambientale (LA, misurato/calcolato durante il funzionamento della sorgente specifica in esame) e il livello di rumore residuo (LR, misurato/calcolato senza il contributo della sorgente specifica in esame): $LD = LA - LR$.

I parametri LA e LR vanno misurati e valutati con identiche modalità.

I livelli di pressione sonora misurati devono essere corretti in caso di presenza di componenti impulsive (KI = +3 dB), componenti tonali (KT = +3 dB), componenti in bassa frequenza (KB = +3 dB, solo in periodo notturno) e/o rumore a tempo parziale (-3 dB se durata ≤ 1 h, -5 dB se durata < 15 minuti, solo in periodo diurno), come dettagliato dal D.M. 16/03/1998 "Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico".

I limiti differenziali di immissione vanno valutati esclusivamente in ambiente interno, sia a finestre aperte che a finestre chiuse, su un arco di tempo commisurato alle caratteristiche di variabilità del rumore, in modo tale che la misura sia rappresentativa del fenomeno.

Il limite differenziale non si applica nei seguenti casi, in quanto ogni effetto del rumore è da ritenersi trascurabile:

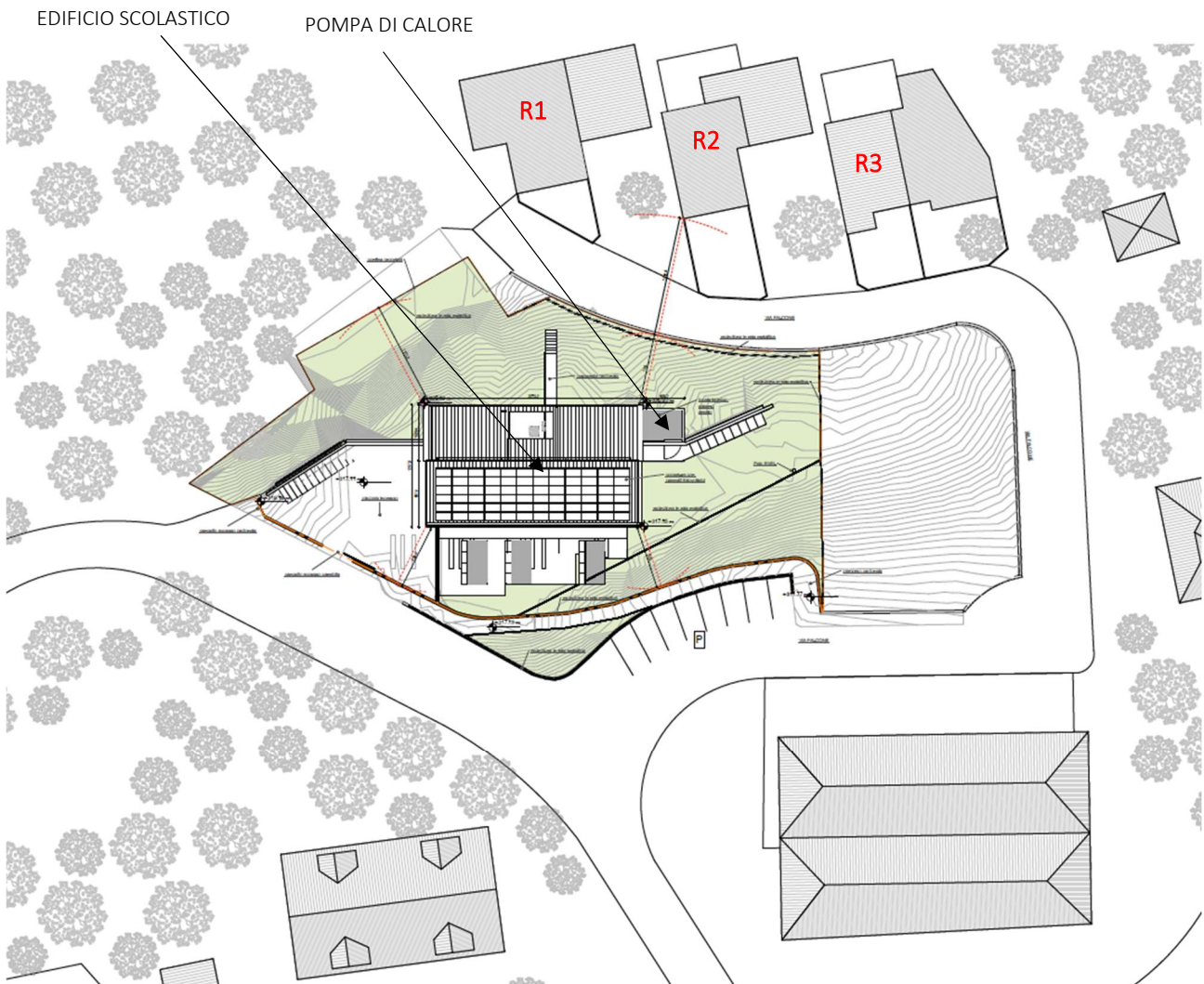
- a) se il livello di rumore ambientale misurato a finestre aperte sia inferiore a 50 dB(A) durante il periodo diurno e 40 dB(A) durante il periodo notturno;

- b) se il livello di rumore ambientale misurato a finestre chiuse sia inferiore a 35 dB(A) durante il periodo diurno e 25 dB(A) durante il periodo notturno.

N.B. Esula dallo scopo della presente documentazione l'applicazione di criteri di valutazione del disturbo e della normale tollerabilità (in particolare ai sensi dell'art. 844 del Codice Civile), utilizzati in ambito privatistico.

Individuazione dei ricettori sensibili

L'immagine seguente rappresenta l'ubicazione reciproca della sorgente sonora in esame (pompa di calore) e dei ricettori sensibili più esposti, identificati con **R1 – R2 – R3**.



I ricettori individuati sono edifici residenziali sviluppati su due-tre livelli fuori terra, alla distanza di 20÷25 m dalla sorgente sonora in esame.

Le foto seguenti mostrano i ricettori sensibili suddetti.

Ricettore R1



Ricettore R2



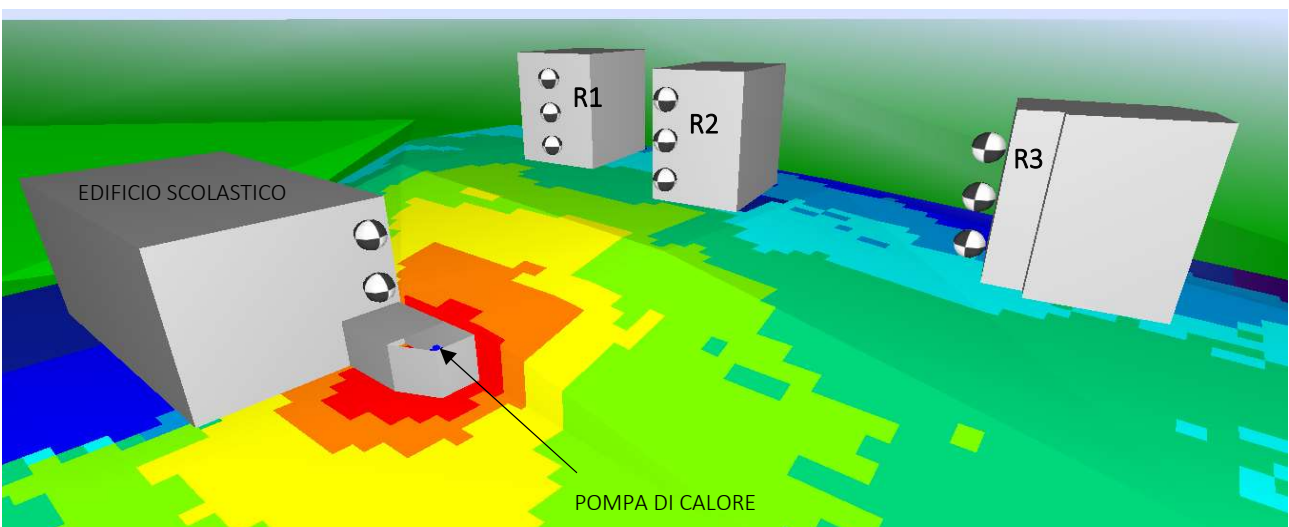
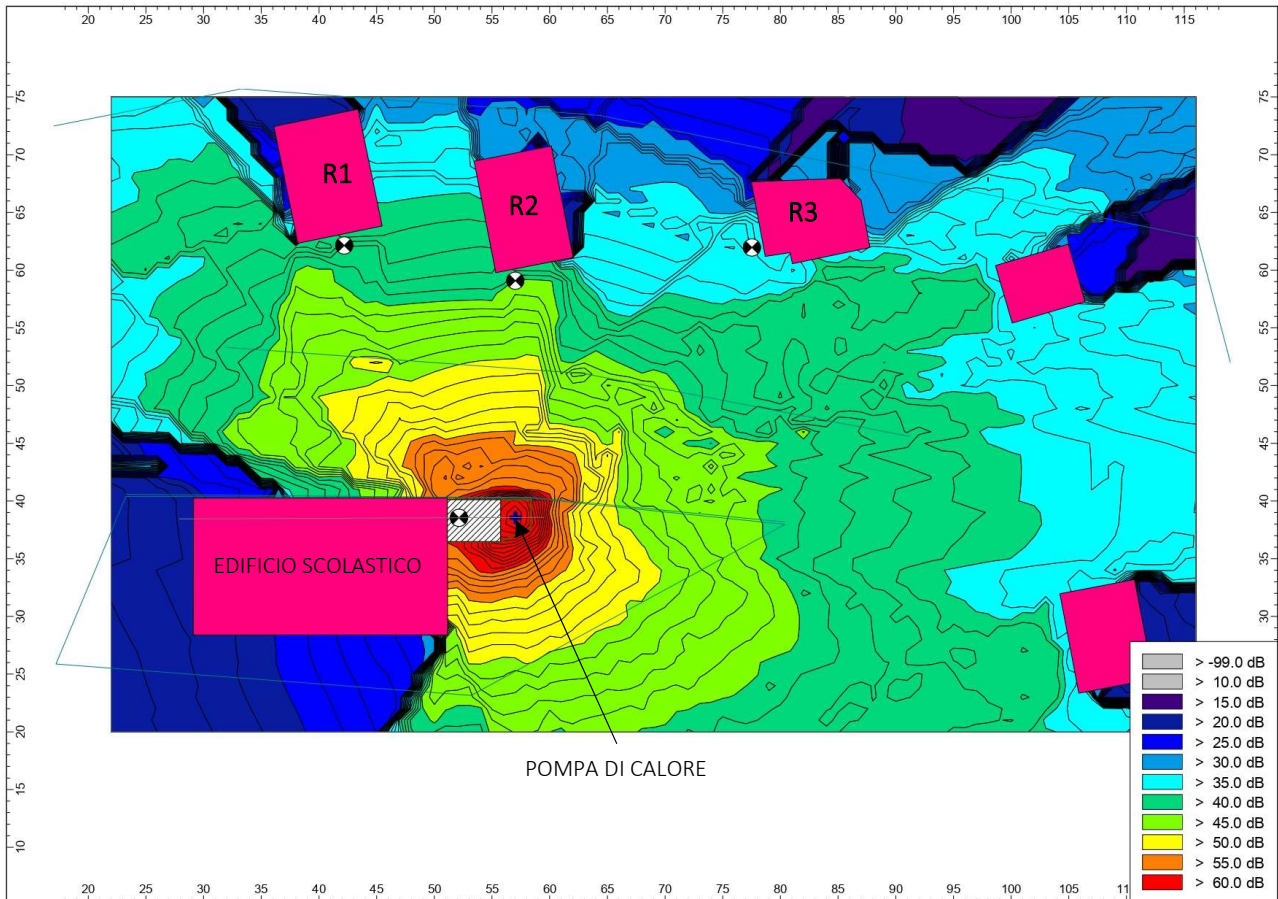
Ricettore R3



Calcolo previsionale dei parametri di inquinamento acustico

Si rimanda al capitolo 10 “Rumore di impianti a funzionamento continuo (ambiente non servito)” per la caratterizzazione acustica della sorgente sonora (livello di potenza sonora e ubicazione).

Il medesimo modello di simulazione realizzato con il software CadnaA, illustrato nel suddetto capitolo 10, è stato utilizzato per il calcolo della distribuzione in pianta dei livelli di pressione sonora alla quota di 4 m dal terreno (immagini seguenti) e dei livelli di rumore incidenti sulla facciata dei ricettori in esame (prospetto seguente).



Ricettore	Livello	Livello di pressione sonora @ 1 m dalla facciata (dBA)
R1	1 (2 m dal terreno)	41.8
	2 (5m dal terreno)	41.4
	3 (8 m dal terreno)	44.2
R2	1 (2 m dal terreno)	42.5
	2 (5m dal terreno)	44.8
	3 (8 m dal terreno)	46.8
R3	1 (2 m dal terreno)	33.3
	2 (5m dal terreno)	37.9
	3 (8 m dal terreno)	38.9

Confronto con i limiti normativi di inquinamento acustico

In considerazione della destinazione d'uso dell'edificio servito dalla pompa di calore, il funzionamento della stessa è circoscritto al solo periodo diurno, per cui non sono presi in considerazione i limiti notturni (fascia oraria 22:00-06:00).

- **Limite diurno di accettabilità**

Livello di pressione sonora	Limite *	Limite rispettato
≤ 46.8 dBA	≤ 60 dBA	SI

* in via cautelativa, si considera il più restrittivo tra i limiti diurni stabiliti dal D.P.C.M. 01/03/1991 in funzione della zona acustica (zona B ex decreto ministeriale n. 1444/68).

- **Limite diurno differenziale di immissione**

Il limite si applica in ambiente interno, sia a finestre aperte sia a finestre chiuse.

Nel caso in esame, la condizione a finestre aperte è quella più penalizzante, in quanto il rumore prodotto dall'impianto in esame perviene ai ricettori per trasmissione per via aerea in ambiente esterno. Per tale condizione, in questa sede si è considerata un'attenuazione del livello di pressione sonora tra esterno e interno pari ad almeno 3 dBA (valore cautelativo rispetto ai dati di letteratura tecnico-scientifica).

Perciò, nel caso peggiore risulta che il livello di pressione sonora prodotto dalla sorgente sonora specifica in ambiente interno a finestre aperte è $Leq \leq 46.8 - 3 = 43.8$ dBA.

In funzione del livello di rumore residuo (LR) presente all'interno dell'ambiente ricevente, si verifica quindi alternativamente una delle seguenti condizioni:

- se $LR < 48.8$ dBA, allora risulta:

$$LA = 10\log(10^{LS/10} + 10^{LR/10}) < 10\log(10^{43.8/10} + 10^{48.8/10}) = 50.0 \text{ dBA}$$

per cui non è superata la soglia di applicabilità del limite ($LA \geq 50$ dBA);

- se $LR \geq 48.8$ dBA, allora risulta:

$$LD = LA - LR = 10\log(10^{LS/10} + 10^{LR/10}) - LR \leq 10\log(10^{43.8/10} + 10^{48.8/10}) - 48.8 = 50.0 - 48.8 = 1.2 \text{ dBA}$$

per cui è rispettato il limite differenziale $LD \leq 5$ dBA.

In sintesi, **il limite è rispettato o non si applica.**

ALLEGATO B: INDICAZIONI PER IMPIANTI A FUNZIONAMENTO CONTINUO

IMPIANTI MECCANICI

Affinché il rumore trasmesso sia per via aerea che per via strutturale risulti conforme ai limiti normativi, occorre rispettare le norme vigenti e i criteri della regola dell'arte.

"Le imprese realizzano gli impianti secondo la regola dell'arte, in conformità alla normativa vigente e sono responsabili della corretta esecuzione degli stessi. Gli impianti realizzati in conformità alla vigente normativa e alle norme dell'UNI, del CEI o di altri Enti di normalizzazione appartenenti agli Stati membri dell'Unione europea o che sono parti contraenti dell'accordo sullo spazio economico europeo, si considerano eseguiti secondo la regola dell'arte" (D.M. n. 37 del 22.01.2008).

I principali criteri di regola d'arte attinenti al tema del rumore sono richiamati qui di seguito.

I materiali ed i sistemi costruttivi previsti, pertinenti con le principali sorgenti sonore, devono essere corredati con prestazioni acustiche certificate in laboratorio o in opera in condizioni similari a quelle di progetto, a cura del produttore.

Ai sensi del D.M. n. 37 del 22.01.2008, terminata la posa e verificata la funzionalità, l'impresa installatrice è tenuta a consegnare al committente la dichiarazione di conformità dell'impianto realizzato. Della dichiarazione fanno parte integrante la relazione con le tipologie dei materiali utilizzati nonché lo schema di realizzazione dell'impianto, a testimonianza di avere agito nel pieno rispetto delle indicazioni progettuali, della regola dell'arte e nel totale rispetto delle norme vigenti, ivi compresi i limiti acustici applicabili.

Le sorgenti primarie del rumore nei sistemi di ventilazione sono le ventole delle unità di trattamento aria, dove possono essere presenti anche ulteriori sorgenti quali motori elettrici, linee di trasmissione meccanica della potenza, compressori di raffreddamento, pompe dell'acqua, umidificatori, unità termiche di riscaldamento o raffreddamento, filtri e serrande motorizzate.

Altre sorgenti sonore possono essere collocate all'interno delle condutture dell'aria e dei dispositivi di aerazione, dove il rumore è provocato dalla turbolenza dell'aria e dal flusso dell'aria su bordi affilati. Questo rumore generato dal flusso solitamente aumenta se si incrementa la velocità dell'aria trasportata. Può inoltre essere necessario tenere conto anche del rumore irradiato dalle pareti vibranti della condotta. Il rumore può inoltre essere immesso in una condotta attraverso la parete, un'apertura, un ingresso o un'uscita, se la condotta è esposta a elevati livelli di pressione sonora come quelli che possono essere presenti in un cavedio o in un ambiente per impianti tecnici.

Gli elementi tipici del sistema che devono essere presi in considerazione come sorgente e/o elementi di trasmissione sono:

- ✓ condutture;
- ✓ attenuatori acustici;
- ✓ giunti della condotta;
- ✓ gomiti e curve;
- ✓ variazioni della sezione trasversale;
- ✓ serrande antincendio (rumore rigenerato);
- ✓ impianti ad alta pressione (rumore rigenerato, rumore irradiato e perdita per inserzione);
- ✓ regolatori e valvole (rumore rigenerato e rumore irradiato);
- ✓ griglie e bocche di mandata / ripresa (perdita per riflessione).

La trasmissione sonora dal sistema di ventilazione all'edificio è principalmente aerea attraverso le condutture, talvolta include rumore strutturale dalla ventola e dai motori e talvolta rumore aereo attraverso l'edificio. La trasmissione attraverso la condotta è inoltre pertinente alla trasmissione sonora indiretta tra gli ambienti, caratterizzata con D_{ns} e da valutare in conformità alle norme EN 12354.

Occorre inoltre che gli impianti tecnologici non compromettano le caratteristiche acustiche di altri elementi dell'organismo edilizio (ad es. partizioni tra distinte unità immobiliari, massetti galleggianti, etc.). Di conseguenza, deve essere valutata preventivamente la compatibilità del lay-out, degli alloggiamenti e attraversamenti impiantistici e, laddove siano ritenuti compatibili, devono essere individuati tutti i dispositivi e accorgimenti necessari per contenere la perdita di prestazione acustica entro limiti di accettabilità.

Rumore trasmesso per via strutturale – criteri di buona tecnica

Affinché il rumore generato dagli impianti aereali e trasmesso sia per via aerea che per via strutturale risulti conforme ai limiti normativi, occorre rispettare i criteri di buona tecnica richiamati qui di seguito. Per ulteriori precisazioni si rimanda alla norma UNI EN 12354-5:2009.

L'installazione di impianti tecnologici a regola d'arte implica, laddove necessario, l'utilizzo di idonei sistemi di supporto e/o appoggio antivibranti, tali da garantire una trasmissione trascurabile del rumore per via strutturale. Occorre infatti disconnettere meccanicamente dalle strutture edilizie tutti gli elementi impiantistici rotanti o in rapido movimento ciclico.

Nel caso di installazione in contiguità o prossimità con spazi con permanenza di persone, in genere occorre isolare dalle vibrazioni gli impianti meccanici installati a pavimento, a parete e/o a soffitto. Potrebbe essere necessario utilizzare connessioni flessibili tra gli elementi impiantistici rotanti o in rapido movimento ciclico e i relativi condotti aereali, idrici ed elettrici. Occorre utilizzare sistemi di aggancio a molla e/o in neoprene per i condotti aereali almeno per i primi 15 m dagli elementi impiantistici disconnessi meccanicamente dalle strutture.

I dispositivi antivibranti più utilizzati sono costituiti da materiali elastomerici e/o molle in acciaio.

✓ Materiali elastomerici

Il materiale elastomerico, come ad esempio la gomma (caucciù, EPDM, SBR, etc.) e il poliuretano, si presta bene all'isolamento di macchine ed apparecchiature meccaniche nel caso sia necessario raggiungere un valore consistente dello smorzamento viscoso. Con gli elastomeri normalmente utilizzati, il rapporto di smorzamento ξ è compreso fra 0.02 e 0.1; il valore tipico è 0.05; può superare 0.2 con materiali sintetici come SBR, Butile o silicone.

Ad eccezione di specifiche formulazioni sintetiche, l'efficienza e la durata di tali dispositivi è fortemente compromessa, a causa di fenomeni di invecchiamento che portano ad un decadimento delle caratteristiche meccaniche, in presenza di fattori chimici o fisici avversi, quali:

- temperatura superiore a 70°C
- contatto prolungato con fluidi aggressivi
- contatto prolungato con acidi o basi
- ambiente aggressivo: olio, essenze, UV, etc.
- atmosfera aggressiva (ozono, cloro, etc.)

✓ Molle

Le molle metalliche sono usate spesso come isolatori di vibrazioni in quanto oltre i vantaggi legati alla resistenza meccanica consentono di risolvere problemi di isolamento a qualsiasi frequenza: con questi dispositivi è possibile ottenere un vasto campo di deflessioni statiche cambiando la tipologia di materiale impiegato per la costruzione e il loro dimensionamento. Le molle avvolte ad elica presentano frequenze proprie modeste a causa della loro notevole proprietà di deformabilità assiale.

✓ Materiali speciali

Per applicazioni particolari possono essere utilizzati dispositivi speciali (ad es. cuscini metallici in filo di acciaio inox intrecciato e pressato, per l'isolamento di tubazioni per il passaggio di fluidi a temperature estreme; cavi in acciaio inox arrotolati su barrette in lega leggera, per l'assorbimento delle accelerazioni dovute a urti; etc.).

A titolo esemplificativo, possibili sistemi di supporto e/o appoggio antivibranti sono illustrati qui di seguito.

✓ A pavimento



✓ A parete



✓ A soffitto



L'installatore dovrà verificare l'eventuale necessità e idoneità di ciascun sistema o dispositivo in funzione delle caratteristiche tecniche dell'elemento impiantistico a cui va applicato (carichi, baricentro, numero e posizione dei punti di fissaggio; direzione, forze, ampiezze e frequenze "f" di eccitazione, etc.) e del sistema o dispositivo stesso (frequenza naturale "fn", costante elastica, smorzamento, deflessione, scorrimento viscoso, resistenza ad agenti chimici e fisici, etc.).

In particolare:

- ✓ il numero, la ripartizione, la disposizione e le caratteristiche individuali dei dispositivi devono essere definiti in funzione delle caratteristiche d'insieme da dare al sistema antivibrante, al fine di ottenere i risultati desiderati;
- ✓ per ottenere normali condizioni di isolamento sono raccomandati sistemi a smorzamento standard (costante di smorzamento 0.05 ca.) e valori del rapporto f/f_n superiori a 3.5, in modo da ottenere un isolamento (parametro I) superiore al 90%, ossia una trasmissibilità (parametro T) inferiore al 10%;
- ✓ nelle situazioni più critiche sono necessari sistemi speciali (smorzamento trascurabile, valori del rapporto f/f_n superiori a 10), in grado di perseguire un isolamento superiore al 99%, ossia una trasmissibilità inferiore all'1%;
- ✓ in presenza di collegamenti tra l'elemento impiantistico vibrante e l'esterno in grado di interferire con il sistema o dispositivo antivibrante (ad es. tubazioni d'alimentazione, di scarico, di raffreddamento, etc.; cavi elettrici; etc.) occorre ottenere una connessione sufficientemente elastica (ad es. mediante raccordi flessibili) per consentire movimenti relativi. Questa precauzione permette di prevenire l'insorgere di ponti meccanici attraverso i quali possa avvenire la trasmissione delle vibrazioni, ma anche di evitare rotture di tali connessioni. L'isolamento vibratorio non impedisce al macchinario di muoversi: occorre lasciare sempre uno spazio sufficiente in ogni direzione per i movimenti liberi del macchinario.

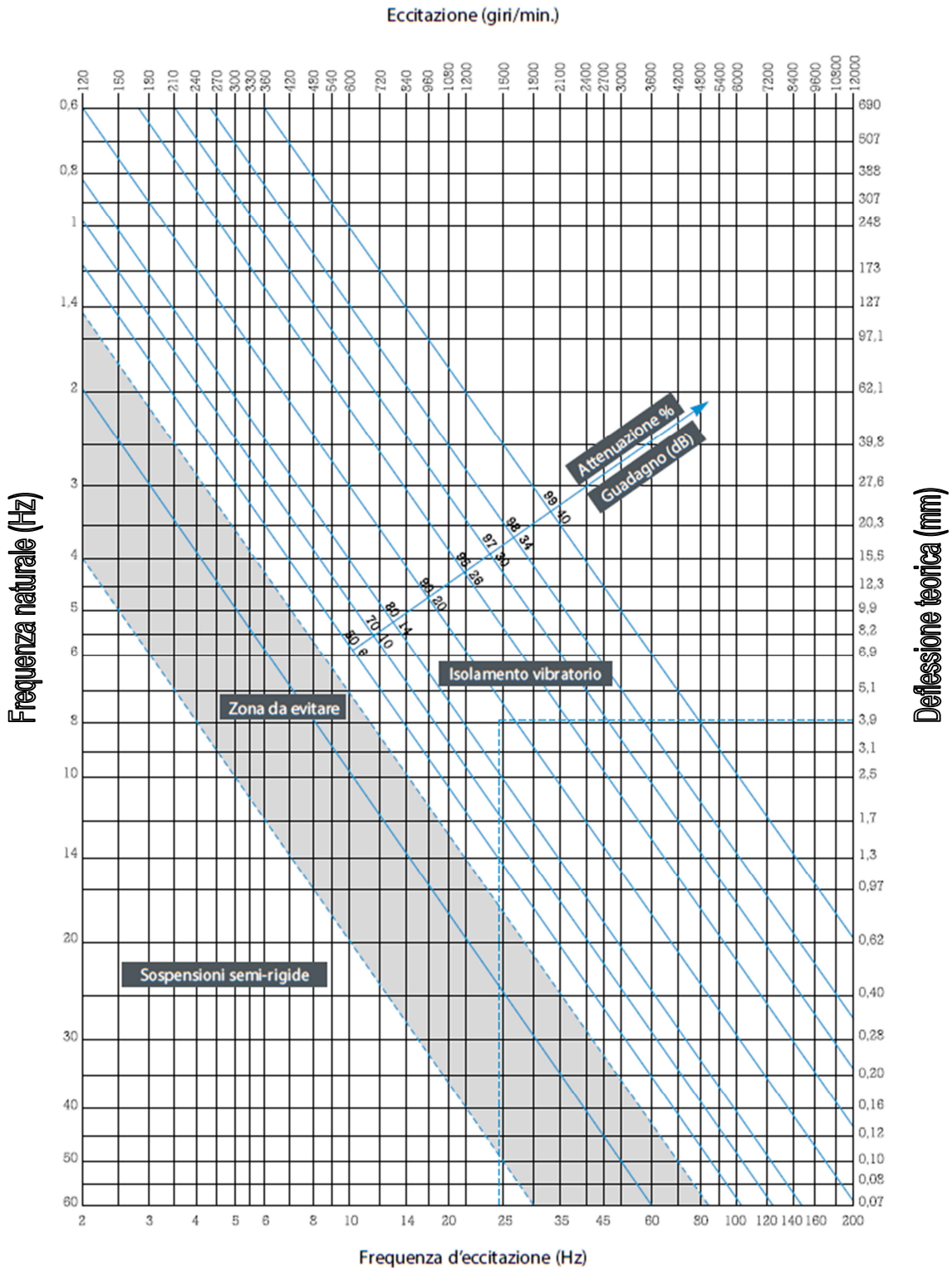
I materiali ed i sistemi costruttivi previsti devono essere corredati con prestazioni acustiche certificate in laboratorio o in opera in condizioni simili a quelle di progetto, a cura del produttore.

L'installatore può fare riferimento alla norma UNI EN 15657:2017 "Proprietà acustiche degli edifici e degli elementi di edificio - Misurazione di laboratorio del rumore per via strutturale delle apparecchiature di servizio degli edifici per tutte le condizioni di installazione", ad esperienze direttamente acquisite in installazioni analoghe a quelle adottate, a verifiche post-installazione dell'idoneità dei sistemi utilizzati.

Ai sensi del D.M. n. 37 del 22.01.2008, terminata la posa e verificata la funzionalità, l'impresa installatrice è tenuta a consegnare al committente la dichiarazione di conformità dell'impianto realizzato. Della dichiarazione fanno parte integrante la relazione con le tipologie dei materiali utilizzati nonché lo schema di realizzazione dell'impianto, a testimonianza di avere agito nel pieno

rispetto delle indicazioni progettuali, della regola dell'arte e nel totale rispetto delle norme vigenti, ivi compresi i limiti acustici applicabili.

Laddove opportuno / necessario, l'installatore dovrà indicare anche un idoneo programma di manutenzione / sostituzione dei dispositivi antivibranti installati.



Rumore trasmesso per via aerea – criteri di buona tecnica

Affinché i livelli di rumore siano contenuti entro i limiti normativi, occorre che il progetto e la realizzazione degli impianti aeraulici rispettino i criteri di buona tecnica richiamati qui di seguito. Per ulteriori precisazioni si rimanda alla norma UNI EN 12354-5:2009 e ad altri riferimenti e standard prodotti dalla comunità tecnico-scientifica internazionale (in particolare standard VDI, DIN, ASHRAE, AHRI, etc.).

✓ *Resistenza al flusso e turbolenze*

Occorre progettare il sistema di distribuzione dell'aria in modo tale da minimizzare la resistenza al flusso e le turbolenze. Un'elevata resistenza al flusso aumenta la pressione richiesta al ventilatore, che produce conseguentemente più rumore, soprattutto alle basse frequenze. Anche le turbolenze aumentano il rumore del flusso d'aria, soprattutto alle basse frequenze.

✓ *Ventilatore*

Occorre selezionare un ventilatore che possa funzionare il più vicino possibile al punto di massima efficienza, in funzione del flusso d'aria e della pressione statica richiesti. Inoltre, occorre selezionare un ventilatore che generi il minimo rumore possibile alle condizioni operative richieste. L'utilizzo di un ventilatore sovradimensionato o sottodimensionato, che non operi perciò in condizioni prossime al punto di massima efficienza, può incrementare sostanzialmente i livelli di rumore.

✓ *Condotti*

Occorre contenere il più possibile la velocità dell'aria nei condotti a servizio di spazi sensibili al rumore, incrementando la sezione del condotto.

✓ *Silenziatori*

Occorre selezionare silenziatori che non incrementino significativamente la pressione statica totale richiesta, in modo da minimizzare il rumore rigenerato dal dispositivo.

✓ *Rumore aerodinamico autogenerato*

Il rumore aerodinamico è generato da:

- elevate velocità di flusso (l'ampiezza del rumore aerodinamico è proporzionale alla quinta, sesta, settima potenza della velocità del flusso, perciò la riduzione della velocità consente di contenere notevolmente il rumore);
- cambi di direzione (soprattutto gomiti);
- cambi di sezione;
- regolatori di portata (serrande);
- diramazioni;
- distanza inferiore a 5-10 volte il diametro del condotto tra elementi di condotto che creano turbolenza.

✓ *Accorgimenti per la riduzione del rumore lungo il condotto*

- installare un plenum a ridosso dell'unità ventilante;
- allungare il percorso tra unità ventilante e terminale (o altra ubicazione sensibile);
- suddividere il sistema di condotti in due o più linee parallele;
- utilizzare silenziatori;
- utilizzare condotti con rivestimento fonoassorbente.

ALLEGATO C: INDICAZIONI PER IMPIANTI A FUNZIONAMENTO DISCONTINUO

IMPIANTI IDRAULICI

Affinché il rumore trasmesso sia per via aerea che per via strutturale risulti conforme ai limiti normativi, occorre rispettare le norme vigenti e i criteri della regola dell'arte.

"Le imprese realizzano gli impianti secondo la regola dell'arte, in conformità alla normativa vigente e sono responsabili della corretta esecuzione degli stessi. Gli impianti realizzati in conformità alla vigente normativa e alle norme dell'UNI, del CEI o di altri Enti di normalizzazione appartenenti agli Stati membri dell'Unione europea o che sono parti contraenti dell'accordo sullo spazio economico europeo, si considerano eseguiti secondo la regola dell'arte" (D.M. n. 37 del 22.01.2008).

Sia in sede di progettazione che di installazione deve essere osservata la serie di norme UNI EN 12056 "Sistemi di scarico funzionanti a gravità all'interno degli edifici".

I materiali ed i sistemi costruttivi previsti, pertinenti con le principali sorgenti sonore, devono essere corredati con prestazioni acustiche certificate in laboratorio o in opera in condizioni simili a quelle di progetto, a cura del produttore.

Le principali sorgenti di rumore di un impianto idrico e sanitario sono:

- ✓ valvole e rubinetti;
- ✓ tubazioni (sia di adduzione che di deflusso);
- ✓ cassette;
- ✓ bacini di lavaggio (wc, vasche da bagno, piatti doccia, lavandini, lavelli, ...);
- ✓ pompe, caldaie, boiler e impianti affini.

Al fine di ridurre la generazione e la trasmissione di rumore da un impianto idraulico occorre adottare opportuni accorgimenti in sede di progetto impiantistico, di scelta di materiali e componenti, di posa in opera.

Inoltre, gli impianti tecnologici non devono compromettere le caratteristiche acustiche di altri elementi dell'organismo edilizio (ad es. partizioni tra distinte unità immobiliari, massetti galleggianti, etc.). Di conseguenza, deve essere valutata preventivamente la compatibilità del lay-out, degli alloggiamenti e attraversamenti impiantistici e, laddove siano ritenuti compatibili, devono essere individuati tutti i dispositivi e accorgimenti necessari per contenere la perdita di prestazione acustica entro limiti di accettabilità.

Segue l'indicazione di accorgimenti di carattere generale, necessari per contenere il rumore degli impianti idraulici entro il limite normativo.

Tubazioni

- ✓ Le tubazioni, in funzione della natura dei materiali di cui sono costituite, delle dimensioni, della configurazione geometrica e del flusso dell'acqua, possono emettere rumori di diversa intensità. Indicativamente per tubazioni per comuni applicazioni civili, dritte non isolate, ad una velocità dell'acqua di 3,4 m/s:
 - il rame emette un suono di 46 dB(A),
 - la plastica emette un suono di 41 dB(A),
 - il piombo emette un suono di 39 dB(A),
 - l'acciaio emette un suono di 38 dB(A),
 - il rame rivestito con plastica emette un suono di 29 dB(A).

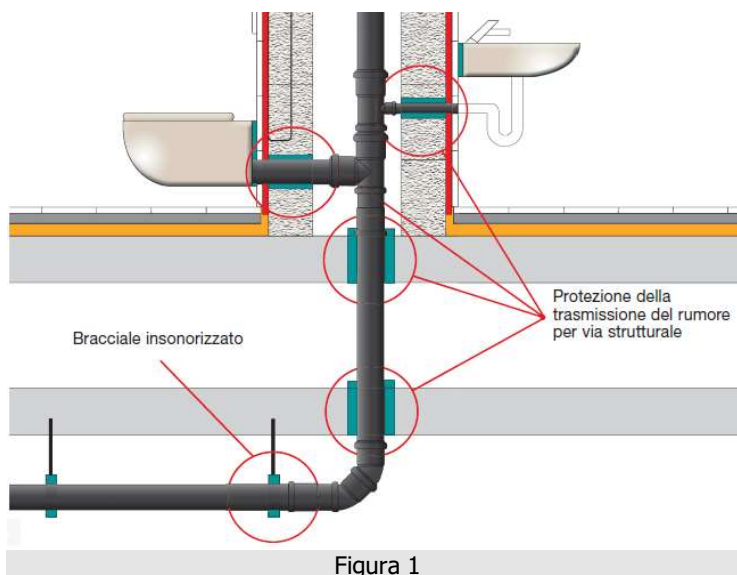
La riduzione del rumore si può ottenere utilizzando appositi materiali insonorizzanti (ad es. tubazioni multistrato, tubazioni in polipropilene rinforzato ed appesantito con cariche minerali,

elementi soggetti ad urto d'acqua appositamente sagomati e rinforzati) e/o rivestendo la tubazione con guaina stratificata pesante (almeno 4 kg/mq).

L' idoneità delle soluzioni adottate va valutata e verificata caso per caso: si possono utilizzare soluzioni miste, limitando quelle maggiormente performanti nei soli casi più critici.

✓ Evitare connessioni rigide tra tubazioni e strutture edili. In particolare:

- prevenire o rimuovere l'accumulo di malta, materiali di scarto o altro materiale rigido tra tubazioni e strutture edili;
- garantire il distanziamento necessario per evitare punti di contatto, tenuto conto anche delle tolleranze in sede di installazione;
- utilizzare idonei materiali resilienti per il rivestimento delle tubazioni in corrispondenza degli attraversamenti delle strutture edili, nonché in ogni ulteriore punto di vincolo o possibile contatto con le strutture edili, come schematizzato in figura 1;
- le soluzioni e i materiali resilienti utilizzati devono consentire di mantenere un efficace disaccoppiamento anche in presenza di fenomeni di dilatazione termica delle tubazioni.



✓ Relativamente alla rete di adduzione, occorre:

- prevenire la trasmissione di vibrazioni dalle pompe di alimentazione alle tubazioni (vanno utilizzate idonee connessioni flessibili – es. in figura 2),
- limitare la lunghezza di tubazioni in metallo soggette a possibili vibrazioni indotte dalle pompe e/o dal transito del fluido (l'interruzione della lunghezza delle tubazioni in metallo con manicotti elastici ogni 6 metri riduce l'energia vibratoria che la attraversa: in pratica è opportuno disporre sulla colonna montante un manicotto elastico ogni piano all'ingresso di ogni singolo appartamento),
- prevenire la generazione di rumore di cavitazione (vanno evitate valvole e restrizioni in cui si possano verificare velocità elevate e pressioni molto basse): a titolo indicativo (fermo restando limitazioni più severe stabilite da norme tecniche o comunque opportune in presenza di specifiche criticità), per evitare fischi e ronzii delle tubazioni e delle valvole la velocità dell'acqua deve essere contenuta come indicato nella tabella qui a lato.
- prevenire la generazione di "colpi d'ariete" (ad es. vanno inseriti appositi dispositivi su ogni tratto lungo di tubo),
- prevenire la generazione di turbolenze (vanno evitati gomiti e curve troppo strette);



Figura 2

MASSIME VELOCITÀ CONSIGLIABILI PER L'ACQUA NELLE TUBAZIONI									
Diametro del tubo (mm)									
25	50	80	100	125	150	200	250	≥300	
0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	2,9	3,0	
Velocità massima (m/s)									

- evitare brusche diminuzioni della velocità dell'acqua (in particolare vanno evitate variazioni brusche di sezione dei condotti; ove tale accorgimento non è possibile, ad es. nel caso di sbocco in serbatoio, occorre isolare i tratti dove si genera il rumore, sia dal resto delle tubazioni mediante connessioni flessibili, sia dalle strutture edili mediante elementi resilienti).
- ✓ Relativamente alla rete di scarico, occorre:
 - ove opportuno, utilizzare elementi flessibili di raccordo con gli apparecchi utilizzatori (es. figura 3);
 - progettare e posizionare le tubazioni con le dovute dimensioni e pendenze e garantire la necessaria ventilazione dell'impianto, nel rispetto delle norme di regola d'arte (UNI EN 12056), per lasciare inalterato il livello di acqua all'interno dei sifoni ed evitare così rumori di depressione (gorgoglio),



Figura 3

- evitare curve lungo le colonne di scarico (ossia evitare lo spostamento in senso orizzontale dell'asse della colonna): ad es., la successione di n° 2 braghe da 45°-30°-15° determina, per effetto dell'urto dell'acqua di scarico, un incremento del rumore dell'impianto rispettivamente di 9-7-5 dB(A) ca.;
- realizzare il piede di colonna di scarico mediante la successione di due curve da 45° ciascuna, distanziate tra loro da un tratto rettilineo di lunghezza pari ad almeno due diametri, come illustrato in figura 4 (non è ammissibile l'alternativa di realizzare una sola curva a 90°);
- utilizzare elementi soggetti all'urto dell'acqua (in cui si genera più rumore rispetto agli elementi soggetti alla sola caduta verticale o al deflusso di acqua) adeguatamente insonorizzati;

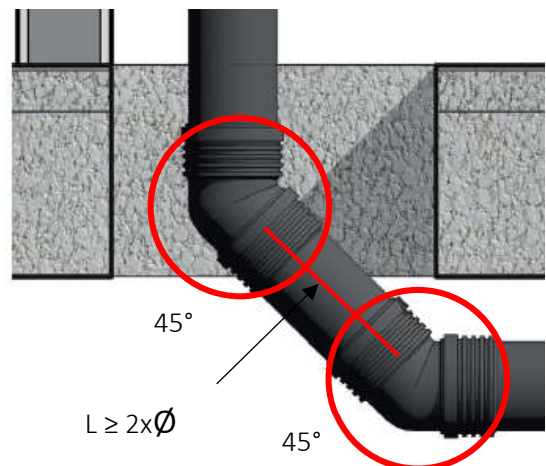


Figura 4

- ai fini comparativi tra prodotti e soluzioni differenti, si possono confrontare tra loro i livelli di rumore certificati in laboratorio ai sensi della norma EN 14366, in condizioni di allestimento tra loro paragonabili (i valori certificati in laboratorio non hanno però alcuna pertinenza con i valori attesi in opera, in quanto l'allestimento di laboratorio è molto differente da quello comune in opera: contempla infatti una colonna perfettamente verticale con 2 fissaggi per piano ad una parete in cls di 220 kg/mq).

A titolo esemplificativo, seguono i livelli di rumore strutturale dietro parete certificati nelle medesime condizioni di laboratorio per le tubazioni Wavin AS+ e Wavin SiTech+ (per ciascun tipo di tubazione sono state verificate due distinte modalità di staffaggio: bracciale singolo e bracciale doppio).

Wavin AS+ (tubazione in polipropilene densità 1.90 g/cm³, rinforzato ed appesantito con cariche minerali):

EN 14366	Portata 2 l/s	4 l/s
Bracciale Wavin "low noise" (bracciale singolo) (P-BA 62/2019)	12 dB(A)	17 dB(A)
Bracciale Wavin "no noise" (bracciale doppio) (PA-BA 9/2020)	<10dB(A)	10 dB(A)

Wavin SiTech+ (tubazione in polipropilene densità 1.30 g/cm³, co-estruso a tre strati differenziati, di cui lo strato intermedio rinforzato con cariche minerali):

EN 14366	Portata 2 l/s	4 l/s
Bracciale Wavin "low noise" (bracciale singolo) (P-BA 62/2019)	19 dB(A)	23 dB(A)
Bracciale Wavin "no noise" (bracciale doppio) (PA-BA 9/2020)	11 dB(A)	13 dB(A)

Staffaggio delle tubazioni

✓ Per lo staffaggio delle tubazioni alle strutture edili, occorre innanzitutto progettare e realizzare strutture edili idonee. In particolare:

- la norma DIN 4109 prescrive che le pareti a paramento murario unico alle quali o nelle quali devono essere fissati impianti o relative attrezzature (ad es. tubazioni per le acque reflue) abbiano una massa di almeno 220 kg/mq; pareti con massa inferiore a 220 kg/mq possono essere utilizzate solo se prove precedenti hanno dimostrato che tali pareti presentano proprietà accettabili per quanto riguarda la trasmissione del rumore;
- evitare il fissaggio a strutture leggere e flessibili (ad es. strutture in cartongesso): quanto maggiore è la massa per unità di superficie (Kg/m²) del manufatto (detta anche massa frontale), tanto è minore la possibilità che esso possa essere messo in oscillazione dalle vibrazioni trasmesse dai braccioletti di fissaggio (figura 5);
- staffare a breve distanza (max 50 cm) dagli angoli, lontano dal centro parete, in quanto la zona centrale è la più soggetta a vibrazioni ed oscillazioni sonore;
- evitare lo staffaggio su muri che delimitano locali abitativi sensibili; ove non altrimenti ovviabile, occorre applicare speciali misure di protezione dal rumore.

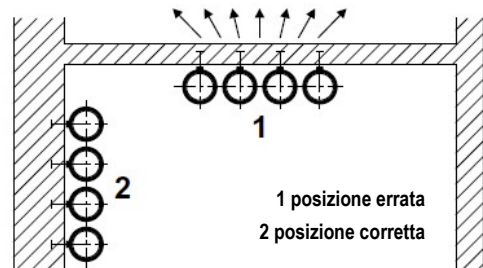


Figura 5

✓ Per lo staffaggio delle tubazioni alle strutture edili, utilizzare idonei prodotti antivibranti (es. in figura 6), privilegiando prodotti certificati e con accorgimenti specifici, in particolare:

- bracciali muniti di dispositivi idonei ad assicurare sempre la corretta forza di serraggio (un'eventuale eccessiva forza di serraggio porterebbe a una riduzione delle performance sonore);
- bracciali per staffaggio a punto scorrevole – "sliding pipe clamp" (il tubo può ancora espandersi e contrarsi longitudinalmente a causa di variazioni di temperatura una volta che il sistema è stato installato) al posto di staffaggio a punto fisso – "fixing pipe clamp" (i movimenti di dilatazione/contrazione termica del tubo non sono più consentiti una volta che il sistema è stato installato).



Figura 6

- ✓ Realizzare gli staffaggi della tipologia, nelle posizioni e distanze più opportune. In particolare:

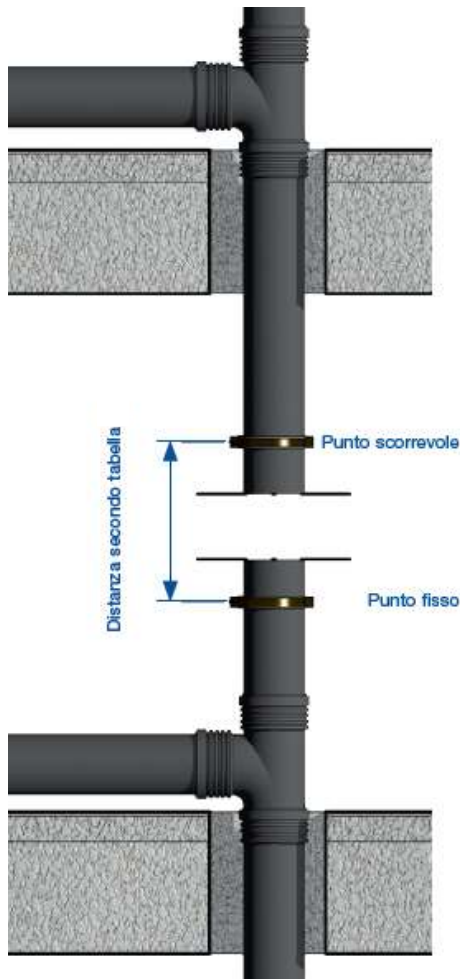


Figura 7

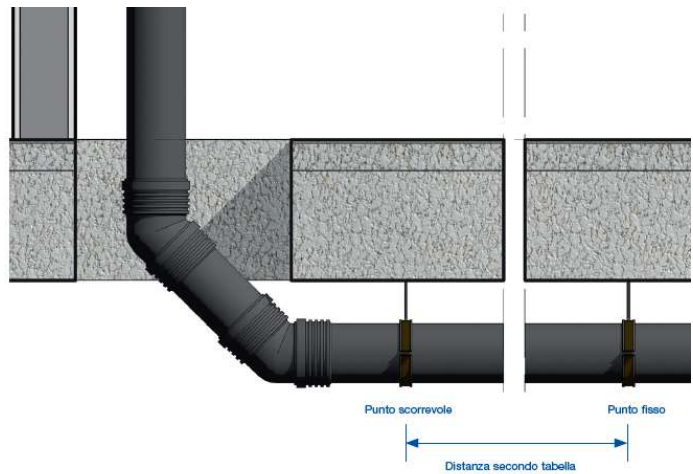


Figura 8

- nelle installazioni verticali, ogni sezione di tubo tra i piani deve essere fissata da un bracciale a punto fisso (per evitare che la tubazione verticale scivoli verso il basso), mentre tutti i rimanenti bracciali (posizionati sopra quello fisso) devono essere scorrevoli (figura 7);
- nelle installazioni orizzontali a piè di colonna, il punto di fissaggio più vicino al piè di colonna deve essere di massima efficienza antivibrante, del tipo scorrevole (figura 8);
- ove non diversamente specificato dalle norme tecniche e/o dal produttore, si devono rispettare le seguenti distanze massime tra bracciali:

- evitare di staffare in corrispondenza delle zone d'urto dell'acqua; i punti di fissaggio più vicini a tali zone (ad es. prima e dopo un cambio di direzione) devono essere di massima efficienza antivibrante;
- in corrispondenza dei raccordi potrebbe essere necessario aggiungere un bracciale (o più) per garantire il posizionamento e la pendenza corretta;

Diametro Nominale Esterno DN/OD	Max distanza tra bracciali	
	orizzontale	verticale
	(mm)	(mm)
50	750	1250
75	1125	1875
90	1350	2000
110	1500	2000
125	1625	2000
160	2000	2000
200	2000	2000

- assicurarsi che gli staffaggi siano correttamente allineati, per evitare tensioni dei materiali e/o la compressione non corretta degli elementi vibrosmorzanti dei bracciali;
- le caratteristiche costruttive e di installazione delle barre filettate che connettono i bracciali alla struttura edilizia (tipo di lega, lunghezza, diametro, etc.) devono assicurare la rigidità necessaria per sopportare le sollecitazioni flessionali trasmesse dalle tubazioni (in particolare in occasione dei picchi di pressione interna alle tubazioni), secondo le indicazioni del fornitore;

Cavedi

- ✓ In linea generale, è necessario che le tubazioni, sia di adduzione che di scarico, siano alloggiare all'interno di cavedi di dimensioni e caratteristiche costruttive adeguate, evitando percorsi in traccia all'interno di strutture murarie o annegate nel calcestruzzo. In particolare, i tubi di scarico idrico non devono essere installati a pavimento (ad es. nello strato di sottofondo alleggerito), bensì solo a parete.
- ✓ La tipologia costruttiva della parete del cavedio deve essere idonea a conseguire il necessario abbattimento del rumore prodotto all'interno del cavedio stesso. Nelle situazioni comuni, è necessario separare i cavedi dai locali abitativi mediante un tamponamento con una prestazione R_w di almeno 25 dB.
- ✓ È opportuno evitare la realizzazione di cavedi all'interno della partizione tra distinte unità immobiliari, in quanto il cavedio può comportare forometrie e/o la riduzione dello spessore dei materiali e/o agevolare la generazione e/o la trasmissione di rumore per via aerea e/o per via strutturale. Sono ammissibili eccezioni, da valutare caso per caso, solo a fronte dell'adozione di idonee contromisure da definire ad hoc (ad es. l'incremento dello spessore della partizione per la realizzazione di un cavedio di dimensioni e caratteristiche costruttive adeguate) e nel caso in cui gli ambienti confinanti siano non sensibili (ambienti "accessori o di servizio" come definiti nella norma UNI 11367).
- ✓ La tipologia costruttiva dei cavedi deve essere idonea anche ad evitare che insorgano fenomeni di trasmissione laterale (sia per via aerea che per via strutturale) che riducono le prestazioni di isolamento acustico delle partizioni fonoisolanti, ad es.:
 - disaccoppiare acusticamente la parete del cavedio dalla partizione fonoisolante (figura 9 – schema n° 1);
 - applicare al lato esterno della parete del cavedio uno strato addizionale – controparete, controsoffitto, etc. – che si interrompe in corrispondenza della partizione fonoisolante (figura 9 – schema n° 2);
 - in corrispondenza dell'attraversamento della partizione fonoisolante, costipare la sezione libera del cavedio con materiale fonoassorbente (figura 9 – schema n° 3).

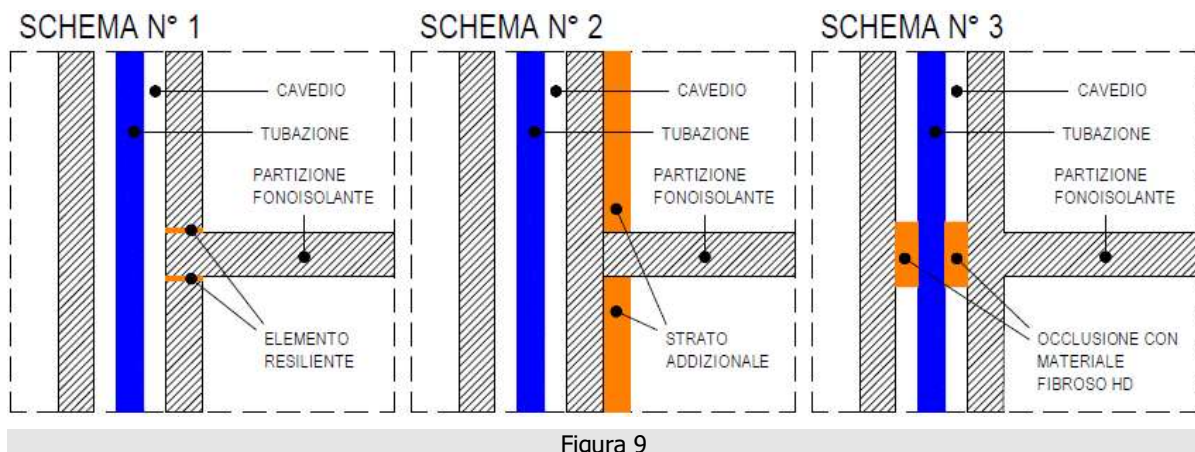


Figura 9

- ✓ Il rumore nei cavedi può aumentare di 10dB (A) a causa della riflessione sonora. È quindi necessario inserire materiale fonoassorbente all'interno dei cavedi, ad es. rivestendo di lana minerale di spessore ≥ 40 mm almeno due pareti contigue all'interno del cavedio (figura 10).

Cassette wc

- ✓ È necessario evitare l'alloggiamento di cassette a incasso all'interno della partizione tra distinte unità immobiliari. Sono ammissibili eccezioni solo a fronte dell'adozione di idonee contromisure (soluzioni stratigrafiche adeguate) e nel caso in cui gli ambienti confinanti siano non sensibili (ambienti "accessori o di servizio" come definiti nella norma UNI 11367).
- ✓ Ove previste cassette wc incassate, queste devono essere rivestite con pannelli disaccoppianti (figura 11).
- ✓ È opportuno utilizzare modelli con tecnologia costruttiva silenziosa (classe I di silenziosità ai sensi della norma UNI EN ISO 3822), per ridurre il rumore di azionamento (mediante idoneo disegno del pulsante o della placca di azionamento), quello di deflusso (mediante idoneo disegno della valvola di uscita) e quello di ricarica (ad es. mediante galleggiante magnetico).

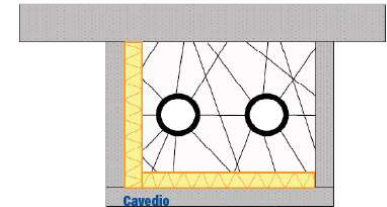
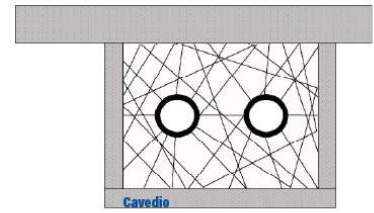


Figura 10



Figura 12

Bacini di lavaggio

- ✓ la norma DIN 4109 prescrive che le pareti a rivestimento unico alle quali o nelle quali devono essere fissati impianti o relative attrezzature abbiano una massa relativa alla superficie di almeno 220 kg/mq. Pareti con valore massa/superficie correlata inferiore a 220 kg/mq possono essere utilizzate solo se le prove precedenti hanno dimostrato che le pareti presentano proprietà accettabili per quanto riguarda la trasmissione del rumore.

- ✓ Per gli apparecchi a parete (lavabo, wc, orinatoio, bidet, doccia a filo pavimento con scarico a parete) è opportuno utilizzare strutture metalliche di supporto autoportanti (telaio formato da binari orizzontali e montanti verticali) da installare previa applicazione di idoneo nastro disaccoppiante, davanti alla parete o come parete indipendente, con successivo riempimento degli interstizi con lana minerale e finitura a secco (è opportuno prediligere soluzioni modulari

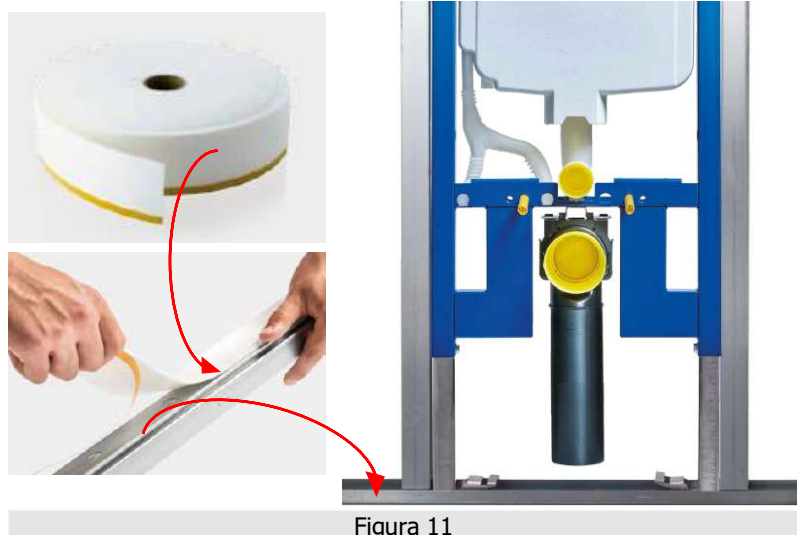


Figura 11

prefabbricate e preassemblate in fabbrica, regolabili in cantiere). Si veda ad es. la figura 12.

- ✓ È necessario impiegare idonei sistemi di appoggio e fissaggio resilienti (ad es. piedini, strisce, pannelli disaccoppianti per vaso wc, per vasca da bagno e per piatto doccia), evitando connessioni rigide con le strutture edilizie. Si vedano ad es. le figure 13, 14 e 15.

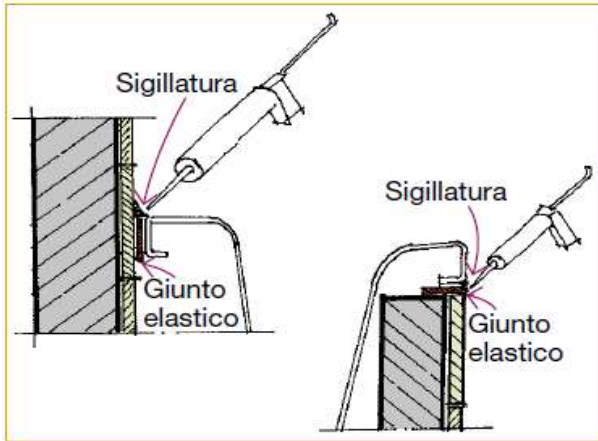


Figura 13

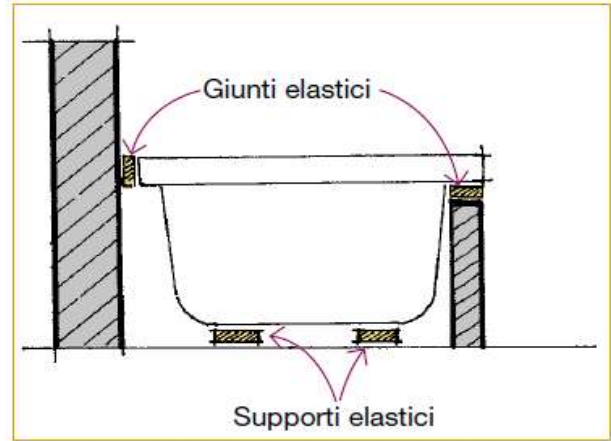


Figura 14

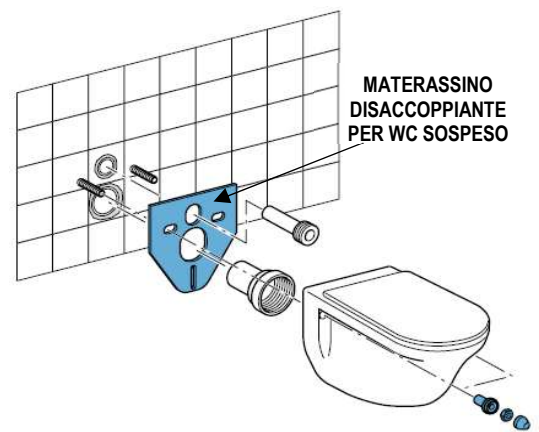


Figura 15

Valvole

Per prevenire la generazione di rumore di cavitazione in corrispondenza delle valvole, occorre:

- ✓ realizzare un impianto ben dimensionato e bilanciato: evitare velocità elevate del fluido e pressioni molto basse, evitare elevate differenze di pressione in corrispondenza della valvola (generalmente dev'essere < 0.2 bar), ove opportuno installare valvole di by-pass differenziale;
- ✓ utilizzare valvole con canale e otturatore sagomati in modo tale da consentire un ampio passaggio del fluido (riducendo così la perdita di carico) e ottimizzare le caratteristiche fluidodinamiche della valvola durante l'azione progressiva di apertura o chiusura.

Rubinetteria

- ✓ *In apertura* La rumorosità della rubinetteria in fase di apertura aumenta con l'aumentare della velocità e della pressione dell'acqua per cui è opportuna l'installazione di un riduttore di pressione all'entrata di ogni unità abitativa.
- ✓ *In chiusura*. Anche la brusca chiusura può generare un "colpo d'ariete" rumoroso che può essere ridotto con opportuni ammortizzatori installati sui tratti lunghi delle tubazioni.
- ✓ L'inserimento di un manicotto elastico fra tubazione e rubinetto associato ad un rompigitto aeratore installato sul rubinetto come pure un opportuno disegno della sezione del rubinetto,

priva di spigoli vivi, unita ad una chiusura progressiva, più efficace degli ammortizzatori, contribuiscono a ridurre entrambi i problemi.

Pompe, autoclavi, caldaie, boiler e impianti affini

- ✓ Tali impianti devono essere installati in locali tecnici opportunamente posizionati e adeguatamente insonorizzati (per evitare la trasmissione di rumore per via aerea), mediante sistemi di appoggio a pavimento, fissaggio a parete e/o aggancio a soffitto con adeguate caratteristiche antivibranti (per evitare la trasmissione di rumore per via strutturale).
- ✓ Tali impianti non devono essere in connessione rigida con alcun elemento edilizio: eventuali tubazioni o canali devono essere connessi a tali impianti mediante idonei giunti antivibranti.

Dichiarazione di conformità

- ✓ Ai sensi del D.M. n. 37 del 22.01.2008, terminata la posa e verificata la funzionalità, l'impresa installatrice è tenuta a consegnare al committente la dichiarazione di conformità dell'impianto realizzato. Della dichiarazione fanno parte integrante la relazione con le tipologie dei materiali utilizzati nonché lo schema di realizzazione dell'impianto, a testimonianza di avere agito nel pieno rispetto delle indicazioni progettuali, della regola dell'arte e nel totale rispetto delle norme vigenti, ivi compresi i limiti acustici applicabili.

ALLEGATO D: MISURA DI CLIMA ACUSTICO NELLO STATO DI FATTO

Ai fini delle valutazioni previsionali dei livelli di rumore in ambiente interno, immessi per trasmissione dall'esterno attraverso la facciata, in data mercoledì 21/06/2023 è stata effettuata una misura di clima acustico nello stato di fatto presso l'area oggetto di intervento.

La postazione microfónica, illustrata nella foto seguente, è stata allestita ad altezza 4 m dal terreno.



La misura è stata effettuata utilizzando la seguente strumentazione, conforme agli standard I.E.C. n. 651, 804 per strumenti in classe 1:

- fonometro analizzatore real-time Svantek Svan 948 ch. 4 nr. di serie 11578 + preamplificatore Svantek SV12L nr. di serie 11475 + microfono Svantek SV22 nr. di serie 4011930
(certificato di taratura analizzatore: Accredia LAT 068 49501-A del 22/07/2022)
(certificato di taratura filtri 1/3 ottave: Accredia LAT 068 49502-A del 22/07/2022)
- calibratore Quest QC10, nr. di serie QE3060038
(certificato di taratura: Accredia LAT 068 49500-A del 22/07/2022)

I certificati di taratura sono disponibili su richiesta.

Prima e dopo la misura, la catena di misura è stata sottoposta a calibrazione mediante calibratore, verificando uno scostamento di 0.1 dB, per cui è risultato ampiamente rispettato il limite massimo di 0.5 dB di scostamento stabilito dal DM 16/03/98 per l'attendibilità della misura.

La misura è stata effettuata nel rispetto delle prescrizioni del DM 16/03/98 "Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico" (distanza da superfici riflettenti ≥ 1 metro, assenza di vento, precipitazioni atmosferiche o altri eventi meteorologici incompatibili con la misura, etc.).

Seguono i dati fonometrici acquisiti.

Inizio misura: mercoledì 21/06/2023, ore 09:00

Fine misura: mercoledì 21/06/2023, ore 11:00

Durata misura: 120 minuti

Grafico dell'andamento nel tempo dei livelli di pressione sonora istantanea acquisiti con costante di tempo Fast a passo 100 millisecondi (linea nera) e del livello continuo equivalente cumulativo (linea rossa), in dBA

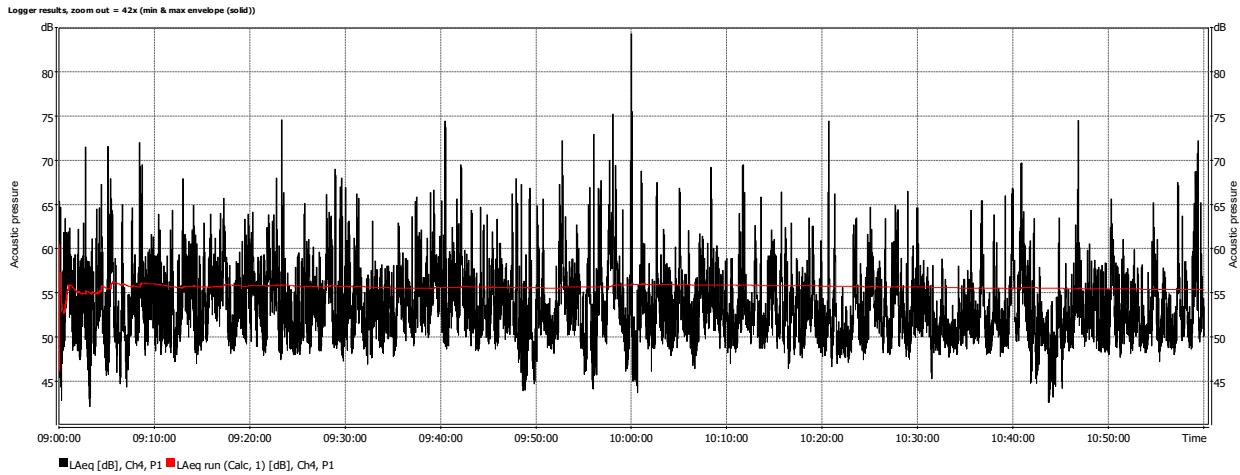
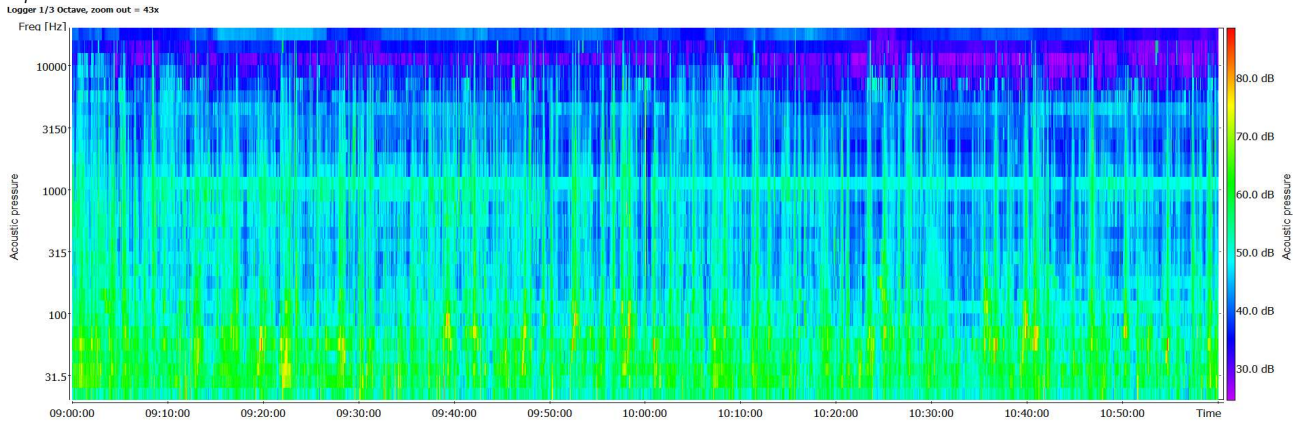


Grafico dell'andamento nel tempo dei livelli di pressione sonora istantanea acquisiti per bande di 1/3 di ottava da 20 Hz a 20 kHz a passo 100 millisecondi in dBA



	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	16 kHz	Tot A
Misura complessiva (09:00-11:00)											
Leq (dB)	59,8	61,4	54,3	51,2	50,5	51,9	47,5	45,2	39,8	39,5	55,6
Porzione di misura n° 1 (09:00-09:30)											
Leq (dB)	61,8	62,0	55,1	51,8	51,1	52,3	47,6	45,4	39,7	40,5	56,0
Porzione di misura n° 2 (09:30-10:00)											
Leq (dB)	59,4	61,6	54,6	51,3	51,3	52,6	48,0	45,3	41,5	39,9	56,2
Porzione di misura n° 1 (10:00-10:30)											
Leq (dB)	58,9	58,6	53,3	51,1	49,9	51,6	47,9	45,6	39,6	39,0	55,4
Porzione di misura n° 2 (10:30-11:00)											
Leq (dB)	58,1	62,4	53,9	50,5	49,3	51,0	46,3	44,4	37,2	38,1	54,6