

INDICE

1	PREMESSA.....	2
2	ACUSTICA EDILIZIA - RIFERIMENTI LEGISLATIVI E NORMATIVA.....	2
2.1	Requisiti acustici passivi D.P.C.M. 5 dicembre 1997.....	3
2.2	I criteri ambientali minimi (C.A.M.)	3
2.3	Valori di riferimento per i requisiti acustici e per le caratteristiche acustiche interne	4
2.4	Definizioni.....	4
3	ISOLAMENTO ACUSTICO PARTIZIONI ORIZZONTALI E VERTICALI.....	5
3.1	Parete tipologia divisoria aule	5
3.2	Solaio interpiano di separazione ambienti.....	7
4	LIVELLO DI RUMORE DA CALPESTIO.....	8
5	INDICE DI VALUTAZIONE DELL'ISOLAMENTO ACUSTICO DI FACCIATA	9
6	CARATTERISTICHE ACUSTICHE INTERNE	11
6.1	Definizioni.....	11
6.2	Valore di riferimento del tempo di riverberazione	11
6.3	Descrittori acustici dell'intellegibilità acustica negli ambienti scolastici	12
6.4	Analisi progettuale degli ambienti	12
7	RUMORE PRODOTTO DA IMPIANTI A FUNZIONAMENTO CONTINUO E DISCONTINUO	13
7.1	Impianti di climatizzazione (servizi a funzionamento continuo).....	15
7.2	Centrale climatizzazione (servizi a funzionamento continuo dislocati esternamente)	16
7.3	Impianto climatizzazione (servizi a funzionamento continuo dislocati nel locale asservito).....	17
8	IMPATTO ACUSTICO CENTRALE DI CLIMATIZZAZIONE.....	18
8.1	Impatto Acustico - Riferimenti legislativi e normativi	18
8.2	Limiti di rumorosità	19
8.2.1	<i>Piano classificazione acustica comune di Nettuno (RM)</i>	19
8.2.2	<i>Differenziale di immissione (applicabile in ambiente abitativo)</i>	20
8.3	Limiti di riferimento per la progettazione	20
8.4	Sorgenti	20
8.5	Ricettori.....	21
8.6	Rispetto dei limiti	22
8.6.1	<i>Stima dei livelli sonori attesi</i>	22
	<i>Valore limite di emissione</i>	22
8.6.2	<i>Valore limite di immissione assoluto</i>	23
8.6.3	<i>Valore limite di immissione differenziale (ambiente abitativo)</i>	23
9	STIMA DEL GRADO DI CONFIDENZA E GIUDIZIO CONCLUSIVO.....	23

Bagno a Ripoli (FI), ottobre 2023


Ing. Sacha Slim Bouhageb
N° 7988 Elenco TCAA Ministero Dell'ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare
Ex N° 387 Elenco TCAA Reg. Toscana - Ex N° 79 Elenco TCAA Prov. Firenze (atto dir. Prov. Fl n. 3451/05/11/2003)

Ing. Sacha Slim Bouhageb

TCAA MATTM 7988

Sede: via Pian d'Albero 4, 50012 Bagno a Ripoli (FI)

Studio: Viale S. Lavagnini 41 50129 Firenze

Tel 0555392104 – Cell 3356123490 – E-mail ssb@2sb.it – PEC ssb@pec.2sb.it

1 PREMESSA

Il presente documento relativo all'Analisi dei Requisiti Acustici Passivi degli Edifici (con riferimento ai Criteri ambientali minimi, viene valutata la Specifica tecnica progettuale "2.4.11 - Prestazioni e comfort acustici"¹) viene redatto nell'ambito del Progetto Definitivo di demolizione e nuova costruzione (delocalizzazione) e Valutazione Previsionale Impatto Acustico è relativo al Progetto esecutivo "Adeguamento sismico mediante demolizione e ricostruzione della Scuola Secondaria di I° grado e della palestra di Via Olmata", Nettuno (RM).

Committenza Comune di Nettuno, Viale Giacomo Matteotti 37, Nettuno (RM) e Responsabile del procedimento Arch. Federica Sodani.



Figura 1 - Individuazione dell'attuale area di progetto

Per ulteriori approfondimenti sull'architettura, l'impiantistica e la parte strutturale si rimanda alle tavole specifiche di progetto.

2 ACUSTICA EDILIZIA - RIFERIMENTI LEGISLATIVI E NORMATIVA

Per la valutazione dei requisiti acustici passivi e del comfort acustico si è fatto riferimento alla seguente legislazione:

- D.P.C.M. 5 dicembre 1997 "Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici"
- Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. Direzione Generale Valutazioni Ambientali. Prot. DVA-2014 - 0002440 del 30/01/2014. Parere
- Ministero della Transizione Ecologica. Decreto 23 giugno 2022. "Criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di progettazione di interventi edilizi, per l'affidamento dei lavori per interventi edilizi e per l'affidamento congiunto di progettazione e lavori per interventi edilizi". Specifica tecnica progettuale - § 2.4.11 Prestazioni e comfort acustici.

ed alla seguente normativa tecnica:

- UNI 11367:2023. Acustica in edilizia - Classificazione acustica delle unità immobiliari. Procedura di validazione e verifica in opera
- UNI EN ISO 12354-1:2017. Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni dei prodotti - Parte 1: Isolamento dal rumore per via aerea tra ambienti.
- UNI EN ISO 12354-2:2017. Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni dei prodotti - Parte 2: Isolamento acustico al calpestio tra ambienti.

¹ Decreto Ministero della Transizione Ecologica 23 giugno 2022 "Criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di progettazione di interventi edilizi, per l'affidamento dei lavori per interventi edilizi e per l'affidamento congiunto di progettazione e lavori per interventi edilizi" in vigore dal 04/12/2022 (Specifica tecnica progettuale - § 2.4.11 Prestazioni e comfort acustici).

Da tale data è abrogato il Decreto Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare 11 ottobre 2017 (§ 2.3.5.6 Comfort acustico).

- UNI EN ISO 12354-3. Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni dei prodotti. - Parte 3: Isolamento acustico dal rumore proveniente dall'esterno per via aerea
- UNI 11532-1:2018. Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinati - Metodi di progettazione e tecniche di valutazione - Parte 1: Requisiti generali
- UNI 11532-2:2020. Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinati - Metodi di progettazione e tecniche di valutazione - Parte 2: Settore scolastico
- UNI EN 16798-1:2019. Prestazione energetica degli edifici - Ventilazione per gli edifici - Parte 1: Parametri di ingresso dell'ambiente interno per la progettazione e la valutazione della prestazione energetica degli edifici in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica - Modulo M1-6
- UNI 11175-1:2021. Acustica in edilizia - Linee guida per la previsione delle prestazioni acustiche degli edifici - Parte 1: Applicazione delle norme tecniche alla tipologia costruttiva nazionale

2.1 Requisiti acustici passivi D.P.C.M. 5 dicembre 1997

Il D.P.C.M. 5 dicembre 1997 "Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici", determina i requisiti acustici passivi degli edifici e dei loro componenti in opera, prevede la verifica in opera dei componenti edilizi e fissa criteri e metodologie per il contenimento dell'inquinamento da rumore all'interno degli ambienti abitativi.

I valori degli indici a singolo numero delle grandezze acustiche normate devono essere confrontati con i valori limite fissati dal D.P.C.M. 05/12/1997, ove applicabili, trattandosi nel caso in esame di singola unità immobiliare distinta l'unica grandezza acustica "normata" è l'isolamento acustico normalizzato di facciata $D_{2m,nT,w}$ (destinazioni d'uso, "scolastico"):

Categoria	$D_{2m,nT,w}$
categoria E: edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili (aule)	≥ 48

2.2 I criteri ambientali minimi (C.A.M.)

Con l'emanazione del Decreto 23 giugno 2022, meglio conosciuto come Criteri Ambientali Minimi (C.A.M.), sono stati introdotti i seguenti requisiti (paragrafo 2.4.11 Prestazioni e comfort acustici) con le relative prestazioni, verranno riportati i riferimenti relativi solo all'intervento in oggetto:

- nel caso in cui l'edificio sia un ospedale, una casa di cura o una scuola, i requisiti acustici passivi devono soddisfare il livello di "prestazione superiore" riportato nell'Appendice A della norma UNI 11367:2023

Descrittore	Prestazione superiore
Descrittore dell'isolamento acustico normalizzato di facciata, $D_{2m,nT,w}$ [dB]	≥ 43
Livello sonoro corretto immesso da impianti a funzionamento continuo, L_{ic} in ambienti diversi da quello di installazione [dB(A)]	≤ 28
Descrittore dell'isolamento acustico normalizzato di partizioni i fra ambienti adiacenti della stessa unità immobiliare, $D_{nT,w}$ [dB]	≥ 50
Descrittore dell'isolamento acustico normalizzato di partizioni fra ambienti sovrapposti della stessa unità immobiliare, $D_{nT,w}$ [dB]	≥ 55
Descrittore dell'isolamento acustico normalizzato di partizioni i fra ambienti adiacenti della stessa unità immobiliare, $D_{nT,w}$ [dB]	≥ 50
Descrittore del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato fra ambienti sovrapposti della stessa unità immobiliare, $L'_{n,w}$ [dB]	≤ 53

- Gli ambienti interni, nel caso specifico per le scuole, rispettano i valori indicati nell'appendice C della UNI 11367:2023. La norma indica che i valori ottimali del tempo di riverberazione medio fra 500 Hz e 1.000 Hz sono ricavabili dall'espressione seguente (UNI 11532-2:2020):
 - o Ambienti tipo A2: Parlato/Conferenza. Presentazioni parlate dove si ha un oratore frontale (es. Aule didattiche, Aula magna):
$$T_{ott,A2} = (0,37 \log v - 0,14)$$
 - o Ambienti tipo A5: Sport: piscine e palestre e similari (es. Palestre piscine per utilizzo come ambienti sportivi in generale), ambiente non occupato:
$$T_{ott,A5} = (0,75 \log v - 1,00) \text{ per } 200 \text{ m}^3 \leq V \leq 10000 \text{ m}^3$$
$$T_{ott,A5} = 2,00 \text{ per } V \geq 10000 \text{ m}^3$$
(V = volume dell'ambiente in metri cubi)
- La norma UNI 11367:2023 precisa che ". . . È inoltre esclusa la valutazione del rumore immesso dagli impianti a servizio esclusivo di un'UI e/o dell'intero edificio, eseguita considerando come ambienti riceventi gli ambienti accessori o di servizio ad uso esclusivo della stessa o di altre UI. . .". Comunque la stessa Norma UNI 11532-2:2020 introduce il valore del livello di rumore globale indotto dagli impianti e dai componenti d'impianto a funzionamento continuo nel medesimo ambiente in cui si origina $L_{ic,int}$, nel caso specifico max. 34 (aule e biblioteche < 250 m³).

2.3 Valori di riferimento per i requisiti acustici e per le caratteristiche acustiche interne

Lo stesso Decreto MTE 23 giugno 2022; nel punto 2.4.11 (Prestazioni e comfort acustici Criterio) riporta che ". . . 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. . .": nel caso in esame quindi Isolamento di facciata per le aule $D_{2m,nT,w} \geq 48$ dB mentre 43 dB per gli uffici.

2.4 Definizioni

Ai fini della presente valutazione si richiamano le seguenti definizioni tratte dalla norma UNI 11367:2023.

- 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.
- 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.
- ambiente verificabile acusticamente: Ambiente abitativo di dimensioni sufficienti a consentire l'allestimento di misurazioni in conformità ai procedimenti di prova e valutazione descritti nelle pertinenti parti della serie UNI EN ISO 140 per la determinazione dei livelli prestazionali acustici in opera.

3 ISOLAMENTO ACUSTICO PARTIZIONI ORIZZONTALI E VERTICALI

Per poter determinare l'isolamento acustico normalizzato tra ambienti si utilizzeranno i grafici seguenti, caso di strutture leggere e di strutture pesanti, tratti dal manuale tecnico "Specialist services - Health Technical - Memorandum 08-01: Acoustics - Department of Health (UK)". Tale metodologia tabellare permette di fornire l'abbattimento X (per le trasmissioni laterali ed agli ambienti) da "applicare" al potere fonoisolante dell'elemento separatore (R_w di laboratorio o determinato attraverso le formule analitiche) e determinare l'isolamento acustico normalizzato $D_{nT,w}$: nelle ascisse la superficie di separazione tra l'ambiente emittente e quello ricevente mentre nelle ordinate il volume, sempre dell'ambiente ricevente, dall'incrocio di tali dati si incontra il valore per la determinazione dell'isolamento acustico, $D_{nT,w} = R_w - X$ dB.

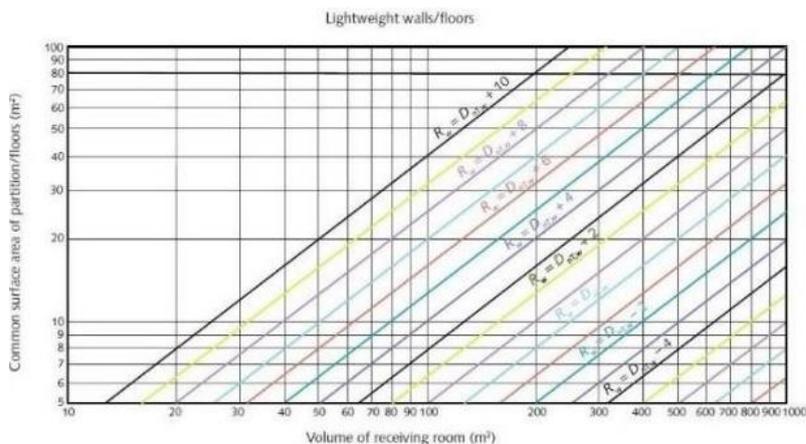


Figura 2 - Grafico determinazione R_w da $D_{nT,w}$ per elementi edilizi leggeri (es. strutture a secco, in cartongesso)

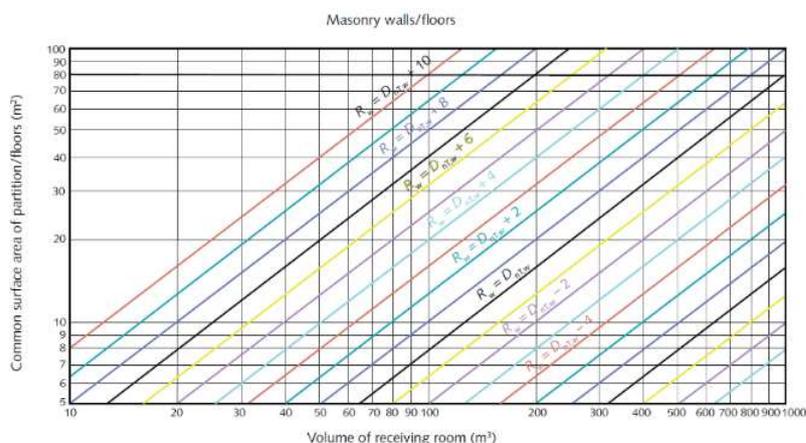
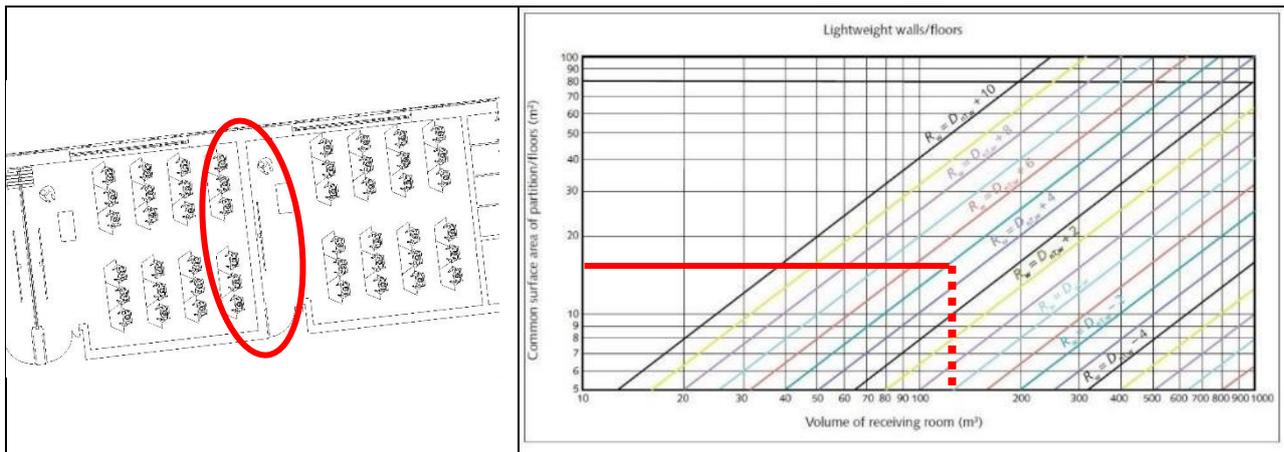


Figura 3 - Grafico determinazione R_w da $D_{nT,w}$ per elementi edilizi pesanti (es. strutture in c.l.s.)

3.1 Parete tipologia divisoria aule

La parete divisoria tra ambienti destinati a degenza verrà realizzata con struttura a secco, tipologia a 5 lastre, con doppia struttura in metallica da 75 mm., all'interno pannelli isolanti in lana minerale da 75 mm., doppia lastra di rivestimento e lastra interna tra i montati, con camera d'aria da 175 mm. L'indice di valutazione del potere fonoisolante (R_w) della parete è stimato non inferiore a 63 dB².
 Superficie separazione ambiente emittente e ricevente $\approx 17,0$ m²
 Volume ambiente ricevente ≈ 136 m³

² Scheda tecnica Istituto Giordano n. 350665



Risulta quindi:

$$D_{nT,w} = R_w - 5 \text{ dB} = 63 - 5 \text{ dB} = 58 \text{ dB}.$$

Il valore risultante $D_{nT,w} = 55 \text{ dB}$ è superiore alla prestazione superiore secondo l'Appendice A della norma UNI 11367 per ambienti adiacenti della stessa unità immobiliare (minimo 50 dB).

N.B.

Tutti i calcoli sono stati eseguiti nella condizione che gli elementi edilizi (nel caso specifico pareti a secco) non siano soggetti a forature per il passaggio e relativo montaggio impianti (elettrici e meccanici), si rimanda alle proposte di sotto riportati raccomandando una corretta ed attenta posa in opera.

INDICAZIONI PER UNA CORRETTA INSTALLAZIONE

Le cassette elettriche e i quadri elettrici non dovranno essere posizionati sui due lati di una stessa parete in simmetria l'uno dell'altro, occorre che siano sempre presenti almeno uno o più strati intermedi non oggetto di scassi e fessure. In tal caso le scatole elettriche possono essere realizzate con diversi accorgimenti, tra cui:

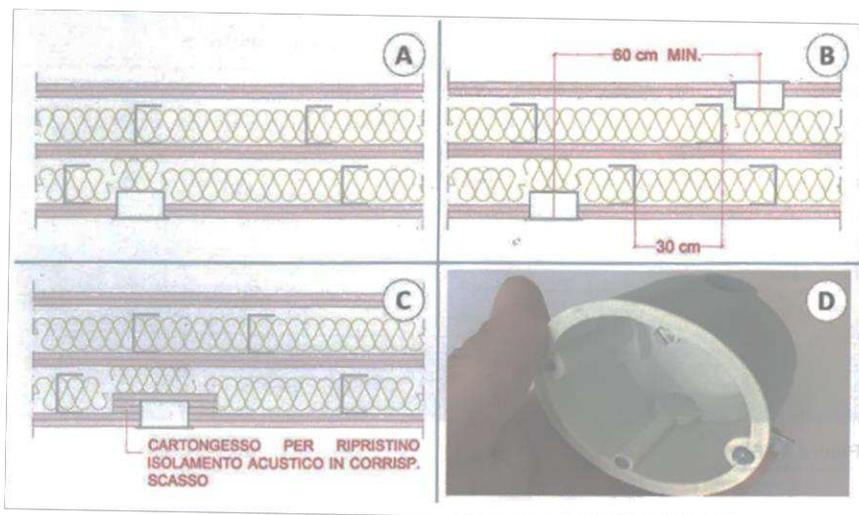


Figura 4 - Soluzioni per il posizionamento delle scatole elettriche su parete a secco

- realizzare scassi solamente da un lato della partizione (A);
- realizzare scassi su due lati, avendo cura che siano tra loro sfalsati di almeno 60 cm, così da avere interposto almeno un montante di sostegno del cartongesso e avendo all'interno materiale fibroso (B), realizzando i montanti stessi sfalsati per avere maggiore certezza che almeno un montante intercetti il rumore in ingresso dalla scatola;

- realizzare almeno da uno dei lati un ulteriore rivestimento della scatoletta con pezzi di lastra o gomma pesante (C);
- utilizzare scatolette acustiche, realizzate con plastiche additivate di inerti per aumentarne la massa e dotate di guarnizioni nei punti di passaggio dei cavi per limitare ogni fessura (D).

3.2 Solaio interpiano di separazione ambienti

Dato che i solai divideranno aule su piani diversi, in questo caso il requisito da rispettare non è l'isolamento acustico normalizzato tra partizioni di ambienti sovrapposti ($D_{nt,w}$) ma il potere fonoisolante apparente (R'_w).

L'indice del potere fonoisolante apparente (R'_w) è legato all'indice dell'isolamento acustico normalizzato ($D_{nT,w}$) attraverso la seguente formula:

$$R'_w = D_{nT,w} + 10 \log \left(3,125 \left(\frac{S}{V} \right) \right) \text{ dB}$$

Dove:

S = superficie divisoria tra ambiente emittente ed ambiente ricevente;

V = volume ambiente ricevente.

L'edificio verrà realizzato un solaio in tipo Plastbau, gettato in opera con elementi di alleggerimento, la massa superficiale del solaio struttura è risulta circa pari a 227 kg/m², risulta quindi un potere fonoisolante $R_w = 47\text{dB}^3$

All'estradosso verrà collocato un tappetino anticalpestio spessore 10 mm. e rigidità dinamica 14 MN/m³ e massetto alleggerito spessore 50 mm. (massa superficiale 90 kg/m²) sul quale verrà realizzato un sistema radiante con pannello preformato e massetto armato in fibre sintetiche spessore 20 mm. (massa superficiale 40 kg/m²), il contributo al potere fonoisolante dato dal pacchetto del massetto portapavimento con tappetino anticalpestio è pari a 15 dB⁴, il potere fonoisolante risulta pari a 62 dB. Per sicurezza non è stato considerato l'eventuale contributo dato dal controsoffitto all'intradosso e della pavimentazione in linoleum all'estradosso.

Superficie separazione ambiente emittente e ricevente $\approx 45,0 \text{ m}^2$

Volume ambiente ricevente $\approx 137 \text{ m}^3$



³ $R_w = 20 \log(m')$ dB, dove m' = massa superficiale in kg/m²

⁴ Per determinare il contributo al potere fonoisolante è necessario determinare la frequenza $f_0 = 160 \sqrt{s' \left(\frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)}$, dove s' = rigidità dinamica del materiale resiliente [14 MN/m³], m'_1 = massa superficiale della struttura di base 227 [kg/m²] e m'_2 = massa superficiale dell'elemento di rivestimento [130 kg/m²], $f_0 = 66 \text{ Hz}$, dalla tabella del prospetto D.1 UNI EN ISO 12354-1:2017 è possibile determinare il contributo $\Delta R_w = 74,4 - 20 \log(f_0) - \frac{R_w}{2} = 74,4 - 36,4 - 23,5 \approx 15 \text{ dB}$

Risulta quindi:

$$D_{nT,w} = R_w - 7 \text{ dB} = 62 - 6 \text{ dB} = 56 \text{ dB}.$$

Dai calcoli quindi:

$$10 \log \left(3,125 \left(\frac{S}{V} \right) \right) \approx 0,0 \text{ dB}$$
$$R'_w = 56 - 0 \approx 56 \text{ dB}$$

Il valore risultante $R'_w = 56 \text{ dB}$ pari alla prestazione superiore secondo l'Appendice A della norma UNI 11367 per ambienti sovrastanti della stessa unità immobiliare ma di diversi reparti (minimo 56 dB).

4 LIVELLO DI RUMORE DA CALPESTIO

Per la stima teorica del livello di rumore di calpestio la norma UNI EN ISO 12354-2:2017 propone un modello di calcolo semplificato che si basa sul calcolo degli indici di

Il metodo semplificato, applicabile nell'intervallo da 100 kg/m^2 a 600 kg/m^2 , consente di stimare direttamente l'indice di valutazione del livello equivalente di pressione sonora di calpestio normalizzato di solaio omogeneo, senza pavimento galleggiante, mediante la seguente relazione empirica:

$$L_{n,w,eq} = 164 - 35 \log \left(\frac{m'}{m_0} \right)$$

dove:

m' = massa superficiale del solaio grezzo;

m_0 = massa di riferimento pari a 1 kg/m^2 .

La massa superficiale del solaio è pari a 227 kg/m^2 , risulta quindi:

$$L_{n,w,eq} = 164 - 35 \log \left(\frac{590}{1} \right) = 164 - 82 \cong 82 \text{ dB}$$

Si determina quindi l'indice di valutazione del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato rispetto all'assorbimento acustico $L'_{n,w}$ attraverso la relazione:

$$L'_{n,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L_w + K$$

dove:

ΔL_w = indice di valutazione dell'attenuazione del livello di pressione sonora di calpestio, ottenuta con la posa in opera di isolante e pavimentazione, rispetto al solaio grezzo dB;

K = termine di correzione per la trasmissione dei rumori di calpestio attraverso le strutture laterali omogenee dB.

Il valore correttivo (K) varia in funzione della massa superficiale media degli elementi laterali omogenei, non ricoperti da rivestimenti resilienti, e della massa superficiale del solaio di separazione.

Il termine di correzione per la trasmissione dei rumori da calpestio, come da UNI 11715:2021 risulta pari a 2.

L'attenuazione del livello di pressione sonora di calpestio (ΔL_w), ottenuta con la posa del pavimento galleggiante, è funzione della rigidità dinamica del materassino anticalpestio suddetto e della massa superficiale del massetto. L'indice di valutazione dell'attenuazione del livello di pressione sonora di calpestio (ΔL_w) viene determinato attraverso la seguente relazione:

$$\Delta L_w = 13 \log(m') - 14,2 \log(s') + 20,8$$

La rigidità dinamica del materassino anticalpestio è pari a 14 MN/m^3 mentre la massa superficiale del massetto è pari a 130 kg/m^2 , risulta quindi:

$$\Delta L_w = 13\log(130) - 14,2\log(14) + 20,8 = 27,4 - 16,3 + 20,8 \approx 31 \text{ dB}$$

Data la tipologia massiva del solaio non si considera l'abbattimento dato dalla presenza del controsoffitto nell'ambiente sottostante e della pavimentazione in linoleum al piano.

Si ottiene quindi, $L'_{n,w} = 82 - 31 + 2 = 53 \text{ dB}$, valore pari alla prestazione superiore secondo l'Appendice A della norma UNI 11367 per ambienti sovrapposti della stessa unità immobiliare (massimo 53 dB)

5 INDICE DI VALUTAZIONE DELL'ISOLAMENTO ACUSTICO DI FACCIATA

La normativa stabilisce che la misura in opera di tale grandezza venga effettuata a partire dalle misure dei livelli di pressione sonora: in particolare quello esterno a 2 m dalla facciata, prodotto dal rumore da traffico se prevalente o da altoparlante con angolo di incidenza sulla facciata pari a 45° ($L_{1,2m}$) e quello interno (L_2) dato dalla seguente formula:

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

in cui L_i sono gli n livelli sonori misurati per ciascuna banda di terzi d'ottava (con n pari al numero intero immediatamente superiore a un decimo del volume dell'ambiente ricevente e comunque non minore di cinque) applicando successivamente la seguente relazione:

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

in cui:

$D_{2m} = L_{1,2m} - L_2$ (dB) è la differenza tra i livelli sonori precedentemente definiti

T (s) = tempo di riverberazione dell'ambiente ricevente

T_0 (s) = tempo di riverberazione di riferimento (0.5 s)

In questa fase progettuale, il calcolo dell'isolamento acustico di facciata si effettua applicando la relazione fornita dalla UNI 12354-3, che calcola il relativo indice di valutazione:

$$D_{2m,nT} = R'_w + \Delta L_{fs} + 10\log\frac{V}{6T_0S}$$

in cui:

R'_w = indice di valutazione del potere fonoisolante apparente di facciata

ΔL_{fs} = termine correttivo che quantifica l'influenza della forma della facciata

V = volume interno del locale

T_0 = tempo di riverberazione di riferimento assunto pari a 0.5 s

S = superficie di facciata vista dall'interno

L'indice del potere fonoisolante apparente in facciata, si calcola tenendo conto di tutti gli elementi che la compongono, sommando gli indici di valutazione del potere fonoisolante di ciascun elemento costituente la facciata, distinguendo tra elementi considerati normali (murature e finestre) e dai piccoli elementi (prese aria, bocche di ventilazione con superficie inferiore a 1 m²); la formula utilizzata è la seguente:

$$R'_w = -10\log\left(\sum_{i=1}^n \frac{S_i}{S} 10^{\frac{-R'_{iw}}{10}} + \frac{A_0}{A} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{-D_{m,i}}{10}}\right) - K$$

in cui:

R'_{iw} (dB) = indici di valutazione dei poteri fonoisolanti degli n elementi i che compongono la facciata

S_i (m²) = superfici degli n elementi i che compongono la facciata

S (m²) = superficie totale della facciata

A_0 (m²) = area equivalente di assorbimento acustico di riferimento (pari a 10 m²)

$D_{m,i}$ (dB) = isolamenti acustici normalizzati degli m piccoli elementi i di facciata, e si calcolano utilizzando la seguente formula:

$$D_{m,i} = -10 \log \left(\frac{S_i}{10} \right)$$

Il termine ΔL_{fs} dipende dalla forma della facciata, dall'assorbimento acustico delle superfici aggettanti (balconi) e dalla direzione del campo sonoro. La forma della facciata si individua su una sezione verticale della facciata in cui le eventuali barriere (parapetti di balconi, ecc., cfr figura seguente) sono indicate solo se a sezione piena; l'assorbimento w si riferisce all'indice di valutazione dell'assorbimento sonoro come definito dalla norma UNI EN ISO 11654. Il valore massimo per w (0,9) si applica anche qualora la superficie riflettente sopra la facciata sia assente. La direzione dell'onda sonora incidente, si caratterizza mediante l'altezza definita dall'intersezione tra la linea di veduta dalla sorgente ed il piano della facciata.

La forma della facciata si individua su una sezione verticale della facciata in cui le eventuali barriere (parapetti di balconi, ecc., cfr figura seguente) sono indicate solo se a sezione piena; l'assorbimento w si riferisce all'indice di valutazione dell'assorbimento sonoro come definito dalla norma UNI EN ISO 11654. Il valore massimo per w (0,9) si applica anche qualora la superficie riflettente sopra la facciata sia assente. La direzione dell'onda sonora incidente, si caratterizza mediante l'altezza definita dall'intersezione tra la linea di veduta dalla sorgente ed il piano della facciata.

K è un coefficiente che tiene conto della trasmissione laterale, si assume pari a 0 per elementi di facciata non connessi e pari a 2 per elementi di facciata pesanti con giunti rigidi (si applica $k = 2$ anche alle strutture in legno con incastri vincolati).

Il valore fonoisolante (R_w) della parete esterna è pari a 59 dB⁵.

Verranno effettuate di seguito le verifiche prestazionali della facciata⁶ (il valore risultate è arrotondato all'unità inferiore) sui vani rappresentativi al fine di controllare il corretto potere fonoisolante (uniforme per tutto l'edificio) dei vari infissi (vetro + telaio):

Ambienti	Parametri di calcolo						
	Sup. Facciata [m ²]	Sup. Finestra [m ²]	Sup. Opaca [m ²]	R_w Opaco [dB]	R_w Infisso [dB]	Vol. [m ³]	$D_{2m,nT,w}$ [dB]
<i>Aule ($D_{2m,nT,w} \geq 48$ dB)</i>							
Aula tipo piano terra	21,75	11,20	10,55	59	45	136,00	48
Aula tipo piano primo e secondo	21,75	8,00	13,75	59	45	136,00	49

Gli ambienti con volume superiore a 250 m³ risultano essere "Ambienti non collaudabili" ai sensi della UNI EN ISO 16283-3 - 2016 "Acustica - Misure in opera dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio - Parte 3: Isolamento acustico di facciata"

INDICAZIONI PER UNA CORRETTA INSTALLAZIONE

Per tutti i locali esaminati: in tutte le zone di contatto fra le pareti ortogonali e fra pareti e solaio, si

⁵ Stratigrafia (dall'esterno verso l'interno):

- Rivestimento con collante-rasante e lastra in gesso rivestito per esterni sp. 12,5 mm.
- Pannello in lana minerale sp. 95 mm
- Lastra in gesso rivestito sp. 12,5 mm
- Intercapedine d'aria sp. 175 mm.
- Pannello in lana minerale sp. 95 mm
- Tripla Lastra in gesso rivestito sp. 12,5 mm

Potere fonoisolante determinato da confronto con strutture similari, Istituto Giordano rapporto di prova n. 331688 del 24/02/2016.

⁶ Ai fini del raggiungimento dei valori di fonoisolamento degli infissi indicati ed utilizzati per l'elaborazione, si raccomanda fortemente la posa in opera di tutti i serramenti secondo quanto indicato dalla UNI 11296:2018 - Acustica in edilizia - Posa in opera di serramenti e altri componenti di facciata - Criteri finalizzati all'ottimizzazione dell'isolamento acustico di facciata dal rumore esterno

raccomanda di posizionare delle strisce di materiale resiliente, con la funzione di smorzatore acustico: tale soluzione permettere una riduzione degli indici di riduzione delle vibrazioni K_{ij} significativa nella configurazione "acustica" complessiva sia del sistema parete che solaio.

6 CARATTERISTICHE ACUSTICHE INTERNE

6.1 Definizioni

Si richiamano di seguito i principali termini e definizioni utilizzate per la presente valutazione.

- area di assorbimento equivalente di un ambiente (A):
Area ipotetica di una superficie totalmente assorbente senza effetti di diffrazione che, se fosse il solo elemento assorbente dell'ambiente, determinerebbe lo stesso tempo di riverberazione dell'ambiente stesso. L'area di assorbimento equivalente di un ambiente si esprime in metri al quadrato (m^2) ed è determinata in conformità alla UNI EN ISO 354.
- area di assorbimento equivalente di un elemento (A_{obj}):
Differenza tra l'area di assorbimento equivalente di un ambiente con e senza elemento (campione di prova). L'area di assorbimento equivalente di un ambiente si esprime in metri al quadrato (m^2) ed è determinata in conformità alla UNI EN ISO 354.
- coefficiente di assorbimento acustico (α_s):
Area di assorbimento equivalente di un campione di prova divisa per l'area del campione medesimo.
- coefficiente di assorbimento acustico pratico (α_p):
Valore del coefficiente di assorbimento acustico dipendente dalla frequenza basato su misurazioni effettuate per bande di terzo di ottava conformemente alla UNI EN ISO 354 e calcolato per bande di ottava conformemente alla norma UNI EN ISO 11654:1998.
- coefficiente di assorbimento acustico ponderato (α_w):
Valore unico indipendente dalla frequenza uguale al valore della curva di riferimento a 500 Hz dopo la traslazione conformemente a quanto specificato nella norma 11654:1998. Permette di determinare in prima istanza il comportamento fonoassorbente medio del materiale.

Le caratteristiche fonoassorbenti (coefficienti di assorbimento acustico α , ad incidenza casuale) dei controsoffitti vengono misurate in laboratorio (in camera riverberante), mediante procedure indicate nella UNI EN ISO 354. Dalla misura si ricavano, per ogni materiale testato, 18 coefficienti di assorbimento acustico (α_s), uno per ogni banda di terzo d'ottava da 100 Hz a 5.000 Hz.

Per fini comparativi la valutazione sintetica dei dati misurati in laboratorio può essere effettuata utilizzando le procedure proposte nella UNI EN ISO 11654. I 18 valori (α_s) possono essere ridotti a 6 coefficienti di assorbimento acustico pratico (α_p), in bande di frequenza di ottava (da 125 Hz a 4.000 Hz). Questi a loro volta possono essere ricondotti ad un unico valore di assorbimento acustico ponderato (α_w) che caratterizza l'intero materiale. I valori di α_p e α_w devono essere arrotondati al valore 0,05 più vicino. Valori di α_p maggiori di 1 devono essere indicati pari a 1.

6.2 Valore di riferimento del tempo di riverberazione

La norma 11532-2:2020 introduce la determinazione del tempo di riverbero ottimale a seconda della destinazione degli ambienti attraverso diverse formule, nello specifico:

- Ambienti tipo A2: Parlato/Conferenza. Presentazioni parlate dove si ha un oratore frontale (es. Aule didattiche, Aula magna):

$$T_{ott,A2} = (0,37 \log v - 0,14)$$

- Ambienti tipo A5: Sport: piscine e palestre e similari (es. Palestre piscine per utilizzo come ambienti sportivi in generale), ambiente non occupato:

$$T_{\text{ott,A5}} = (0,75 \log v - 1,00) \text{ per } 200 \text{ m}^3 \leq V \leq 10000 \text{ m}^3$$

$$T_{\text{ott,A5}} = 2,00 \text{ per } V \geq 10000 \text{ m}^3$$

(V = volume dell'ambiente in metri cubi)

6.3 Descrittori acustici dell'intelligibilità acustica negli ambienti scolastici

Il decreto 23 giugno 2022 introduce la verifica di ulteriori parametri (le Norme 11532:2018 e 11532:2020 definiscono i metodi di calcoli): Indice di trasmissione del parlato (Speech Transmission Index, STI) e la Chiarezza della parola (C_{50}).

- Lo Speech Transmission Index (STI) o "indice di trasmissione del parlato" quantifica l'effetto combinato dell'interferenza del rumore di fondo e della riverberazione sull'intelligibilità del parlato, ossia rappresenta l'effetto del sistema di trasmissione, in questo caso l'ambiente, sull'intelligibilità del parlato. Si calcola come valore medio del rapporto segnale/disturbo apparente (S/N) in un campo di frequenze che sono ritenute importanti per la modulazione di involuppo del segnale vocale. In questo caso il valore limite è ≥ 0.6 per gli ambienti adibiti al parlato e ≥ 0.5 per gli ambienti adibiti ad attività sportive.

La norma 11532-2:2020, per ambienti con volume < di 250 m³, al posto del Speech Transmission Index (STI), introduce la Chiarezza della parola (C_{50}):

- La Chiarezza della parola (C_{50}) concerne la qualità della comunicazione tra due persone e la nitidezza del trasferimento di un discorso da un emittente a un ricevente. Questo parametro prende in esame l'intervallo di tempo che intercorre tra l'emissione del suono diretto e la comparsa delle prime riflessioni, che hanno la caratteristica di rinforzare l'intensità del suono, al contrario delle riflessioni successive che possono essere percepite come fastidiose. Tale indice viene calcolato attraverso un bilancio energetico, confrontando l'energia sonora iniziale con quella successiva ad una soglia temporale definita in base al fine della misurazione. Valore limite ≥ 0 per gli ambienti adibiti al parlato e ≥ -2 per gli ambienti adibiti ad attività sportive.

Come riportato nella norma specifica (UNI 11532:2020) tali parametri si applicano solo agli ambienti delle categorie A1, A2, A3 ed A4.

6.4 Analisi progettuale degli ambienti

Al fine di una lineare correzione acustica, il controsoffitto all'interno delle aule avrà la seguente prestazione fonoassorbente:

Hz	125	250	500	1000	2000	4000
Assorbimento acustico - Coefficiente di ass. acustico α_s	0,45	0,67	0,82	0,63	0,58	0,50

Mentre per la palestra, la seguente prestazione fonoassorbente:

Hz	125	250	500	1000	2000	4000
Assorbimento acustico - Coefficiente di ass. acustico α_s	0,60	0,85	0,95	1,00	1,00	0,90

L'efficacia dei trattamenti fonoassorbenti ambientali è stimabile con la seguente relazione di Sabine:

$$T_R = 0.160 \frac{V}{A}$$

T_R = tempo di riverbero s;

V = volume dell'ambiente m³;

A = area equivalente di assorbimento acustico totale m² (coefficiente di assorbimento x superfici assorbenti)⁷.

⁷ Ai fini di calcolo sono stati considerati i seguenti elementi con le relative prestazioni fonoassorbenti:

È stata quindi modellati gli ambienti "tipo" e sono state calcolate le varie combinazioni (tipologia di rifinitura, quindi di fonoassorbimento, e disposizione spaziale) al fine di raggiungere le migliori prestazioni acustiche, introducendo il valore di superficie equivalente fonoassorbente necessario al raggiungimento dei valori limite.

Ambiente	Volume m ³	Tempo di riverbero Ottimale Sec.	Tempo di riverbero Sec.	STI
Aula "doppia" (A.2)	276	0,763	0,732	0,62
Palestra (A.5)	3451	1,653	1,509	//

Si rileva che le prestazioni relative al tempo di riverbero sono in linea con i valori di riferimento.

7 RUMORE PRODOTTO DA IMPIANTI A FUNZIONAMENTO CONTINUO E DISCONTINUO

Ai fini dell'analisi acustica del progetto preliminare, relativamente agli impianti, si riporta un paragrafo propedeutico alla corretta progettazione acustica che interesserà i successivi stati di progettazione. Il D.P.C.M. 5/12/1997, come anche il decreto C.A.M., prevede dei limiti per il rumore prodotto dagli impianti tecnologici; tali valori sono da verificarsi tramite misure effettuate in opera, e le misure devono essere eseguite nell'ambiente nel quale il livello di rumore è più elevato, il quale deve essere un ambiente diverso da quello in cui il rumore si genera.

Allo stato odierno non esistono metodologie di calcolo predittive per la rumorosità generata dagli impianti; la stima dei livelli di rumorosità prodotti dagli impianti tecnologici è estremamente problematica, poiché le variabili in gioco sono molteplici e i risultati sono spesso imprevedibili, causa la notevole difficoltà a sintetizzare aspetti quali materiali impiegati, posa in opera, caratteristiche dell'edificio.

Per tale motivo è possibile soltanto definire una previsione quantitativa del fenomeno.

In mancanza di un dato previsionale, verranno descritti alcuni consigli di "buona tecnica" utili a contenere il fenomeno della trasmissione del rumore per Via strutturale, essendo questa la componente del rumore maggiormente significativa per quanto attiene gli impianti tecnologici.

Tali valori sono da verificarsi tramite misure effettuate in opera, e le misure devono essere eseguite nell'ambiente nel quale il livello di rumore è più elevato, il quale deve essere un ambiente diverso da quello in cui il rumore si genera.

Di seguito si riportano alcune indicazioni e le misure necessarie per la corretta posa in opera finalizzate al contenimento ed alla trasmissione del rumore proveniente dagli impianti.

INDICAZIONI PER UNA CORRETTA INSTALLAZIONE

Per arginare la propagazione del rumore provocato dalle colonne di scarico bisogna mantenere basse le vibrazioni delle pareti del tubo contro ogni forza eccitante, evitandone così la propagazione all'edificio.

I metodi per ottenere questo obiettivo sono:

- *Utilizzo di tubazioni con struttura del tipo a 3 strati o di tecnologia "silent".*

Assorbimento Hz	125	250	500	1000	2000	4000
Pavimento	0,01	0,02	0,01	0,03	0,05	0,05
vetro infisso	0,28	0,2	0,11	0,06	0,03	0,02
Pareti cartongesso	0,30	0,10	0,05	0,07	0,09	0,08
Porta	0,10	0,08	0,06	0,05	0,05	0,05
Controsoffitto fonoassorbente forato Aule e Agorà	0,25	0,60	1,00	0,90	0,60	0,65
Controsoffitto fonoassorbente quadrotti Dormitori e Agorà	0,40	0,95	1,00	0,90	1,00	1,00
Pareti fonoassorbenti forate	0,25	0,60	1,00	0,90	0,60	0,65

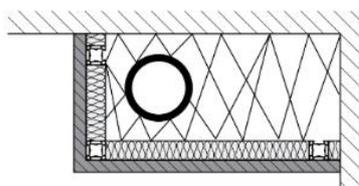
- rivestire i tubi con del materiale morbido prima di essere annegati nel calcestruzzo;



- fissaggio dei tubi tramite l'utilizzo di collari corredati di kit fonoassorbente;



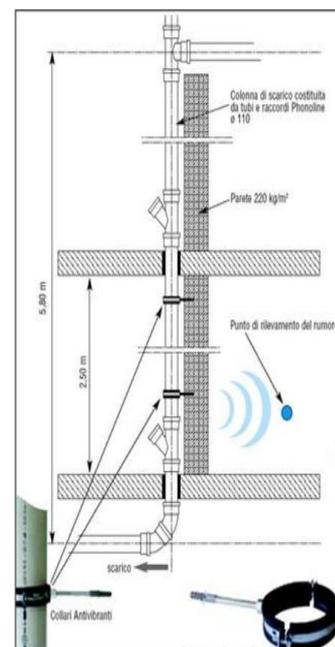
- installazione della colonna di scarico principale all'interno di un cavedio appositamente realizzato (spessore 170 mm. con sistema a varie lastre, sistemi a doppie lastre con strutture distinte, e materiale fonoassorbente all'interno);



- cambiamento di direzione della colonna al di sotto della soletta realizzando, in presenza di variazioni a 90°, tratti di smorzamento utilizzando due curve a 45° ed un tubo di lunghezza pari a due volte il diametro usato;
- le cassette degli scarichi dei bagni non devono essere posizionate nelle pareti di separazione tra due diverse unità abitative. (realizzare cavedio tecnico)
- tutti i rubinetti dovranno essere dotati di elementi "rompi-getto".

INDICAZIONI DI ANCORAGGIO

- Ancorare le tubazioni orizzontali adottando una distanza fra i bracciali pari a 10 volte il diametro del tubo. Per condotte verticali invece adottare una distanza da 1 a 2 metri in funzione del diametro del tubo da posare.
- Fissare i bracciali sulle pareti dell'edificio.
- Per le colonne verticali non esistono particolari problemi. Infatti la presenza di bicchieri ad innesto unita alla ridotta lunghezza degli spezzoni di tubazione non richiede l'adozione di particolari accorgimenti.
- Nel caso di tubazioni verticali che attraversano più piani è bene montare un bracciale di guida vicino al bicchiere d'innesto, ed un secondo bracciale alla distanza consigliata sopra. In questo caso il fissaggio alla soletta costituisce di per sé un ancoraggio a punto
- Se l'attraversamento delle solette è effettuato con foro passante si deve montare un bracciale a punto fisso ed un bracciale di guida per ogni tubo; i primi devono essere montati sopra i raccordi o all'estremità inferiore del tubo.



7.1 Impianti di climatizzazione (servizi a funzionamento continuo)

Normalmente un impianto di climatizzazione è costituito dalle seguenti parti:

- condotti di aspirazione dell'aria di rinnovo dall'esterno;
- unità di trattamento dell'aria, che di solito comprendono i ventilatori di mandata;
- condotti per la distribuzione dell'aria trattata agli ambienti (mandata);
- condotti per l'aspirazione dell'aria dagli ambienti e per lo scarico all'esterno (ripresa) con i ventilatori di ripresa.

Normalmente i ventilatori costituiscono le sorgenti più importanti ed il rumore generato si trasmette agli ambienti principalmente per Via aerea lungo i condotti, a partire sia dal ventilatore di mandata che a quello di ripresa. Sussistono, inoltre, sorgenti secondarie (ovvero punti di possibile irradiazione) lungo i condotti (curve, serrande, bocchette terminali): se l'impianto è ben progettato, queste generano potenze sonore inferiori a quelle dei ventilatori. Infine, ci può essere trasmissione di rumore per Via solida e fuoriuscite attraverso le pareti dei condotti (trasmissione laterale). Le possibilità d'intervento sono due: ridurre il livello di potenza sonora delle sorgenti o incrementare l'attenuazione tra sorgente e l'ambiente. Per l'attenuazione lungo i percorsi, è opportuno valutare l'eventuale adozione di silenziatori, l'incremento del potere fonoisolante delle pareti laterali dei condotti (per ridurre le sfuggite laterali) e l'impiego di supporti antivibranti (per ridurre la trasmissione per Via solida), oltre ad una opportuna progettazione del potere fonoisolante delle pareti degli spazi rumorosi. Per le sorgenti occorre distinguere tra ventilatori (A) e sorgenti secondarie (B); per minimizzare il livello di potenza sonora dei ventilatori sarà necessario:

- adottare ventilatori che generino bassi livelli di potenza sonora in condizioni nominali, specialmente a bassa frequenza (250 Hz); ciò significa preferire basse velocità di rotazione e grandi diametri di pale;
- i ventilatori dovranno funzionare in condizioni prossime a quelle nominali per avere la massima efficienza meccanica oltre che il minimo livello di potenza sonora;
- dovranno essere adottate modalità di installazione appropriate, affinché non si generino forti turbolenze in prossimità delle pale (e per non incrementare il livello di potenza), ed evitando di installare i ventilatori nei pressi di irregolarità del condotto (imboccature, curve, ecc.).

Per le sorgenti secondarie la soluzione principale per ridurre il livello di potenza sonora sarà quello di diminuire la velocità dell'aria lungo i condotti (una riduzione dell'aria pari al 12% garantisce una riduzione della potenza sonora generata pari a 4 dB).

Altri interventi consistono nell'evitare curve raccordate e strozzature troppo marcate. Particolare attenzione dovrà essere posta nella posa delle unità terminali (bocchette e diffusori), basandosi sui dati dei costruttori (che devono certificarli riferendoli alla condizione di funzionamento prevista nell'impianto in esame) o, se l'ottimizzazione acustica delle sorgenti non è sufficiente, aumentando l'attenuazione della rete dei condotti attraverso l'adozione di:

- bocchette acustiche (proponibili di solito solo per condotti di aspirazione e di scarico verso l'esterno); Inoltre, per ridurre la trasmissione laterale occorrerà:
- aumentare il potere fonoisolante dei condotti, attraverso un rivestimento dall'esterno di uno strato resiliente (ad esempio lana minerale o schiuma di poliuretano);
- nei punti più "acusticamente" sensibili sostituzione dei canali con modelli fonoassorbenti (realizzati con pannelli con trattamento interno fonoassorbente), per ottenere un incremento di potere fonoisolante fino a 7 dB per frequenze fino a 2 Hz e di 10 dB per frequenze superiori.

Infine, per ridurre la trasmissione per via solida sarà necessario:

- minimizzare l'energia trasmessa alle strutture adottando supporti antivibranti per i ventilatori (sarà premura della ditta fornitrice delle macchine determinare la tipologia degli antivibranti secondo le proprie caratteristiche costruttive);
- connessioni elastiche per le parti in movimento e le parti fisse;
- realizzazione di fissaggi con interposizione di materiali resilienti.

Negli attraversamenti degli elementi verticali (pareti) dei canali aria tra aule che nel loro sviluppo interno ed all'ingresso e/o uscita di quest'ultime, verranno collocate delle opere di isolamento acustico (si rimanda alle tavole dei canali per l'identificazione delle tipologie di intervento e per le relative localizzazioni) consistenti in:

- sostituzione del canale (sia a monte che a valle della parte da attraversare) con elementi ad alto fonoassorbimento e contenitivi per l'effetto Break-out, la lunghezza dipende sia dal lato lungo della sezione del canale che dalla destinazione d'uso degli ambienti attraversati;
- realizzazione di un rivestimento a secco direttamente sul canale, sempre a monte ed a valle dell'attraversamento, anche in questo caso per una lunghezza dipendente da sezione e destinazione.

7.2 Centrale climatizzazione (servizi a funzionamento continuo dislocati esternamente)

I calcoli sono svolti per il locale più critico, che risulta l'aula al piano terra lato Nord-Ovest (infatti le pompe di calore sono state collocate al livello terreno in direzione Ovest), collocato ad una distanza di circa 32 metri dalla pompa di calore a bassa temperatura (potenza acustica 83,0 dB(A)) e di circa 26 metri dalla pompa di calore ad alta temperatura (potenza acustica 80 dB(A)).

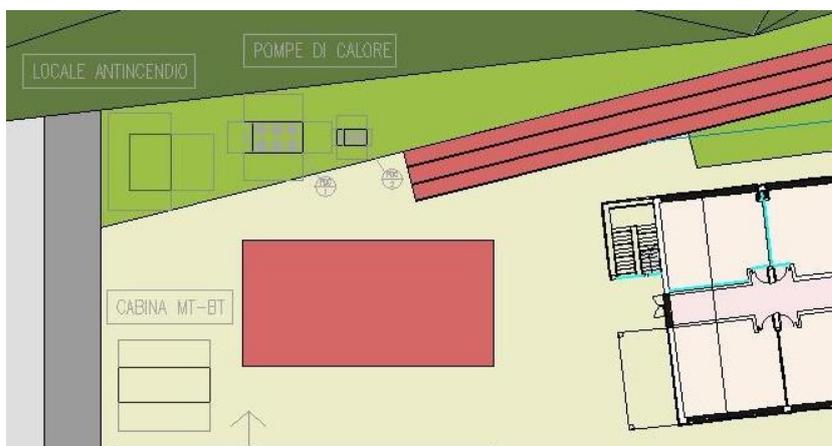


Figura 5 - Graficizzazione della posizione delle PdC sulla copertura in relazione agli ambienti sottostanti

Partendo dal livello di potenza complessivo delle pompe di calore, il livello di pressione in facciata esterna risulta essere $\approx 53 \text{ dB(A)}$ ⁸ e dall'isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverberazione adattato allo spetto C_{tr} ($D_{nT,A}$), è possibile determinare il livello sonoro indoor $L_{2,A}$ (espresso in dB(A)):

$$L_{2,A} = L_{2,nT,A} + 10 \log (T_{Aula}/0,5)$$

con

$$T_{Aula} = 0,73 \text{ s}^9$$

$$\text{Dove } L_{2,nT,A} = L_{1,2m,A} - D_{nT,A}$$

⁸ Metodologia di calcolo come da paragrafo 8.6.1

⁹ Cfr paragrafo 6.4

$$D_{nT,A} = D_{nT,w} + C_{tr} = 48^{10} - 8^{11} = 40 \text{ dB(A)}$$

Sostituendo si ottiene:

$$L_{2,nT,A} = L_{1,2m,A} - D_{nT,A} = 53 - 40 = 13 \text{ dB(A)}$$

da cui

$$L_{2,A} = L_{2,nT,A} + 10 \log (T_{Aula}/0,5) = 13 + 10 \log (0,73/0,5) \approx 13 + 2 = 15 \text{ dB(A)}$$

valore inferiore al limite massimo del livello di rumore impianti continui L_{ic} (max 28 dB(A)).

7.3 Impianto climatizzazione (servizi a funzionamento continuo dislocati nel locale asservito)

Verrà di seguito analizzato l'ambiente più "sensibile" con tre sorgenti, mandata divisa su due diffusori e ripresa aria recuperatore (configurazione parete mobile completamente chiusa).

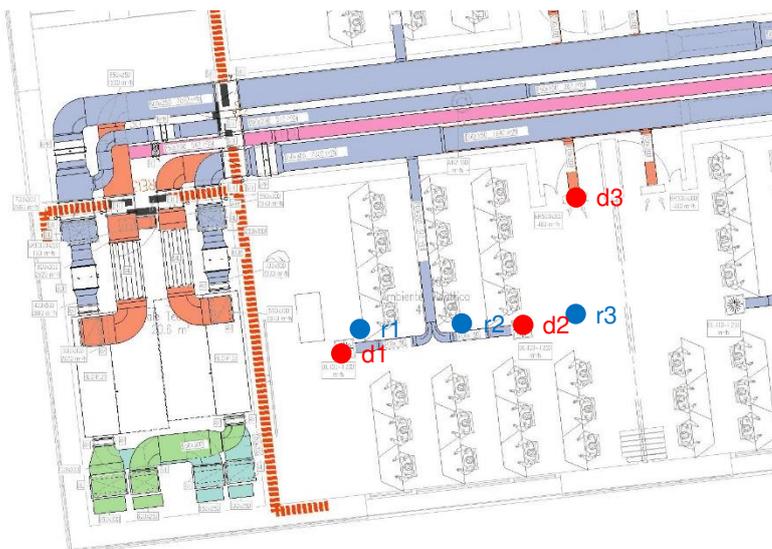


Figura 6 - Individuazione dei punti di determinazione e delle sorgenti

Per la verifica del rumore prodotto dagli impianti delle diverse posizioni utente di interesse, è necessario partire dai livelli di potenza sonora, così da determinare i livelli di pressione nelle posizioni indicate nell'immagine seguente, che sono

- Macchine Recuperatore – L_w canale mandata = 45,4 dB(A) e L_w canale ripresa = 49,4 dB(A)¹²

Per la definizione del livello al punto utente è stato necessario determinare il livello di pressione sonora proveniente da tutte le macchine, considerati con fattori di direttività Q pari a 2 per le sorgenti posizionate nel controsoffitto lontano dalle pareti, e pari a 3 per le sorgenti posizionate a ridosso degli angoli tra controsoffitto/soffitto e pareti. Per determinare il livello di pressione dato dal campo diretto e dal campo riverberato si utilizza la seguente formula (ai 500 Hz, frequenza fondamentale

¹⁰ Cfr paragrafo 5

¹¹ Ipotesi cautelativa, da confronti con prove su elementi similari

¹² Il recuperatore, marca RHOSS modello UNTRE-A 320 (o equivalente), il più "rumoroso", ha un livello di potenza acustica, alla velocità nominale, sia per mandata che ripresa, pari a:

63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
63 dB	82 dB	85 dB	71 dB	69 dB	67 dB	66 dB	59 dB

Per tale macchina verranno montati, sia per mandata che ripresa locali serviti, dei silenziatori rettangolari con prestazioni di abbattimento pari a:

63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
9 dB	16 dB	24 dB	35 dB	50 dB	49 dB	35 dB	26 dB

Infine un tratto di dorsale (lato corridoio, subito a valle della serranda) verrà realizzato con canale di tipo fonoassorbente (Climaver Neto A2, o equivalente), che comporta circa un abbattimento di 3 dB/m.

degli impianti di climatizzazione non avendo dati di potenza sonora divisi per frequenza):

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

Dove:

L_w = livello di potenza sonora in dB(A);

Q = fattore di direttività;

d = distanza sorgente ricevitore in m.;

R = costante acustica in ambiente in m^2 , pari a $\frac{S\alpha_m}{1-\alpha_m}$, dove $\alpha_m = \sum \frac{\alpha_i S_i}{S}$, con α_i = coefficiente di assorbimento delle i-esima superfici di estensione S_i ; e S = superficie totale (ambiente = 121,52 m^2)

Nelle tabelle seguenti sono riportate le distanze ricevitore-sorgenti ed il livello di pressione sonora per ogni singola posizione $L_{pu,c}$ in dB(A), normalizzato rispetto a tempo di riverberazione come indicato dalla stessa norma UNI 11532-2:2020.

Distanze sorgenti ricevitori in metri			
Ricevitore	d1	d2	d3
r1	2,0	2,0	8,5
r2	4,4	4,4	6,2
r3	7,8	7,8	3,8

livelli di pressioni alle singole distanze delle singole sorgenti in dB(A)			
Ricevitore	d1	d2	d3
r1	32,1	32,1	34,8
r2	31,3	31,3	35,0
r3	30,9	30,9	35,4

I livelli di rumore degli impianti in ambiente espressi tramite il descrittore $L_{ic,int}$, ottenuti dalla media energetica spaziale dei valori $L_{pu,c}$ nelle posizioni utente indicate, sono pari a 33,0 dB(A) e risulta inferiori al valore di riferimento che nel caso in esame è 34 dB(A).

8 IMPATTO ACUSTICO CENTRALE DI CLIMATIZZAZIONE

8.1 Impatto Acustico - Riferimenti legislativi e normativi

Per la presente valutazione si è fatto riferimento alla normativa (legislativa e tecnica) seguente:

- Legge n. 447, 26 ottobre 1995, "Legge quadro sull'inquinamento acustico"
- D.P.C.M. 14 novembre 1997, "Determinazione dei valori limite delle Sorgenti sonore"
- Decreto Ministero dell'Ambiente, 16 marzo 1998, "Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico"
- D. Lgs. 17 febbraio 2017, n. 42 Disposizioni in materia di armonizzazione della normativa nazionale in materia di inquinamento acustico, a norma dell'articolo 19, comma 2, lettere a), b), c), d), e), f) e h) della legge 30 ottobre 2014, n. 161
- Legge Regionale 3 agosto 2001, n. 18 "Disposizioni in materia di inquinamento acustico per la pianificazione ed il risanamento del territorio - modifiche alla Legge regionale 6 agosto 1999, n. 14"
- Il Piano comunale di Zonizzazione Acustica del Comune di Nettuno (RM) è stato approvato con deliberazione di C.C. n. 70 del 22/12/2009.

- UNI 9884:1997 (ritirata). Acustica. Caratterizzazione del territorio mediante la descrizione del rumore ambientale;
- UNI 10855:1999. Acustica. Misura e valutazione del contributo acustico di singole sorgenti;
- UNI ISO 9613-2:2006. Acustica. Attenuazione sonora nella propagazione all'aperto – Parte 2: Metodo generale di calcolo.

8.2 Limiti di rumorosità

Si restituiscono le seguenti definizioni:

- Livello di rumore ambientale (L_A): è il livello di rumore prodotto da tutte le sorgenti di rumore esistenti in un dato luogo e durante un determinato tempo;
- Livello di rumore residuo (L_R): è il livello di rumore che si rileva quando si esclude la specifica sorgente disturbante (nel caso in esame gli impianti di climatizzazione);
- Livello differenziale di rumore (L_D): è la differenza tra il livello di rumore ambientale (L_A) e quello di rumore residuo (L_R):

$$L_D = L_A - L_R;$$

- Livello di emissione: è il livello di rumore dovuto alla sorgente specifica. È il livello che si confronta con i limiti di emissione.
- Valori limite di immissione: il valore massimo di rumore che può essere immesso da una o più sorgenti sonore nell'ambiente abitativo o nell'ambiente esterno, misurato in prossimità dei ricettori. I valori limite di immissione sono distinti in:
 1. valori limite assoluti, determinati con riferimento al livello equivalente di rumore ambientale;
 2. valori limite differenziali, determinati con riferimento alla differenza tra il livello equivalente di rumore ambientale ed il rumore residuo.

8.2.1 Piano classificazione acustica comune di Nettuno (RM)



Figura 7 - Estratto Piano Comunale Classificazione Acustica Comune di Nettuno (RM)

Il Comune di Nettuno (BG) con l'approvazione del piano di classificazione acustica del territorio, ha inserito i ricettori più vicini all'area di progetto in classe IV (aree di intensa attività umana) e l'edificio in classe V (aree prevalentemente industriali), si rimanda al paragrafo specifico relativo ai Ricettori. Il D.P.C.M. 14 novembre 1997, associa a tali classi i limiti di emissione ed assoluti di immissione riportati nelle tabelle successive (si riportano i limiti del solo periodo diurno, orario scolastico).

Classe di destinazione d'uso del territorio	Limite diurno (06-22) L_{eq} dB(A)
Classe IV - aree di intensa attività umana	60

Tabella 1 - Valori limite assoluti di emissione (tabella B del D.P.C.M. 14 novembre 1997)

Classe di destinazione d'uso del territorio	Limite diurno (06-22) L_{eq} dB(A)
Classe IV - aree di intensa attività umana	65

Tabella 2 - Valori limite assoluti di immissione (tabella C del D.P.C.M. 14 novembre 1997)

8.2.2 Differenziale di immissione (applicabile in ambiente abitativo)

L'accettabilità del rumore all'interno degli ambienti abitativi¹³ viene valutata attraverso il criterio differenziale (art. 4 - D.P.C.M. 14/11/97). Il decreto stabilisce le seguenti soglie di rumore ambientale per l'applicabilità del suddetto criterio (Tabella di seguito).

Condizioni punto di misura in ambiente abitativo	Periodo diurno (06-22) L_{eq} dB(A)
Soglia di applicabilità a finestre aperte	50
Soglia di applicabilità a finestre chiuse	35

Tabella 3 - Soglie di applicabilità del criterio differenziale.

Se il rumore ambientale L_A risulta inferiore ai valori indicati in tabella "ogni effetto del rumore è da ritenersi trascurabile", viceversa viene valutato il livello differenziale di immissione. I valori limite differenziali di immissione sono: 5 dB nel periodo diurno (orario scolastico), all'interno degli ambienti abitativi. Il livello differenziale di rumore L_D è ottenuto come differenza aritmetica tra il livello di rumore ambientale L_A (sorgente specifica in funzione) ed il livello di rumore residuo L_R (sorgente specifica spenta). Il parametro acustico di riferimento per la misura di tali livelli è il L_{eq} riferito ad un periodo sufficiente a caratterizzare il rumore della sorgente specifica (tempo di misura T_M).

8.3 Limiti di riferimento per la progettazione

Il limite di rumorosità più restrittivo nel caso specifico (e nella quasi totalità dei casi di inquinamento acustico) risulta il limite differenziale di immissione, valutato in ambiente abitativo a finestra aperta/chiusa, riferito al tempo di misura.

Obiettivo della progettazione acustica è quello di garantire, cautelativamente, il rispetto del criterio differenziale di immissione a finestra aperta, indipendentemente dal rumore residuo al ricettore.

Quanto sopra è verificato quando in facciata al ricettore si hanno livelli sorgente L_S (contributo della sorgente specifica - UNI 10855:1999, comprensiva del contributo delle sorgenti precedentemente descritte) inferiori a:

- periodo diurno (06-22): 54 dB(A).

Sotto tali condizioni si ottiene la non applicabilità oppure il rispetto del criterio differenziale^{14, 15}.

8.4 Sorgenti

Le sorgenti acusticamente rilevanti (n. 2 pompe di calore per la climatizzazione per la produzione di a.c.s.) saranno collocate nel giardino, al confine ovest dell'area, e consisteranno in:

- Sorgente S1 – pompa di calore a bassa temperatura (climatizzazione), potenza acustica 83,0 dB(A);

¹³ Ambiente abitativo: ogni ambiente interno ad un edificio destinato alla permanenza di persone o di comunità ed utilizzato per le diverse attività umane, fatta eccezione per gli ambienti destinati ad attività produttive per i quali resta ferma la disciplina di cui al decreto legislativo 15 agosto 1991, n. 277, salvo per quanto concerne l'immissione di rumore da sorgenti sonore esterne ai locali in cui si svolgono le attività produttive.

¹⁴ A. Di Bella, F. Fellini, M. Tergolina, R. Zecchin, Metodi per l'analisi di impatto acustico di installazioni impiantistiche per il condizionamento e la refrigerazione, Atti Seminario AIA-GAA "Immissioni di rumore e vibrazioni da impianti civili e stabilimenti industriali", Ferrara, 12/6/2002, pagg. 51-71, 2002.

¹⁵ F. Borchi, S. Luzzi, F. Miniati. "Metodologia per la valutazione previsionale di impatto acustico dei parchi eolici". AIA 41° Convegno Nazionale, Pisa 17-19 giugno 2014.

- Sorgente S2 – pompa di calore a alta temperatura (produzione a.c.s.), potenza acustica 80,0 dB(A).

I recuperatori aria di progetto, hanno emissioni acustiche irrilevanti rispetto alla sorgente principale.

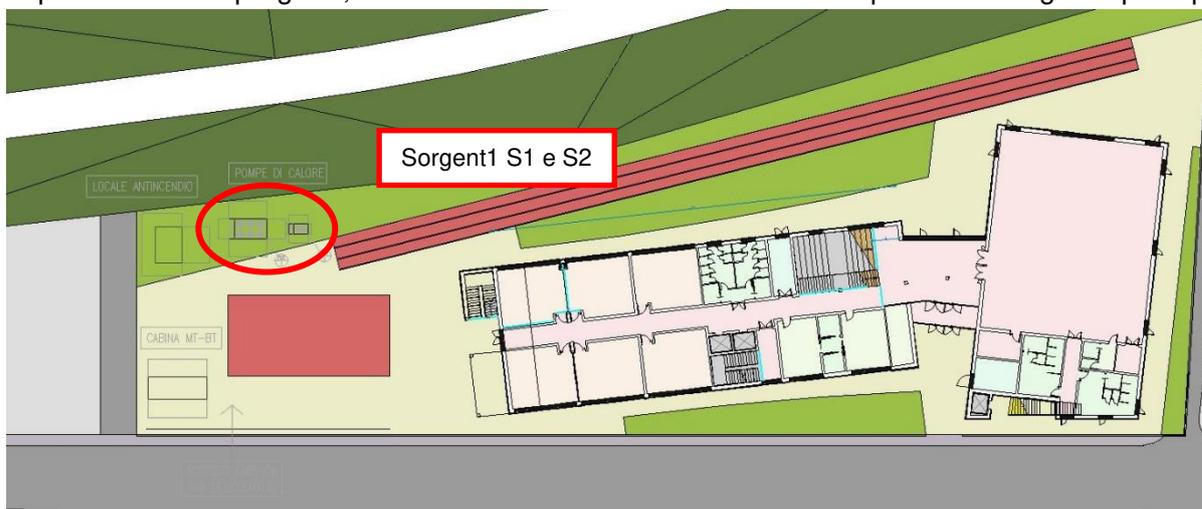


Figura 8 - Planimetria con individuazione in rosso posizione nuova pompa di calore

Il periodo di funzionamento dell'impianto è legato all'apertura dello stesso istituto scolastico, quindi orario continuato 7.30 – 17.30, dal lunedì al venerdì.

8.5 Ricettori

Relativamente all'identificazione dei ricettori, il D.P.C.M. 14/11/97 al comma 2 dell'art. 2 riporta “. . . I valori limite di emissione delle singole sorgenti fisse di cui all'art. 2, comma 1, lettera c), della legge 26 ottobre 1995, n. 447, sono quelli indicati nella tabella B allegata al presente decreto, fino all'emanazione della specifica norma UNI che sarà adottata con le stesse procedure del presente decreto, e si applicano a tutte le aree del territorio ad esse circostanti, secondo la rispettiva classificazione in zone. . .”. Inoltre al comma 1 dell'art. 3 sempre del suddetto D.P.C.M. riporta “. . . I valori limite assoluti di immissione come definiti all'art. 2, comma 3, lettera a), della legge 26 ottobre 1995, n. 447, riferiti al rumore immesso nell'ambiente esterno dall'insieme di tutte le sorgenti sono quelli indicati nella tabella C allegata al presente decreto”.

Infine tale aspetto è stato anche rimarcato in:

- UNI – Commissione Acustica. Quesiti Ministero Ambiente sui limiti di emissione. Risposta al quesito protocollo DSA: n° 4980 del 19-02-2007 e 7313 del 12-03-2007.
- Nota ARPAT Rif. Int. 254/11/FA del 30.11.11..

Infine si ricorda anche l'articolo “CRITICITÀ ED INDIRIZZI INTERPRETATIVI NELLA VALUTAZIONE STRUMENTALE DEL DISTURBO”, Jacopo Fogola, ARPA Piemonte, Dipartimento Provinciale di Torino, Torino, “Il contenzioso per disturbo da rumore: dall'azione amministrativa al procedimento civile”, Catania, 25 maggio 2013, Associazione Italiana di Acustica, nel quale le varie ARPA hanno all'unisono sostenuto che i ricettori su cui valutare l'impatto acustico ai sensi del comma 2 art. 8 della legge 447/95 sono quelli esterni all'area di pertinenza della “proprietà” delle sorgenti acustiche in analisi.

Il Ricettore (il più vicino e quindi il maggiormente interessato dalle emissioni acustiche delle sorgenti) risulta quindi essere:

Ricettore A – Edificio residenziale, 6 piano fuori terra, via dell’Olmaia 88, affaccio diretto sulle sorgenti, classe acustica IV - distanza della facciata dalla sorgente S1 18,0 metri e dalla sorgente S2 24,7 metri

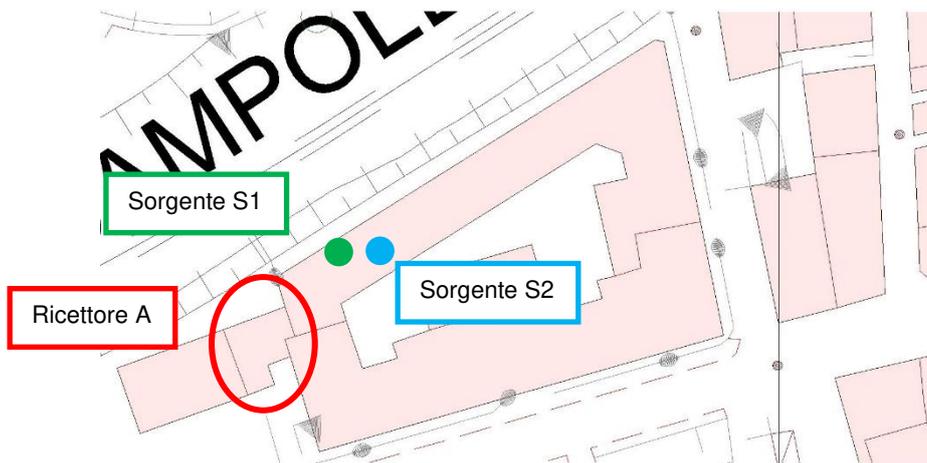


Figura 9 -- Planimetria con individuazione Sorgenti (in verde S1 ed in azzurro S2) e Ricettore (in rosso)

8.6 Rispetto dei limiti

8.6.1 Stima dei livelli sonori attesi

Il livello di pressione sonora in facciata al ricettore (livello di sorgente LS - UNI 10855:1999) è dato dal contributo della pdc, nell’ipotesi di sorgente omnidirezionale posta su piano riflettente, irradiante in campo libero, il contributo al ricettore è valutato tramite la seguente relazione:

$$L_{Si} = L_{W_{Ai}} - (20 \log d_i + 8) + 3 \quad \text{dB(A)}$$

con:

L_{Si} = livello di pressione sonora prodotto dalla sorgente i-esima in facciata al ricettore;

$L_{W_{Ai}}$ = livello di potenza sonora della sorgente i-esima;

$20 \log d_i + 8$ = attenuazione per divergenza geometrica con sorgente posta su piano riflettente;

d_i = distanza sorgente i-esima/ricettore;

+3 = contributo cautelativo per riflessione di facciata (UNI 9884:1997).

Sviluppando i calcoli si ottiene:

Ricettore

Sorgente	L_{WA} dB(A)	d [m]	$-(20 \log d + 8)$ dB(A)	Riflessione di facciata dB(A)	L_{Si} dB(A)
S1	83,0	18,0	- 33,1	+ 3,0	52,9
S2	80,0	24,7	- 35,9	+ 3,0	47,1
L_s^*					$\approx 54,0 (54,0)$

* Somma energetica

N.B. I valori sono stati arrotondati all’unità superiore, come prescritto nell’allegato B del D.M. 16 marzo 1998

Valore limite di emissione

L’emissione della sorgente specifica, da confrontare con i limiti di legge, è determinabile con la relazione seguente:

Ing. Sacha Slim Bouhageb
 TCAA MATTM 7988

Sede: via Pian d’Albero 4, 50012 Bagno a Ripoli (FI)
 Studio: Viale S. Lavagnini 41 50129 Firenze
 Tel 0555392104 – Cell 3356123490 – E-mail ssb@2sb.it – PEC ssb@pec.2sb.it

$$L_E = L_S + 10 \log \left(\frac{T_f}{T_R} \right) \text{ dB(A)}$$

Dove:

T_f = tempo di funzionamento della sorgente specifica (10 ore);

T_R = periodo di riferimento (diurno, 16 ore).

Dai calcoli risulta una riduzione pari a $\approx 2,0$ dB, quindi al ricevitore:

	L_{eq} impianto dB(A) periodo diurno
Ricettore	52,0 (52,0)

N.B. I valori sono stati arrotondati all'unità superiore, come prescritto nell'allegato B del D.M. 16 marzo 1998

L'emissione della sorgente specifica rispetta il limite di legge (e classe IV – periodo diurno max 60 dB(A)).

8.6.2 Valore limite di immissione assoluto

In considerazione del livello di emissione della sorgente specifica, l'eventuale superamento di tale limite (classe IV – periodo diurno max 65 dB(A)) sarebbe imputabile solo al rumore residuo.

8.6.3 Valore limite di immissione differenziale (ambiente abitativo)

Il limite di rumorosità più restrittivo nel caso specifico (e nella quasi totalità dei casi di inquinamento acustico) risulta il limite differenziale di immissione, valutato in ambiente abitativo a finestra aperta/chiusa, riferito al tempo di misura. Si dimostra il rispetto di tale limite indipendentemente dal rumore residuo. L'accettabilità del rumore all'interno degli ambienti abitativi viene valutata attraverso il criterio differenziale di immissione. Il criterio risulta applicabile se il rumore ambientale supera le soglie indicate nella tabella relativa.

La valutazione deve essere eseguita sia a finestre chiuse che a finestre aperte, al fine di individuare la situazione più gravosa per il ricevitore.

Nel caso in esame, per i ricettori la situazione di finestre aperte è la più gravosa perché la sorgente è esterna all'edificio ricevitore e la trasmissione del rumore avviene per via aerea.

In prima approssimazione, per il ricevitore, si può stimare la rumorosità immessa a finestra aperta considerando una riduzione di circa 6 dB(A) nel passaggio tra ambiente esterno ed ambiente abitativo^{16, 17}.

Quindi, in ambiente confinato a finestra aperta nel periodo diurno, il contributo della sorgente specifica è stimato pari a circa 48,0 dB(A) (54,0 – 6,0).

Per l'applicabilità del criterio differenziale di immissione nel periodo diurno è necessario che il rumore ambientale superi la soglia di 50 dB(A) a finestre aperte (periodo diurno). Tale superamento, qualora si verificasse, sarebbe imputabile al solo rumore residuo (in tal caso non inferiore a 45,7 dB(A)) e determinerebbe il valore massimo del differenziale di immissione ($L_D = L_A - L_R$) pari a circa 4,3 dB(A), inferiore al limite previsto dalla normativa vigente (5 dB(A) nel periodo diurno).

9 STIMA DEL GRADO DI CONFIDENZA E GIUDIZIO CONCLUSIVO

Il grado di confidenza ipotizzabile per i calcoli previsionali effettuati, tenendo presente che le formule utilizzate sono di tipo empirico, è stimato pari a +/- 4%.

Le considerazioni precedentemente riportate, relativamente alle tipologie costruttive dei manufatti e

¹⁶ A. Di Bella, F. Fellini, M. Tergolina, R. Zecchin, "Metodi per l'analisi di impatto acustico di installazioni impiantistiche per il condizionamento e la refrigerazione"

¹⁷ UNI/TS 11143-7:2013. Numerosi riferimenti bibliografici indicano per una parete con finestra completamente aperta un isolamento sonoro compreso nell'intervallo da 5 dB a 10 dB ponderati A (in mancanza di informazioni si suggerisce 6 dB in riferimento al valore di attenuazione più ricorrente in letteratura)

ai materiali utilizzati partono dal requisito fondamentale di una posa in opera a regola d'arte; la non corretta posa in opera dei materiali o sistemi di isolamento acustico inficia in maniera determinante i risultati prevedibili in fase progettuale.

Oltre alle indicazioni generali di buona posa in opera sopra descritte, per l'intervento edificatorio in oggetto saranno individuate di volta in volta le soluzioni da adottare in accordo con la Direzione Lavori, in considerazione anche delle eventuali modifiche che potrebbero essere apportate per venire incontro alle richieste formulate dalla Committenza.

Sulla base di quanto esposto in relazione, si ritiene che i requisiti acustici passivi dell'edificio oggetto di studio saranno compatibili con le prescrizioni di legge, D.P.C.M 5 dicembre 1997 "Requisiti acustici passivi degli edifici" e Appendice A "Prestazione superiore" e Appendice C, norma UNI 11367:2023, come richiamato dal Decreto 23 giugno 2022 "Criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di progettazione di interventi edilizi, per l'affidamento dei lavori per interventi edilizi e per l'affidamento congiunto di progettazione e lavori per interventi edilizi". Specifica tecnica progettuale - § 2.4.11 Prestazioni e comfort acustici oltre che il rispetto della normativa vigente in materia di impatto acustico.

RACCOMANDAZIONI

Si consiglia infine che durante le varie fasi di realizzazione (cantierizzazione) e di esercizio, vengano effettuate sessioni di misura fonometrica (sia di natura edilizia che impiantistica) al fine di poter garantire la veridicità delle ipotesi e delle tesi considerate oltre che poter intervenire per tempo nelle situazioni acusticamente più "delicate".