

Nuova scuola media Enrico Panzacchi

Viale Il Giugno, 49 - Ozzano dell'Emilia



committente

Comune di Ozzano dell'Emilia
Via della Repubblica, 10

responsabile unico del procedimento

ing. Chiara De Plato

raggruppamento temporaneo di professionisti

_progettazione architettonica

AREA PROGETTI srl Arch. Giorgio Gazzera
Via Regaldi 3, 10154 Torino, tel. 011 2386221, info@area-progetti.it
Archisbang associati Arch. Silvia Minutolo, Arch. Marco Gai Via
Via Bogino 4, 10123 Torino, tel. 011 026 7246, info@archisbang.com

_progettazione strutturale

AREA PROGETTI srl Ing. Marco Cuccureddu
Via Regaldi 3, 10154 Torino, tel. 011 2386221, info@area-progetti.it

_progettazione impianti meccanici, elettrici e speciali

AREA PROGETTI srl Ing. Sergio Cerioni, Ing. Gabriele Pisani
Via Regaldi 3, 10154 Torino, tel. 011 2386221, info@area-progetti.it

_progettazione antincendio

AREA PROGETTI srl Ing. Sergio Cerioni
Via Regaldi 3, 10154 Torino, tel. 011 2386221, info@area-progetti.it

_progettazione urbanistica

arch. Andrea Cavaliere
Via Cassini 43 - 10129 Torino, tel. 3284240491, archicavaliere@gmail.com

_consulenza LEED

arch. Elisa Siroombo
Via Stampatori 21, 10122 Torino, tel. 3356277109, elisa.siroombo@gmail.com

_piano di sicurezza e coordinamento

AREA PROGETTI srl Arch. Domenico Racca
Via Regaldi 3, 10154 Torino, tel. 011 2386221, info@area-progetti.it

consulenti

_arch. Chiara Devecchi (progettazione acustica)

Via Principi d'Acaja 19, 10138 Torino, tel. 011 4172277, devecchichiara@yahoo.it



archisbang

AREAPROGETTI
architettura e ingegneria

pratica PAN

fase PE_Progetto Esecutivo

oggetto PNT_CMF- Comfort acustico

elaborato Specifiche acustiche: comfort auditorium

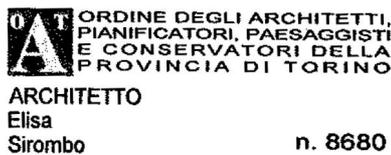
file PAN_PE_AC_A_0004_REL_CMF

scala -

data 27 marzo 2020

rev.	data	redatto	verificato	approvato	oggetto revisione
	27/03/20	Devecchi	Gazzera	Gazzera	prima emissione

L'UTILIZZO E LA RIPRODUZIONE DEL PRESENTE DOCUMENTO SONO RISERVATE A NORMA DI LEGGE



n. 8680



n.9091

AC_A_0004

Comfort acustico

1	PREMESSA	3
2	PARAMETRI DESCRITTORI DELL'ACUSTICA DI UNO SPAZIO	4
2.1	Tempo di riverberazione T30	5
2.2	Tempo di Primo Decadimento EDT	6
2.3	Frazioni energetiche	6
2.4	Frazioni di energia laterale LF	7
2.5	Intelligibilità del parlato STI	8
2.6	Valori tipici delle principali grandezze acustiche riferite all'ascoltatore	9
3	RUMORE DEGLI AMBIENTI INTERNI	10
3.1.1	DPCM 5/12/97 - Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici	10
3.1.2	Building Bulletin 93 (BB93) minimum performance standards for the acoustics of school buildings	11
3.1.3	LEED reference guide for building design and construction . acoustics performance	11
3.1.4	NRC-CNRC Construction Technology Update No. 51, Acoustical Design of Rooms for Speech (2002)	12
4	ISOLAMENTO ACUSTICO DEGLI AMBIENTI	12
5	PARAMETRI CONSIDERATI PER IL PROGETTO	15
5.1	L'ISOLAMENTO ACUSTICO	15
5.2	IL TEMPO DI RIVERBERAZIONE	15
5.3	IL RUMORE NEGLI AMBIENTI	16
5.4	IL SISTEMA DI AMPLIFICAZIONE E DIFFUSIONE SONORA	16
6	IL METODO DI ANALISI DEGLI SPAZI	16
6.1	LE NORME TECNICHE	16
6.2	ANALISI DELLA QUALITÀ ACUSTICA	17
7	DEFINIZIONE DELLE STRUTTURE FONOISOLANTI	17
7.1	TRASMISSIONE DIRETTA	18
7.2	TRASMISSIONI LATERALI (FLANKING)	22
7.3	FINESTRE INTERNE	23
7.4	PRESCRIZIONI INTEGRATIVE PER IL MANTENIMENTO DELL'ISOLAMENTO	24
7.5	DIMENSIONAMENTO E POSIZIONAMENTO ANTIVIBRANTI	27
8	LA VERIFICA DELLA QUALITÀ ACUSTICA DELL'AUDITORIUM	28
8.1	INDICAZIONI SULL'ACUSTICA DELLA SALA . RAPPORTI DI FORMA	28
8.2	LA FORMA DELLA SALA: RIDUZIONE DEGLI ECHI MULTIPLI	29
8.3	LA FORMA DELLA SALA: SEZIONE	32
8.4	LA FORMA DELLA SALA: PIANTA	33
8.5	ANALISI DELLE RIFLESSIONI DEI RAGGI SONORI	35
8.5.1	Analisi sulla percezione soggettiva degli elementi riflettori	38
8.6	TEMPO DI RIVERBERAZIONE	40
8.7	UNIFORMITÀ E DIFFUSIONE DEL CAMPO SONORO	42
8.8	DISTRIBUZIONE DEL LIVELLO SONORO SPL	43
8.9	VALUTAZIONE ACUSTICA OGGETTIVA	44
8.9.1	Indici descrittivi per il parlato	45
8.9.2	Indici descrittivi per la musica	48
9	PROGETTAZIONE ACUSTICA DELL'AUDITORIUM	50
10	VERIFICA DELLA QUALITÀ ACUSTICA DELLA SALA REGIA	62

10.1	RIDUZIONE DEI MODI DI RISONANZA: DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA DEGLI AMBIENTI	62
10.2	FORMA DELL'AMBIENTE.....	64
10.3	TRATTAMENTI ACUSTICI DELLA SALA REGIA	65
10.3.1	Analisi delle riflessioni e definizione delle caratteristiche di assorbimento acustico....	66
10.3.2	Indicazioni sugli altri elementi e sulle attrezzature di studio	70
11	PROGETTAZIONE ACUSTICA DELLA SALA REGIA.....	71
12	RUMORE INTERNO DEGLI IMPIANTI TECNOLOGICI	75
12.1	IMPIANTO DI CLIMATIZZAZIONE (RUMORE PRODOTTO DALL'UNITÀ DI RECUPERO CALORE)	76
12.1.1	Prescrizioni per la minimizzazione del rumore per l'unità di recupero calore UR02....	77
12.2	IMPIANTO DI CLIMATIZZAZIONE (RUMORE PRODOTTO DAI VENTILCONVETTORI) .	79
12.2.1	Prescrizioni specifiche per la minimizzazione del rumore del VENTILCONVETTORE S-UI-A.....	80
12.3	IMPIANTO DI VENTILAZIONE (RUMORE PRODOTTO DALLE UNITÀ DI TRATTAMENTO ARIA E VENTILATORI ESTRAZIONE DELL'ARIA).....	81
12.3.1	Prescrizioni specifiche per la minimizzazione del rumore per le unità CENTRALI DI TRATTAMENTO DELL'ARIA (CTA TA_05)	84
12.3.2	Prescrizioni per la minimizzazione del rumore per i componenti del circuito aeraulico	85
12.3.3	Adiacenze critiche: locale tecnico su regia.....	90
13	CALCOLO DEL RUMORE COMPLESSIVO NEGLI AMBIENTI DELL'AUDITORIUM.....	92
13.1	VALUTAZIONE DEL LIVELLO DI RUMORE INDOTTO DAGLI IMPIANTI A FUNZIONAMENTO DISCONTINUO	93
13.2	VALUTAZIONE DEL LIVELLO DI RUMORE INDOTTO DAGLI IMPIANTI A FUNZIONAMENTO CONTINUO	93
14	PRESCRIZIONI GENERALI	94
14.1	DIMENSIONAMENTO E POSIZIONAMENTO DEGLI ELEMENTI SMORZANTI/ANTIVIBRANTI	94
14.2	CLIMATIZZAZIONE	96
14.2.1	La velocità dell'aria	96
14.2.2	Prescrizione su bocchette dell'aria . rumore autogenerato	97
14.2.3	Prescrizioni da adottare per ridurre il rumore di breakin/breakout dei canali	97
14.2.4	Indicazioni di corretta posa degli impianti idrico sanitari	99
14.2.5	Prescrizioni di montaggio degli impianti	102

Allegato A	Dati tecnici delle macchine
Allegato B	Determina Dirigenziale di nomina a Tecnico Competente in Acustica Ambientale

1 PREMESSA

La presente relazione, redatta dagli scriventi Arch. Chiara Devecchi ed Ing. Paolo Onali, ha lo scopo di definire gli elementi acustici e le soluzioni tecniche atte ad elevare la qualità acustica del nuovo auditorium e della annessa sala regia che costituiranno parte dei nuovi fabbricati della scuola Enrico Panzacchi sita in viale Il giugno 47 a Ozzano dell'Emilia.

Obiettivo del lavoro è la progettazione acustica atta ad evidenziare le eventuali criticità degli spazi in funzione della destinazione d'uso, prevalentemente orientata al parlato, con possibili impieghi rivolti alla riproduzione audio-video, ed alla produzione musicale, con particolare riferimento a piccoli-medi ensemble. Tale approccio progettuale permette di definire le corrette scelte progettuali per garantire un'adeguata risposta acustica dell'ambiente e fornire le specifiche tecniche di risposta dello spazio per determinare le scelte del sistema di diffusione sonora ottimale.

Lo iter progettuale ha compreso le seguenti fasi, svolte al fine di precisare gli elementi acustici necessari e, successivamente, valutare oggettivamente l'acustica dello spazio.

- **Caratterizzazione dello spazio:** Si caratterizza l'acustica dello stato rustico (senza trattamenti) e si valutano le criticità in funzione della destinazione d'uso dello spazio (comprensione della parola, esecuzione della musica). In tale fase si determinano, inoltre, le adiacenze critiche e gli impianti tecnologici che possono costituire elemento di disturbo per gli occupanti degli ambienti, si definiscono, quindi, le specifiche relative al potere fonoisolante da attribuire alle partizioni.
- **Progettazione del trattamento acustico della sala.** Sulla base delle indicazioni progettuali fornite dai progettisti architettonici, si determina previsionale la soluzione progettuale che possa fornire un adeguato comportamento acustico.
- **Valutazione oggettiva della qualità acustica.** Mediante software previsionale si effettuano le necessarie valutazioni orientate alla definizione accurata della sala in funzione della destinazione d'uso.

Le fasi definite si esplicano, per ogni ambiente in oggetto (auditorium e sala regia), secondo principi progettuali precisi e necessità peculiari che saranno descritte nei capitoli successivi con riferimento ai seguenti aspetti:

- 1) l'isolamento acustico degli ambienti
- 2) il trattamento acustico degli ambienti
- 3) il rumore di fondo massimo ammissibile.

Particolare attenzione sarà posta alla definizione dettagliata delle strutture e dei materiali necessari al conseguimento degli obiettivi indicati.

Il paragrafo seguente descrive i descrittori acustici, utilizzati per la caratterizzazione degli ambienti, secondo le norme tecniche e indica i valori ottimali per la destinazione d'uso della sala in oggetto.

2 PARAMETRI DESCRITTORI DELL'ACUSTICA DI UNO SPAZIO

L'acustica di ambienti come sale conferenze, auditorium, etc. è valutata mediante parametri acustici che rendono oggettiva la percezione soggettiva del suono in un ambiente confinato.

Alcuni dei termini comuni che descrivono l'acustica di un ambiente sono:

1. **Riverberazione:** definisce la permanenza nell'ambiente di un suono prodotto da una sorgente dopo il suo spegnimento.
2. **Tempo di riverberazione:** grandezza che quantifica la riverberazione di un ambiente. Esso può essere ottenuto mediante diverse tecniche, quali l'interruzione di un rumore prodotto da una sorgente per misurare il tempo di decadimento dell'intensità, oppure mediante una risposta impulsiva (colpo di pistola, utilizzo di segnali audio speciali quali *sweep logaritmici* oppure rumore *MLS*.) così come riportato in Figura 1,
3. **Suono diretto:** il primo suono prodotto da una sorgente sonora che raggiunge l'ascoltatore senza essere riflesso da superfici oppure ostacolato da oggetti. Tale suono è legato alla corretta rilevazione della posizione della sorgente sonora,
4. **Prime riflessioni:** le riflessioni prodotte dalle superfici dell'ambiente che arrivano con un certo ritardo e intensità dopo il suono diretto, Figura 2.
5. **Riflessioni successive e diffusione:** coda della risposta all'impulso prodotta dalle successive riflessioni e diffusioni delle superfici, Figura 2.
6. **Uniformità ed omogeneità del campo sonoro:** i parametri acustici sono uguali nei diversi punti nello spazio di ascolto, ovvero la qualità della sala non varia al variare della posizione dell'ascoltatore nell'ambiente.

Nel presente lavoro, per la valutazione degli indici, è stata utilizzata la tecnica della risposta all'impulso mediante calcolo con software previsionale (Figura 1 e Figura 2).

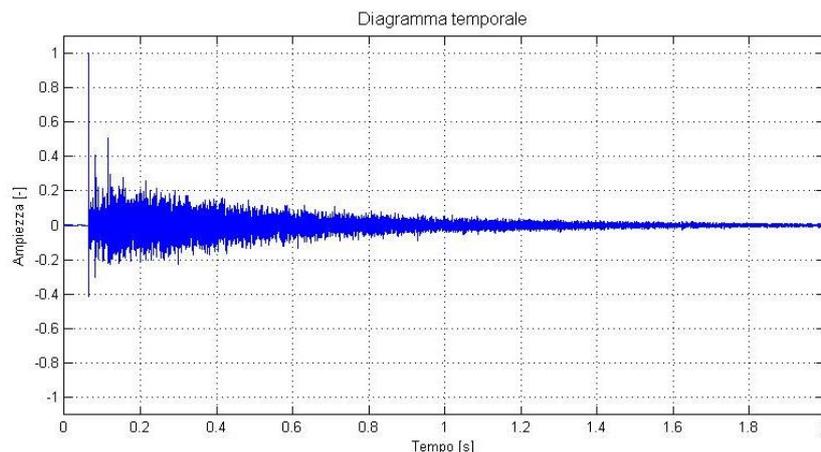


Figura 1 -Risposta all'impulso per un ricettore posto all'interno della sala

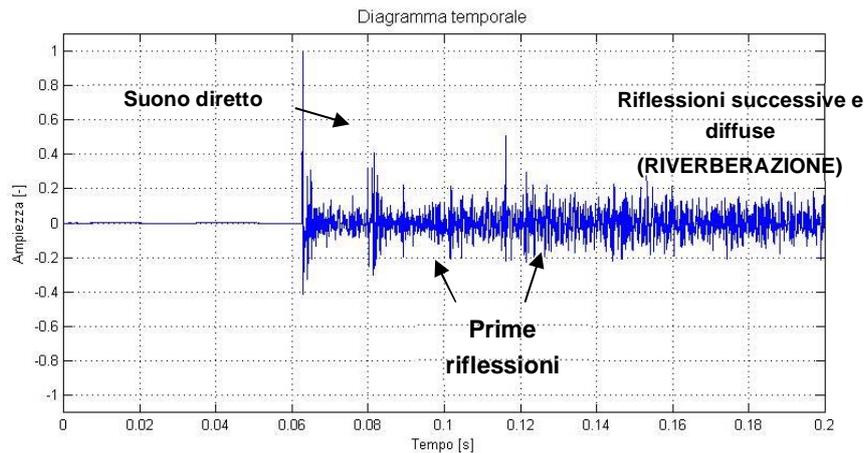


Figura 2- Risposta all'impulso - indicazione delle riflessioni principali

La risposta all'impulso fornisce, quindi, il metodo per il calcolo dei parametri acustici della sala descritti nei paragrafi seguenti.

2.1 Tempo di riverberazione T30

L'origine degli studi dell'acustica degli ambienti confinati è dovuta a Sabine, che mise in relazione:

- le **caratteristiche geometriche** (volume V , superficie S);
- le **caratteristiche fisiche** (coefficienti di assorbimento α dei materiali che costituiscono l'ambiente. I coefficienti α possono avere valori compresi tra 0,00 per i materiali riflettenti e 1,00 per i materiali completamente assorbenti);
- il **tempo di riverberazione** è il tempo che un suono prodotto da una sorgente sonora (rumore, parlato o musica), dal momento in cui essa viene spenta, impiega per ridursi di 60 dB (ovvero di un milione di volte l'intensità sonora iniziale).

La formula è la seguente:

$$T_{30} = 0,161 \frac{V}{A} \quad [\text{secondi}]$$

Questo parametro definisce la relazione di proporzionalità inversa tra tempo di riverberazione e le unità assorbenti: il valore di T_{30} si riduce se vengono aggiunti nell'ambiente materiali che hanno proprietà fonoassorbenti elevate (prossime a $\alpha=1,00$): ne consegue che l'inserimento di particolari materiali può variare significativamente i valori del T_{30} .

La norma ISO 3382-1 (2009) definisce più specificatamente il tempo di riverberazione T_{30} , che rappresenta la misura dell'intervallo temporale nel quale il livello sonoro si riduce di 30 dB passando dal valore di -5 dB rispetto al livello del suono diretto fino a -35 dB riferito al livello del suono diretto.

Si precisa che il parametro T_{30} risulta rilevabile efficacemente nella quasi totalità dei casi reali, per i quali invece il valore di RT_{60} richiederebbe un valore di rumore di fondo eccessivamente

basso (a rigore 60 dB inferiore al livello sonoro prodotto dall'esplosione oppure dal rumore). In generale, i valori di RT60 e T30 sono identici.

La percezione legata alla riverberazione è proporzionale alla sensazione di confusione tra diversi suoni e tale effetto non sempre è negativo: ad esempio, per una grande orchestra, essa contribuisce alla creazione della miscela tra i suoni ("blend") per creare un unico suono in cui vengono mascherate le varie sezioni orchestrali. Tuttavia, sale destinate all'esecuzione di brani orchestrali possono risultare pessime per la prosa, la Tabella 1 indica i valori dei tempi di riverberazione tipici a seconda dell'esecuzione di diversi stili di musica o prosa.

Tabella 1 - Tempi di riverberazione tipici

Tipo di musica	Tempo di riverberazione [s]
Liturgica	> 2,5
Classica	1,6 - 2,2
Opera	1,3 - 1,8
Camera	1,4 - 1,7
Rock E pop	0,6 E 1,2
Prosa	0,7 -1,0

Nel caso specifico in oggetto, l'auditorium della scuola sarà destinato, come detto, prevalentemente al parlato e alla musica eseguita da piccoli e medi ensemble musicali: risulta, quindi, che **il valore ottimale del tempo di riverberazione T dovrebbe essere compreso tra 0,7 s e 1,2 s.**

Si può affermare che, dato il volume della sala e il campo dei valori accettabili la sala può essere destinata, con risultati egregi anche alla riproduzione di contenuti multimediali od all'esecuzione di brani di musica leggera (pop-rock)

2.2 Tempo di Primo Decadimento EDT

Il tempo di riverberazione non sempre è perfettamente correlato con la sensazione soggettiva di riverberazione, ovvero con la sensazione di sala "secca" o "sorda" (ambiente privo di eco) oppure con sensazione di sala "viva" ovvero brillante.

Il parametro maggiormente correlato con tali sensazioni è il tempo di primo decadimento EDT, che rappresenta l'intervallo temporale che il suono impiega per ridurre la sua intensità di 10 dB dal suono diretto, ovvero il tempo impiegato dal suono per passare dal livello di 0 dB a -10 dB.

Si ricorda che il rapporto $EDT/T30=1$ corrisponde ad un campo sonoro diffuso, quindi generalmente omogeneo, ovvero poco variabile a seconda della posizione dell'ascoltatore.

2.3 Frazioni energetiche

Le frazioni energetiche, sono indicatori della percezione di chiarezza, ovvero dell'energia sonora che raggiunge l'ascoltatore entro determinati istanti e che permette di percepire

correttamente le sillabe (se ci si riferisce al parlato) o la successione temporale delle note (se ci si riferisce alla musica). La famiglia di descrittori comprende la Chiarezza C80, la Definizione D50 e l'Istante baricentrico Ts: essi sono concettualmente complementari alla riverberazione che, come detto, è legata alla miscelazione dei suoni in un ambiente confinato.

Si ricorda brevemente che la percezione di chiarezza è legata alla facoltà del cervello umano di combinare il suono diretto con le prime riflessioni in modo tale da permettere una precisa distinzione delle sillabe o delle note: in particolare le riflessioni che arrivano entro 50 ms per il parlato e entro 80 ms per la musica vengono integrate dal cervello e contribuiscono al miglioramento della percezione (effetto di precedenza o Haas). Le successive riflessioni in genere sono percepite come distinte e contribuiscono alla sensazione di eco.

Si definiscono, quindi, le seguenti grandezze

$$C_{80} = 10 \cdot \log_{10} \frac{E_{0-80}}{E_{80-}} \quad [\text{dB}]$$

$$D_{50} = \frac{E_{0-50}}{E_{50-}} \quad [-]$$

a cui si aggiunge l'istante baricentrico che rappresenta il tempo medio rispetto all'energia dell'impulso

$$T_b = \frac{E_{0-}}{E_{0-}} \quad [\text{ms}]$$

2.4 Frazioni di energia laterale LF

In termini oggettivi, vi è correlazione diretta tra la proporzione di energia delle prime riflessioni laterali rispetto al livello sonoro complessivo (Barron, 1971; Barron and Marshall, 1981).

In relazione alla struttura della risposta all'impulso le prime riflessioni contribuiscono alla percezione di allargamento spaziale della sorgente sonora mentre le successive riflessioni contribuiscono alla sensazione di avvolgimento dell'ascoltatore nel campo sonoro: più è alta l'energia delle prime riflessioni e più è intenso il suono complessivo, più la percezione di allargamento spaziale della sorgente è alta. Tale effetto oggettivo è correlato alla percezione soggettiva di *ampiezza apparente della sorgente* (*apparent source width* - ASW, Marshall) che rileva, inoltre, a tale proposito, che tale sensazione è significativa alle basse frequenze (effetto di spazialità).

In rapporto alla percezione ASW si definisce la seguente grandezza

$$L_{LF} = \frac{E_{0-}}{E_{0-}} \quad [\text{dB}]$$

2.5 Intelligibilità del parlato STI

La risposta all'impulso permette la determinazione dell'indice di comprensione della parola STI (*Speech Intelligibility Index*). Il concetto alla base della valutazione della comprensione della parola è dato da una prova che chiunque può effettuare: quando ripetendo delle frasi, o semplicemente pronunciando delle parole, nella posizione occupata dall'oratore, chi ascolta deve essere in grado di riconoscerle. La percentuale di parole correttamente riconosciute è proporzionale al livello di intelligibilità.

Il concetto esposto è formalizzato mediante l'indice STI (definito dalla norma IEC 60268 - 16) che correla la misura del numero delle parole riconosciute in rapporto al numero totale di parole pronunciate: il campo di valori che può assumere è compreso tra zero, per il quale si ha una cattiva comprensione della parola (ambiente che con le riflessioni contribuisce ad un mascheramento continuo dei fonemi pronunciati da un oratore), fino ad un massimo di uno per il quale si ha una perfetta intelligibilità.

I fattori che influenzano e degradano l'indice STI sono:

- 1) il **tempo di riverberazione** (espresso in secondi): esso è correlato alla percezione di rimbombo ed è legato alle proprietà fisiche globali della sala. Le scelte progettuali relative alle forme e ai materiali impiegati modificano profondamente la qualità della sala in relazione a questo termine. La misura di questa grandezza è descritta nel paragrafo precedente ed è definita secondo i metodi contenuti nella norma ISO 3382.
- 2) il **rumore di fondo** (espresso in dB): è considerato rumore ogni suono non voluto ed è considerato tale, generalmente, il brusio o vociare delle persone o l'emissione sonora prodotta dagli impianti tecnologici di ricambio e condizionamento dell'aria o da altre sorgenti presenti nei locali adiacenti alla sala in oggetto. Infatti, le emissioni sonore e le vibrazioni che si possono propagare per via strutturale riducono rapidamente la comprensione della parola in ambienti dove è fondamentale avere un ridotto rumore di fondo. In particolare, con riferimento al rumore di fondo, il termine di paragone è funzione della tipologia di rumore presente (impianti a ciclo continuo, presenza di componenti tonali o impulsive, etc.) ed esistono differenti criteri in letteratura per quantificare il disturbo in termini di difficoltà di concentrazione o sensazione di fastidio come le curve Noise Criteria, Room Criteria, etc.

il rapporto segnale utile-disturbo (espresso in dB): il livello del parlato o della musica in presenza di rumore di fondo "percepibile" possono essere incrementati mediante un impianto di diffusione elettroacustica realizzato da un sistema di amplificazione ed altoparlanti opportunamente collocati nello spazio di ascolto per garantire un livello sonoro adeguato in ogni punto della sala. Il rapporto segnale utile-disturbo fornisce l'indicazione circa un livello sufficiente prodotto dall'oratore ovvero dal sistema di diffusione rispetto al rumore di fondo esistente.

I tre fattori sopra elencati hanno una diretta influenza sull'indice di comprensione della parola STI che contempla in un unico numero tali diversi aspetti.

L'indice STI fornisce inoltre la base per la valutazione e per la scelta relativa alle caratteristiche di un eventuale impianto di diffusione sonora. Aspetti come la direttività, la potenza e il

posizionamento dei diffusori possono risultare estremamente critici in ambiente acusticamente difficili+ossia carenti per gli aspetti sopra indicati.

Nella Tabella 2 si riporta la corrispondenza tra indice STI e la relativa fascia di valutazione della comprensione del parlato secondo quanto indicato nell'Annesso A della norma ISO 9921 "Ergonomia - Valutazione della comunicazione verbale"

Tabella 2 (ISO 9921) Indice STI e fascia di valutazione della comprensione del parlato

Fascia di valutazione	STI
Eccellente	> 0,75
Buono	0,60 . 0,75
Accettabile	0,45 . 0,60
Scarso	0,30 . 0,45
Cattivo	< 0,30

2.6 Valori tipici delle principali grandezze acustiche riferite all'ascoltatore

La norma ISO 3382-1 riporta, all'annesso A, una tabella che riassume le famiglie di indici sinteticamente descritti nei paragrafi precedenti, tutti rilevabili dalla risposta all'impulso. Nella Tabella 3 si riportano i valori tipici come indicato nella norma, si fa notare che alcuni di essi sono stati aggregati tra loro (le frazioni energetiche - Chiarezza percepita del suono) poiché fortemente correlati.

Si osserva che

- l'indicazione "**valori tipici**" assunti dagli indici è relativa ai valori mediamente rilevati in posizioni singole di chiese, auditorium, sale multifunzionali non occupate fino a 25.000 m³.
- L'indicazione **Í Differenza Appena Percepibileî** (JND *Just Noticeable Difference*) si riferisce alla capacità da parte dell'ascoltatore, di percepire la minima variazione relativa all'indice.

Tabella 3 Grandezze raggruppate per aspetti relativi alla percezione dell'ascoltatore

Sensazione percettiva dell'ascoltatore	Grandezza acustica	Frequenze utilizzate per il valore medio	Differenza Appena Percepibile (JND)	Valori tipici
Livello sonoro soggettivo	Guadagno G, in dB	500 Hz - 1000 Hz	1 dB	-2 dB; +10 dB
Riverberazione percepita	Tempo di Primo Decadimento EDT, in s	500 Hz - 1000 Hz	Rel. 5%	1,0 s; 3,0 s
Chiarezza del suono percepita	Chiarezza C80, in dB	500 Hz - 1000 Hz	1 dB	-5 dB; +5 dB
	Definizione D50		0,05	0,3; 0,7
	Istante baricentrico Ts, in ms		10 ms	60 ms; 260 ms

3 RUMORE DEGLI AMBIENTI INTERNI

Il tema in generale ha diversi ambiti di sviluppo che sottendono rilevanti contenuti tecnici, anche fondati sulla normativa attualmente vigente: i punti di seguito riportati offrono una panoramica di quelli che sono gli aspetti attinenti all'argomento per gli ambienti confinati.

Aspetti correlati al controllo del rumore esterno

- Il sito
- Il clima acustico (Livelli di rumore all'esterno))
- Rumore e vibrazioni delle infrastrutture di trasporto
- Opere di mitigazione del rumore: barriere acustiche e pavimentazioni stradali presenti

Aspetti correlati al controllo del rumore degli impianti

- impianti di climatizzazione e di ventilazione
- impianti idrosanitari (fluido-meccanici)
- ascensori

Si propone una breve rassegna dei disposti legislativi e buone norme attinenti al rumore che definiscono vincoli per ambienti con funzioni analoghe alla sala in oggetto e che nello specifico

3.1.1 DPCM 5/12/97 - Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici

Per quanto riguarda gli impianti tecnologici a funzionamento continuo e discontinuo il testo del Decreto prescrive il rispetto dei seguenti limiti:

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

Si ricorda che il decreto specifica che i limiti sono valori massimi consentiti e il disturbo deve essere misurato in ambienti diversi da quello in cui il rumore viene generato.

Per impianti a funzionamento discontinuo si intendono ascensori, scarichi idraulici, bagni e servizi igienici, rubinetterie, etc.

Per impianti a funzionamento continuo si intendono: impianti di riscaldamento, impianti di aerazione, impianti di condizionamento.

L'ambiente in progetto Auditorium rientra nella categoria " *edifici adibiti ad attività ricreative o di culto o assimilabili* " (Categoria F) secondo la classificazione della *Tabella A* in allegato al D.P.C.M.

I valori consentiti per i parametri principali che definiscono i requisiti acustici degli ambienti considerati sono riportati nella Tabella 1 seguente che è un estratto della *Tabella B* in allegato al decreto.

Tabella 4 Estratto della TABELLA B - REQUISITI ACUSTICI PASSIVI DEGLI EDIFICI, DEI LORO COMPONENTI E DEGLI IMPIANTI TECNOLOGICI

Categorie di cui alla Tab. A	Parametri	
	L _{ASmax}	L _{Aeq}
	[dB(A)]	[dB(A)]
F	35	35

Si osserva 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.

3.1.2 Building Bulletin 93 (BB93) *Í minimum performance standards for the acoustics of school buildings*

Ad integrazione di prescrizioni per gli ambienti, si riportano i criteri raccomandati per il rumore interno negli ambienti scolastici

Tipo di ambiente	Livello massimo di rumore ambientale L _{Aeq,30minuti} dB(A)
Lecture rooms (greater than 50 people)	30
General purpose room, assembly halls, multi-purpose halls (drama, audio/visual presentation, occasional music, etc.)	35

3.1.3 LEED reference guide for building design and construction *Ë acoustics performance*

Per i sistemi di riscaldamento, ventilazione e climatizzazione (HVAC) si deve ottenere, nelle aule e in altri spazi di apprendimento di base (core learning), un livello massimo di rumore di fondo di 35 dB(A). È necessario seguire le metodologie e le migliori pratiche raccomandate

per il controllo del rumore degli impianti secondo gli standard ANSI S12.60-2010, parte 1, allegato A.1; secondo i metodi contenuti nel manuale ASHRAE HVAC applications 2011, Capitolo 48 e secondo la norma "Controllo del rumore e delle vibrazioni" AHRI Standard 885-2008; oppure, come è specificato, "in equivalente locale per progetti al di fuori degli Stati Uniti". Una sintesi dei requisiti minimi da rispettare secondo i metodi e le norme citate è riportata di seguito.

Tipo di ambiente	Livello massimo di rumore ambientale LAeq dB(A)
ancillary (ANSI 12.60)	40
school - large lecture room with speech amplification (tab 1 ashrae)	35
school - large lecture room without speech amplification (tab 1 ashrae)	30
performance art spaces - drama theatres, concert and recital halls (tab 1 ashrae)	25
Sala regia (studio professionale)	25

3.1.4 NRC-CNRC Construction Technology Update No. 51, Acoustical Design of Rooms for Speech (2002)

Si riporta, in relazione ai livelli massimi di rumore in ambiente interno e al corrispondente valore del tempo di riverberazione RT per ottenere un buon livello di intelligibilità la tabella seguente.

Maximum ambient noise levels and optimum reverberation times (RT) for good speech intelligibility

Situations	Maximum noise		RT
	LAeq [dB(A)]	NC	[s]
Large lecture hall theatre	30	23	0.7

4 ISOLAMENTO ACUSTICO DEGLI AMBIENTI

L'obiettivo dell'isolamento acustico consiste nella riduzione della trasmissione del suono tra ambienti interni e tra ambiente interno ed esterno. La trasmissione può avvenire essenzialmente in due modi:

1. **PER VIA AEREA:** per gli ambienti in progetto ci si riferisce al reciproco disturbo tra ambienti interni, tra il locale tecnico e la sala regia oppure tra auditorium e sala di registrazione, e tra gli ambienti interni e l'esterno (rumore prodotto dalla strada verso gli ambienti interni oppure rumore prodotto all'interno delle sale

verso l'esterno). Il tema è sviluppato nel capitolo 7 **DEFINIZIONE DELLE STRUTTURE FONOIOLANTI**:

2. **PER VIA SOLIDA ATTRAVERSO LE STRUTTURE:** in questo caso ci si riferisce al disturbo generato dal funzionamento degli impianti di condizionamento, delle unità sulla copertura CTA TA-05, pompa di calore GF01 e recuperatore di calore UR 02 (Figura 3) oppure dagli impianti del locale tecnico adiacente alla regia (Figura 4). Il tema è sviluppato nel capitolo 12 **RUMORE INTERNO: GLI IMPIANTI TECNOLOGICI**:

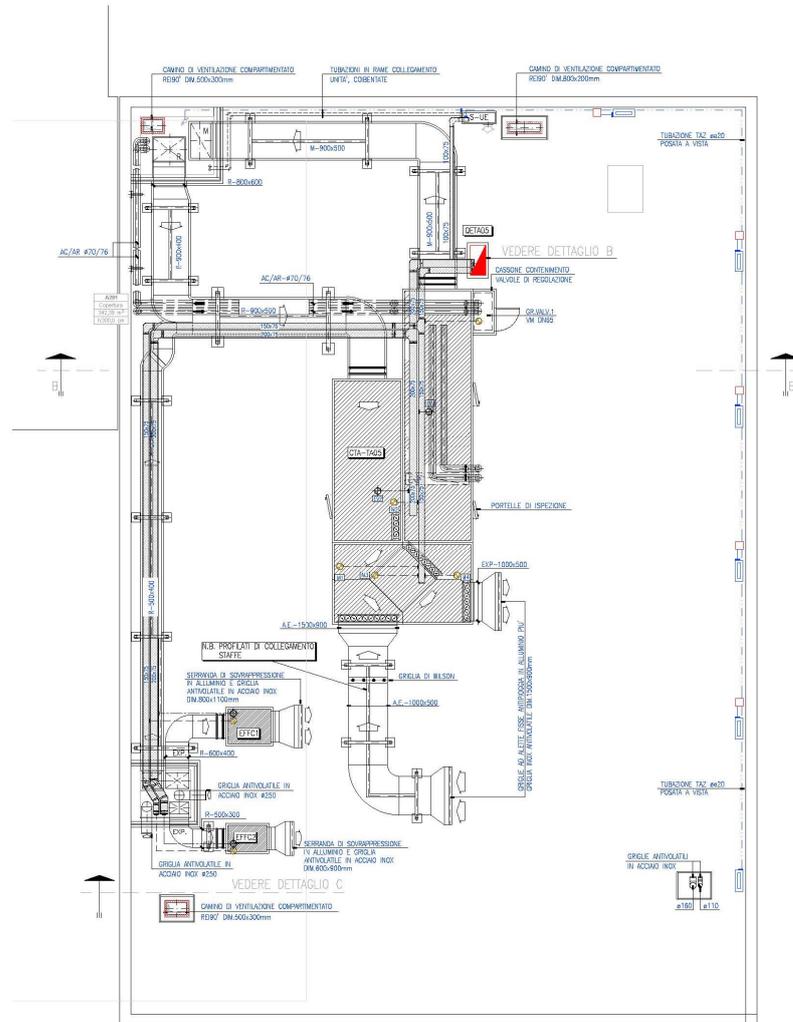


Figura 3 - Planimetria della copertura: impianti per la ventilazione presenti

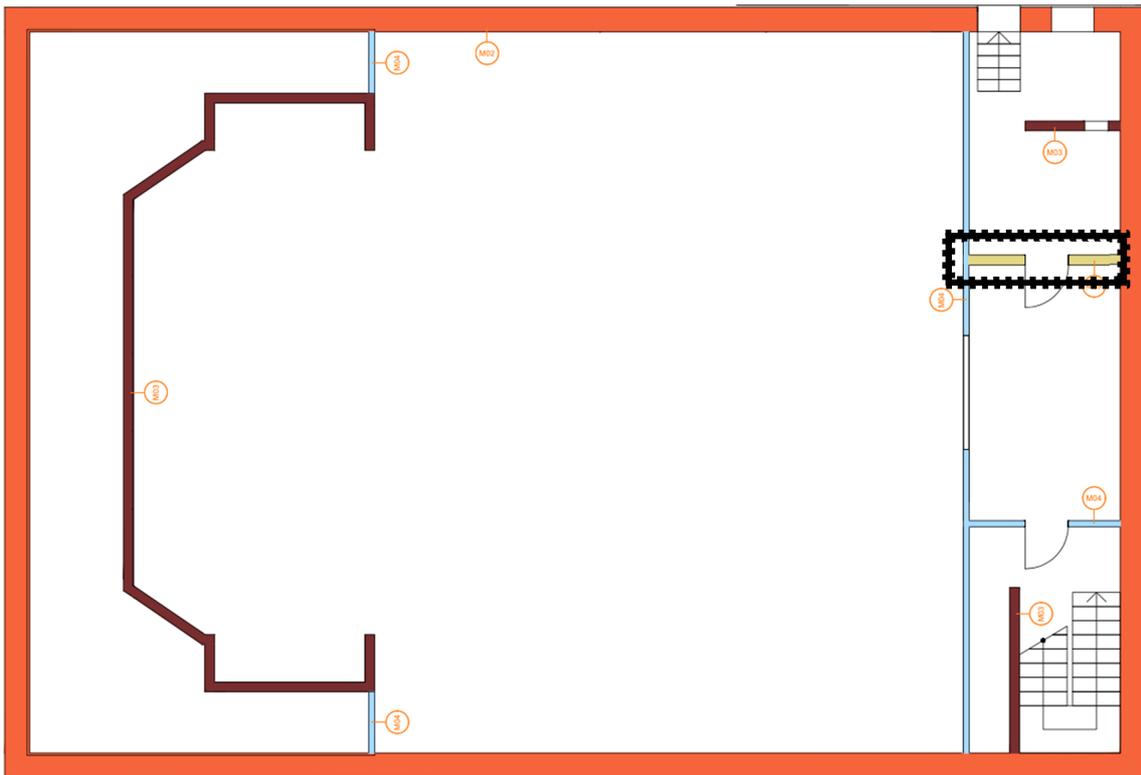


Figura 4 È Adiacenza critica tra sala Regia e locale tecnico

Per garantire tali livelli di isolamento, le soluzioni tipiche si orientano verso il concetto della "stanza nella stanza", ovvero si realizzano strutture indipendenti separate tra loro mediante pannelli isolanti o aria. Inoltre, per garantire anche il necessario isolamento a bassa frequenza, si deve prevedere l'utilizzo di materiali "pesanti".

La definizione delle stratificazioni fonoisolanti è riportata nel capitolo 7. Esse costituiscono di fatto il "guscio" degli ambienti sui quali definire successivamente le strutture collaboranti per i trattamenti acustici: questi elementi sono stati definiti sulla base dei principi fisici che descrivono la trasmissione del suono tra strati di materiali, siano essi partizioni singole o multiple.

I principi, in sintesi, sono i seguenti:

1. **riduzione della trasmissione dell'energia sonora correlata alla legge della massa ed allo smorzamento interno dei materiali:** si perviene ad una consistente attenuazione del suono per via aerea mediante la riduzione della trasmissione delle vibrazioni che si trasmettono tra le strutture rigide "leggere" (basate su gesso - cartongesso) o tra le strutture "pesanti" (basate su blocchi cementizi) mediante l'interposizione di strati smorzanti (materiali porosi, foam) o addirittura separando fisicamente le partizioni stesse.
2. **inserimento di strutture flottanti:** la riduzione della trasmissione delle vibrazioni per via solida è correlata al disturbo proveniente dall'esterno (dagli

impianti sulla copertura o dal transito del traffico veicolare) oppure dall'interno (prodotte dal calpestio delle persone o dagli impianti nel locale tecnico) e si realizza con un sistema smorzante massa-molla-massa separando le strutture rigide che trasmettono facilmente mediante l'utilizzo di materassini antivibranti (elastomeri).

5 PARAMETRI CONSIDERATI PER IL PROGETTO

Si definiscono i requisiti minimi di progetto in relazione ai seguenti punti

1. L'isolamento acustico
2. Il tempo di riverberazione (qualità acustica della sala)
3. Il rumore negli ambienti

5.1 ISOLAMENTO ACUSTICO

L'isolamento acustico minimo che consente di ottenere una adeguata attenuazione del rumore trasmesso per via solida e per via aerea tra gli ambienti deve avere i valori riportati in Tabella 5. Gli indici riportati, in funzione della specifica destinazione d'uso si possono considerare come requisiti interni minimi per gli spazi in oggetto.

Si osserva che, la tabella non definisce il tipo di curva di isolamento con l'andamento a tutte le frequenze ma ne determina solamente un indice: a questo proposito, è importante precisare che gli strumenti musicali hanno generalmente emissioni sonore intense anche in un campo di frequenze basse (ad esempio la batteria produce anche livelli maggiori di 80 dB a 63 Hz - 100 Hz) perciò, dato il tipo di utilizzo che si intende fare degli spazi, il potere fonoisolante dovrà garantire elevate prestazioni anche a bassa frequenza (campo di frequenze di 20 Hz - 200 Hz).

Tabella 5: Valori del potere fonoisolante minimo R_w [dB]

Criterio per una adeguata privacy tra i locali adiacenti			
Locale	Indice potere fono isolante minimo [dB]		
	Sala Regia	Locale tecnico	Auditorium
Sala Regia	-	56,0	53,0
Locale tecnico	56,0	-	53,0
Auditorium	53,0	53,0	-

Come si evince dalla tabella soprastante, il potere fonoisolante minimo che dovrà essere garantito è almeno pari a 53,0 dB.

5.2 IL TEMPO DI RIVERBERAZIONE

In merito ai valori obiettivo del tempo di riverberazione, nel caso specifico l'auditorium della scuola sarà destinata, come detto, prevalentemente al parlato e alla musica eseguita da piccoli

e medi ensemble musicali: risulta, quindi, che **il valore ottimale del tempo di riverberazione T dovrebbe essere compreso tra 0,7 s e 1,2 s.**

Si può affermare che, dato il volume della sala e il campo dei valori accettabili, la sala può essere destinata anche alla riproduzione di contenuti multimediali od alla esecuzione di brani di musica leggera (pop-rock).

La sala regia, per quanto non orientata alla produzione commerciale, è destinata al controllo dell'attività connessa alla performance teatrale/musicale: vi è inoltre la possibilità di inserire diffusori elettroacustici (monitor di studio). **Si assume che il tempo di riverberazione compatibile con gli utilizzi previsti della sala regia sia $T < 0.5$ s**

L'argomento in oggetto sarà affrontato nello specifico nel capitolo 8 in merito al metodo ed alle soluzioni tecniche adottate per raggiungere lo scopo prefissato.

5.3 IL RUMORE NEGLI AMBIENTI

Il rumore complessivo prodotto dagli impianti di ventilazione, dalle apparecchiature presenti nelle sale e dal rumore proveniente dall'esterno, considerato quanto indicato dai disposti normativi in generale e nello specifico dalle norme e dai metodi esistenti, deve avere valori compatibili con le funzioni degli ambienti in oggetto.

Livello massimo di rumore in ambiente

sala auditorium **$L_{Aeq,max} = 30$ dB(A)**

sala regia **$L_{Aeq,max} = 25$ dB(A)**

L'argomento in oggetto sarà affrontato nello specifico nel capitolo 8 in merito al metodo ed alle soluzioni tecniche adottate per raggiungere lo scopo prefissato.

5.4 IL SISTEMA DI AMPLIFICAZIONE E DIFFUSIONE SONORA

Per le grandi sale conferenza e auditorium con un numero di posti superiore a 50, si deve valutare la necessità di un sistema elettroacustico di rinforzo del suono.

Se il sistema è necessario, esso deve rispettare i seguenti criteri:

- Intelligibilità del parlato: si deve avere un valore di STI (speech Transmission Index) di 0,60 ovvero un indice CSI (Common Intelligibility Scale) minimo di 0,77 in punti rappresentativi compresi entro l'area di copertura del sistema.
- Un livello di pressione sonora minimo di 70 dB(A)
- Il livello di pressione sonora deve avere una variazione massima di 3 dB alla frequenza d'ottava di 2.000 Hz entro l'area di copertura

6 IL METODO DI ANALISI DEGLI SPAZI

6.1 LE NORME TECNICHE

I calcoli sono stati effettuati con modelli di previsione basati sulle indicazioni delle norme seguenti:

- **UNI EN 12354-5:2009** - *Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti - Parte 5: Livelli sonori dovuti agli impianti tecnici*. La norma descrive i modelli di calcolo per stimare i livelli di pressione sonora negli edifici dovuta agli impianti tecnici e si applica agli impianti sanitari, di ventilazione meccanica, impianti di riscaldamento e raffreddamento, ascensori, etc. installati negli edifici.
- **UNI EN 12354-6:2006** - *Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti - Parte 6: Assorbimento acustico in ambienti chiusi*. La norma descrive un modello di calcolo per valutare l'area totale di assorbimento equivalente o il tempo di riverberazione di un ambiente chiuso di un edificio.

6.2 ANALISI DELLA QUALITÀ ACUSTICA

Lo studio acustico di una sala può essere compiuto esclusivamente per via numerica, effettuando delle simulazioni a computer utilizzando il metodo del *ray-tracing*. Questo metodo è implementato nel programma di simulazione e si traduce in pratica con la realizzazione di un disegno tridimensionale al CAD (Disegno assistito dal calcolatore) che definisce il modello numerico di previsione che è la versione numerica di un modello in scala della sala. Il programma al calcolatore utilizza il modello matematico tridimensionale per effettuare le diverse simulazioni al fine di ottimizzare le scelte progettuali.

Si passa quindi alla caratterizzazione acustica di ogni superficie in base alla risposta acustica del materiale, che costituisce la struttura fonoassorbente che verrà applicata. Tale fase si esplicita tramite l'attribuzione delle proprietà di assorbimento acustico e diffusione del suono proprie del materiale impiegato. Inoltre, si introducono nel modello le sorgenti acustiche volute, con specifiche caratteristiche di emissione, mentre nelle zone interessate alla ricezione del suono si posiziona un numero adeguato di superfici oppure ricettori per la simulazione delle aree occupate dagli spettatori (*audience plane/receiver*). Il campo sonoro simulato viene costruito accumulando i singoli raggi sonori emessi dalle sorgenti e fornisce la risposta all'impulso puntuale.

Scelti opportunamente una serie di parametri che determinano il tipo di calcolo che si vuole eseguire, il programma determina i risultati, in forma numerica, tabellare o grafica.

Gli interventi che saranno descritti, al fine di ottenere le prestazioni acustiche desiderate, sono volti all'ottimizzazione dello spazio in relazione alla destinazione d'uso secondo le grandezze acustiche precedentemente descritte. L'inserimento dei materiali relativi alle superfici indicate (pareti, soffitti, poltrone etc). permette di modificare significativamente i valori e riportarli ad i valori ed alle fasce indicate.

7 DEFINIZIONE DELLE STRUTTURE FONOSOLANTI

Il capitolo riporta le strutture che consentono di ottenere i requisiti acustici minimi in merito all'isolamento delle partizioni interne, verticali e orizzontali.

Si affrontano nel seguito i seguenti temi

1. Trasmissione diretta del suono

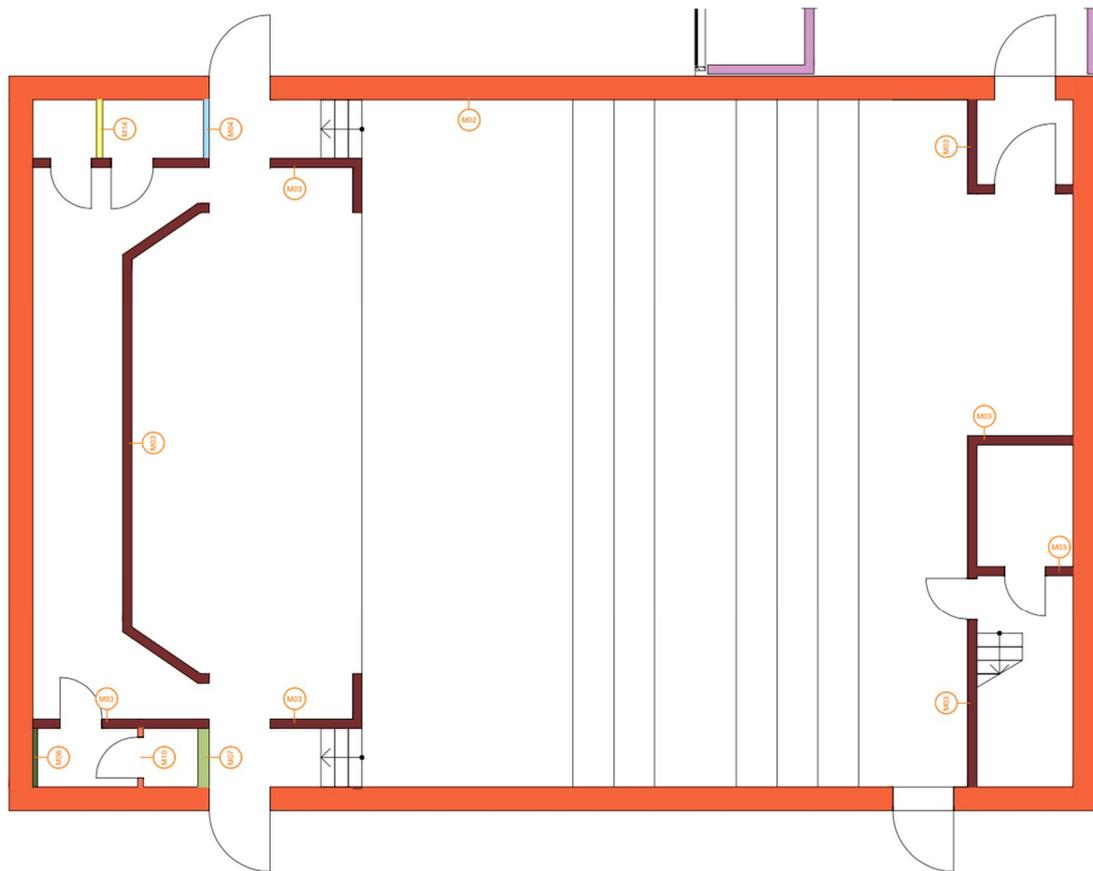
2. Trasmissioni laterali (*flanking*)
3. Finestre, porte
4. Prescrizioni integrative per il mantenimento dell'isolamento acustico

7.1 TRASMISSIONE DIRETTA

Con riferimento alla planimetria riportata in Figura 5 si indicano le stratigrafie dettagliate delle singole partizioni e di seguito si indica la tipologia di trasmissione possibile nelle diverse partizioni.

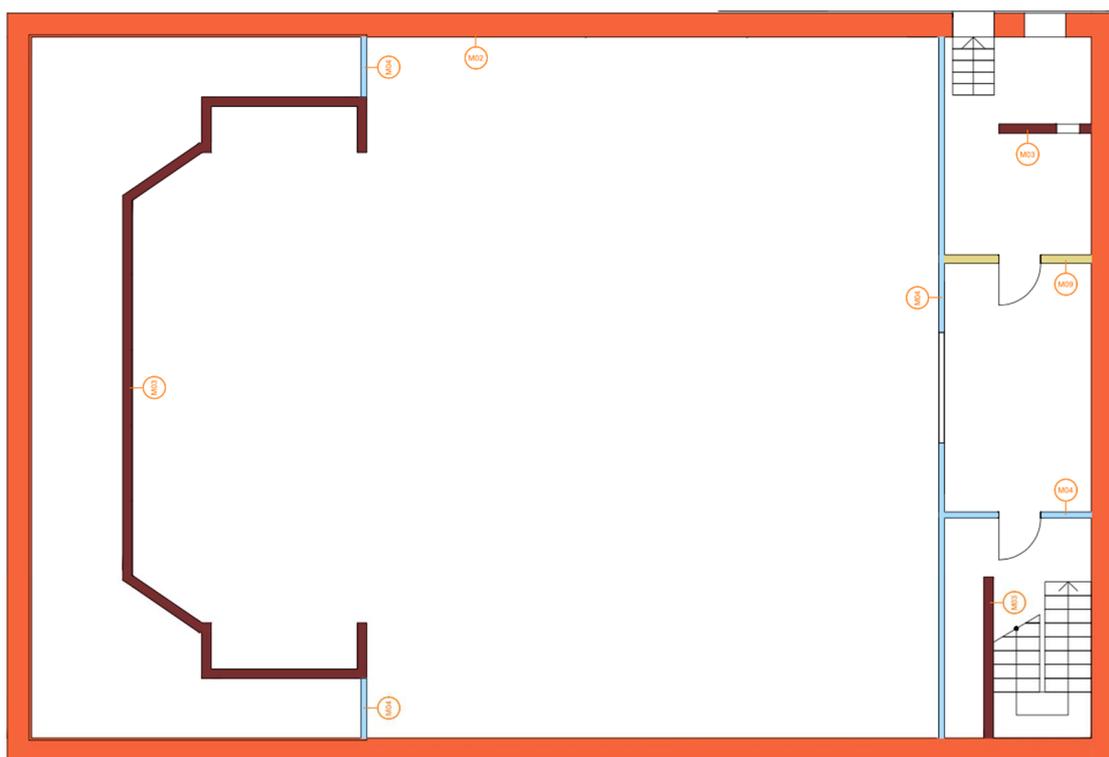
ABACO SPESSORI MURATURE NUOVA COSTRUZIONE

M02	520 mm	parete strutturale termobilatra	M07	250 mm	parete per cavedi tecnici con idrolastre su 1 lato
M03	200 mm	parete strutturale interna bilastra	M10	125 mm	parete in cartongesso con idrolastre su 1 lato
M04	125 mm	parete divisoria in cartongesso	M14	140 mm	parete EI 120
M06	100 mm	controparete per passaggio impianti con idrolastre su 1 lato			



PIANTA PIANO TERRA

Figura 5a È Planimetria dell'Auditorium con specifiche delle stratigrafie delle diverse pareti (PT)

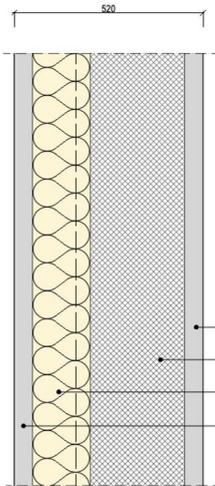


PIANTA PIANO PRIMO

Figura 5b È Planimetria dell'Auditorium con specifiche delle stratigrafie delle diverse pareti (1P)

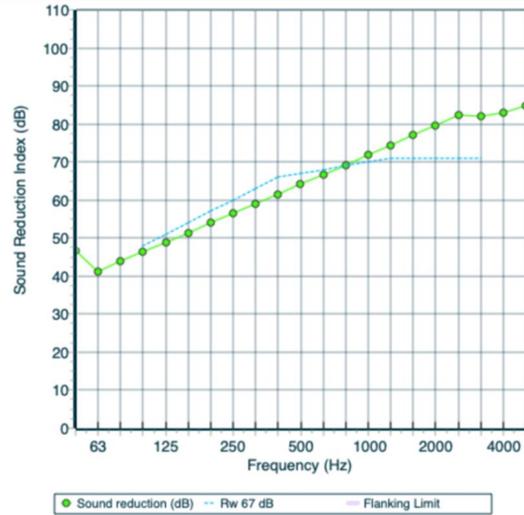
Di seguito, si riportano le Figure delle 3 stratigrafie di dettaglio (M02, M03, M04 e M09) nelle quali vengono analizzate le soluzioni tecniche da applicare per ridurre la trasmissione diretta (trasmissione D).

M02 Parete strutturale prefabbricata termobilastra, sp. 52 cm



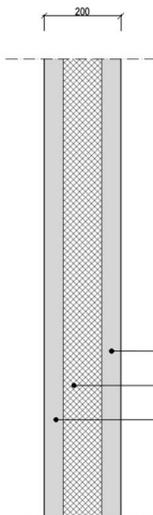
Rw = 67 dB

- 1 Lastra prefabbricata interna in c.a., finitura faccia a vista, densità 2400 kg/mc, sp. 50 mm
- 2 CLS gettato in opera, densità 2400 kg/mc, sp. 260 mm
- 3 EPS densità 20 kg/mc, sp. 160 mm
- 4 Lastra prefabbricata di protezione esterna in c.a., finitura faccia a vista, densità 2400 kg/mc, sp. 50 mm
- 5 Travetto in c/s
- 6 Gancio Ø8 in acciaio inox 316
- 7 Traliccio



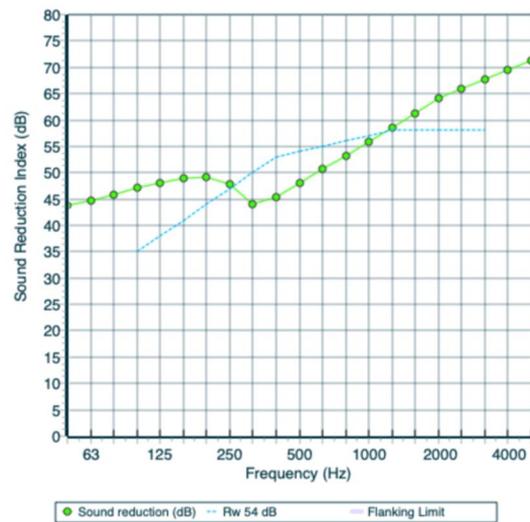
Rw=67 (-1,-6)

M03 Muratura strutturale bilastra , sp. 20cm



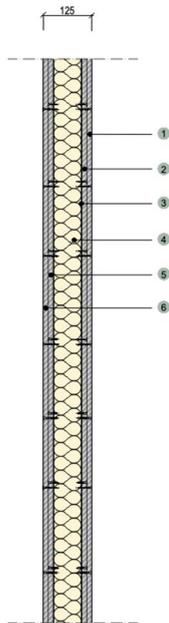
Rw = 54 dB

- 1 Lastra prefabbricata in c.a., finitura faccia a vista, densità 2300 kg/mc, sp. 50 mm
- 2 CLS gettato in opera densità 2400 kg/mc, sp. 100 mm
- 3 Lastra prefabbricata in c.a., finitura faccia a vista densità 2400 kg/mc, sp. 50 mm
- 4 rasante di malta cementizia isotropica di classe R2, fibrorinforzata a presa rapida da applicare in uno spessore di 5 mm, in una sola mano dove la testa del pannello rimane a vista



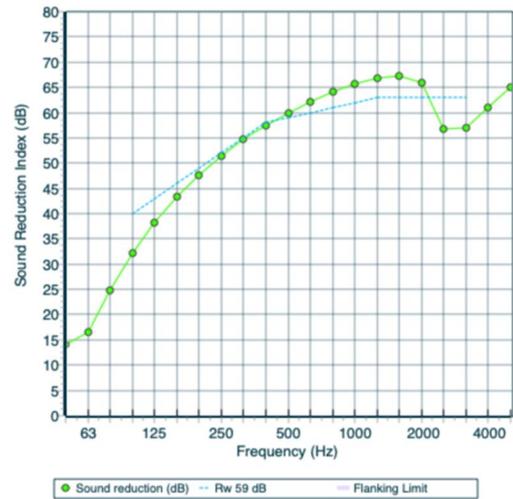
Rw=54 (-1,-3)

M04 Parete divisoria in cartongesso, sp. 12,5 cm



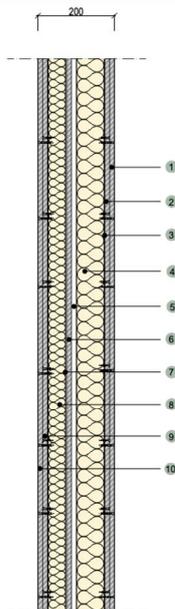
Rw = 59 dB

- 1 LAISTRA ESTERNA
lastra di cartongesso con incrementata densità del nucleo, il cui gesso è additivato con fibre di vetro e fibre di legno, densità 1000 kg/mc, sp. 12,5 mm
Tinteggiata con idropittura chiara RAL 9016
- 2 LAISTRA INTERNA
lastra di cartongesso con incrementata densità del nucleo, il cui gesso è additivato con fibre di vetro e fibre di legno, densità 1000 kg/mc, sp. 12,5 mm
- 3 STRUTTURA METALLICA
in acciaio zincato dimensioni 50 X 75 X 50 mm
interasse max 600 mm
- 4 PANNELLO IN LANA DI VETRO
isolante lana di vetro, sp. 70 mm, densità indicativa 11,5 kg/m³ classe di reazione al fuoco A1 rivestito su una faccia con velo di vetro
- 5 LAISTRA INTERNA
lastra di cartongesso con incrementata densità del nucleo, il cui gesso è additivato con fibre di vetro e fibre di legno, densità 1000 kg/mc, sp. 12,5 mm
- 6 LAISTRA ESTERNA
lastra di cartongesso con incrementata densità del nucleo, il cui gesso è additivato con fibre di vetro e fibre di legno, densità 1000 kg/mc, sp. 12,5 mm
Tinteggiata con idropittura chiara RAL 9016



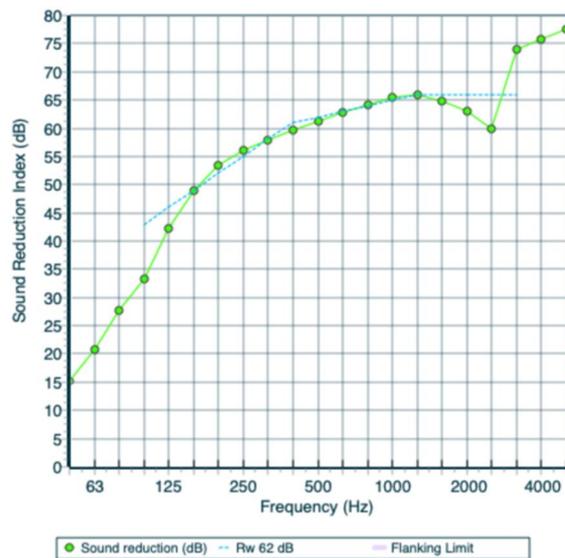
Rw=59 (-3,-9)

M09 Parete separatoria in cartongesso, sp. 20 cm



Rw = 62 dB

- 1 LAISTRA ESTERNA
lastra di cartongesso con una densità del nucleo incrementata, il cui gesso è additivato con un'elevata quantità di fibre di vetro (densità > 800 kg/m³), sp. 12,5 mm
Tinteggiata con idropittura chiara RAL 9016
- 2 LAISTRA INTERNA
lastra di cartongesso costituita da un nucleo in gesso emidratato reidratato, rivestito su entrambe le facce da materiale celluloso con funzione di armatura esterna, densità 750 kg/mc., sp. 12,5 mm
- 3 STRUTTURA METALLICA
in acciaio zincato dimensioni 50 X 75 X 50 mm
interasse max 600 mm
- 4 PANNELLO IN LANA DI VETRO
isolante lana di vetro, sp. 70 mm densità indicativa 11,5 kg/m³ classe di reazione al fuoco A1 rivestito su una faccia con velo di vetro
- 5 intercapedine, sp. 10 mm
- 6 LAISTRA INTERNA
lastra di cartongesso con incrementata densità del nucleo, il cui gesso è additivato con fibre di vetro e fibre di legno, densità 1000 kg/mc., sp. 12,5 mm
- 7 STRUTTURA METALLICA
in acciaio zincato dimensioni 50 X 50 X 50 mm, interasse max 600 mm
- 8 PANNELLO IN LANA DI VETRO
isolante lana di vetro, sp. 45 mm densità indicativa 13 kg/m³ classe di reazione al fuoco A1 rivestito su una faccia con velo di vetro
- 9 LAISTRA INTERNA
lastra di cartongesso costituita da un nucleo in gesso emidratato reidratato, rivestito su entrambe le facce da materiale celluloso con funzione di armatura esterna, densità 750 kg/mc., sp. 12,5 mm
- 10 LAISTRA ESTERNA
lastra di cartongesso con incrementata densità del nucleo, il cui gesso è additivato con fibre di vetro e fibre di legno, densità 1000 kg/mc, sp. 12,5 mm
Tinteggiata con idropittura chiara RAL 9016



Rw=62 (-3, -10)

7.2 TRASMISSIONI LATERALI (FLANKING)

La trasmissione delle vibrazioni tra gli elementi orizzontali (solaio) e verticali (pareti) può avvenire principalmente attraverso il passaggio nei giunti stessi di connessione. I ponti acustici (flanking) possono degradare in modo significativo la prestazione di isolamento delle partizioni accuratamente progettate tra i locali e le sale di ascolto. Infatti l'analisi delle partizioni si completa determinando le giunzioni (nodi) di connessione tra la parete e il pavimento e tra la parete e il controsoffitto; uno schema esemplificativo è riportato in Figura 6.

La corretta realizzazione di tali giunti di connessione permette di non vanificare l'elevata prestazione di isolamento garantita dai manufatti. In tale modo è possibile valutare in dettaglio i passaggi del rumore sulle strutture rigide e determinare così le soluzioni per garantire la separazione tra gli elementi che garantisca un adeguato isolamento

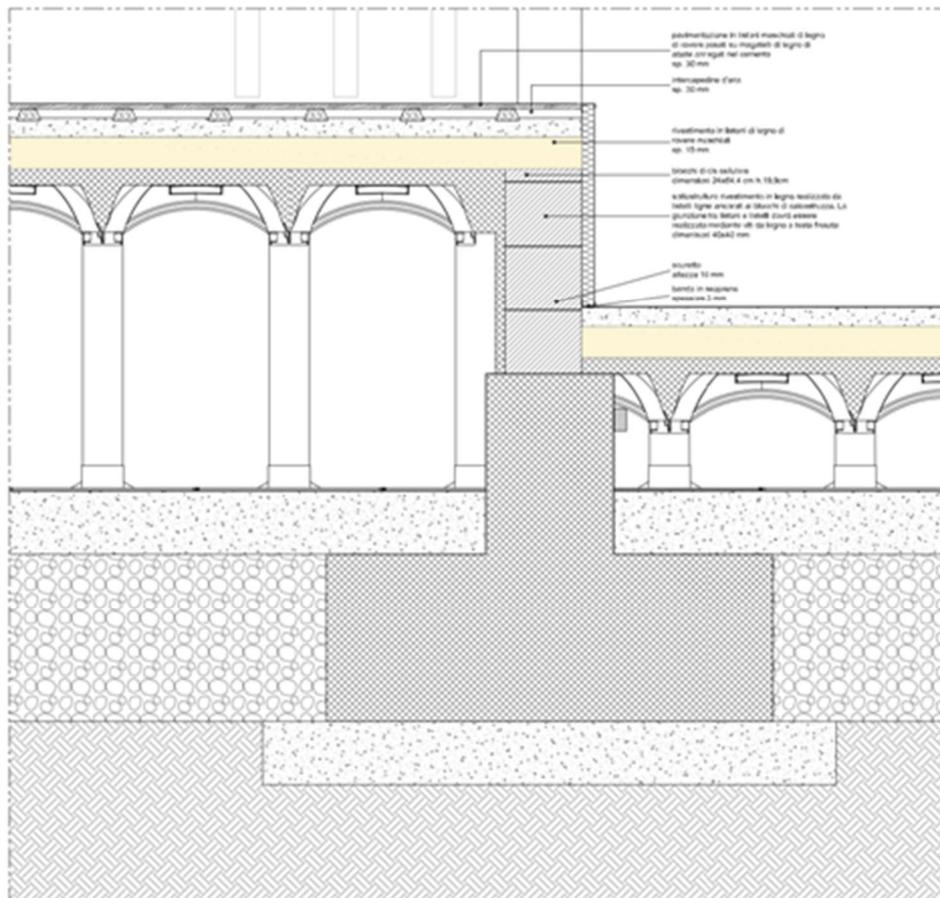
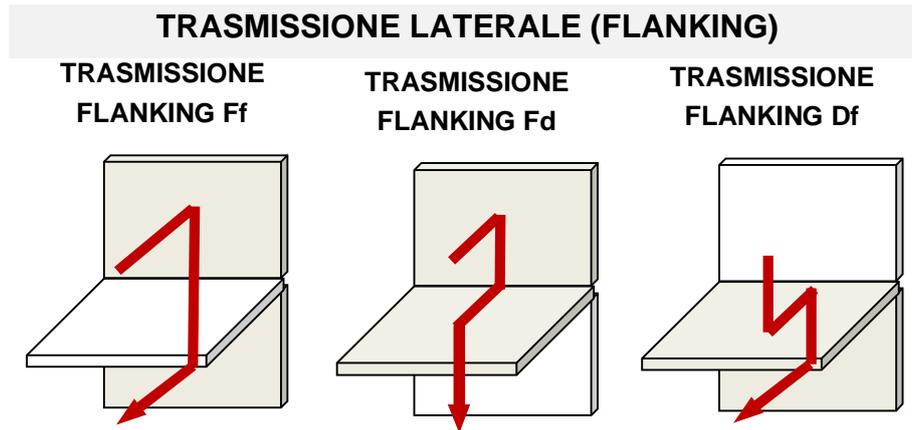


Figura 6 È Dettaglio del giunto di separazione tra pavimento strutturale e parete esterna

Le figure di seguito evidenziano tutte le possibili vie di trasmissione del suono negli accoppiamenti tra strutture, siano esse verticali o orizzontali.



Come detto, l'isolamento per via solida tra le sorgenti esterne (impianti in copertura) è ridotto mediante l'interposizione dello strato antivibrante tra il basamento della macchina e il solaio di copertura.

Il rumore che, invece, si propaga per via aerea attraverso i giunti di connessione tra le pareti verticali e gli elementi orizzontali (pavimenti, controsoffitti) deve essere attenuato desolidarizzando gli elementi rigidi.

Il guscio interno degli ambienti deve, quindi, essere pensato come scatola appoggiata al pavimento solo su strisce di materiale poliuretano a celle miste con elevate prestazioni antivibranti e rigidità dinamica pari a 13 MN/m^3 ; per questo motivo occorre prendere tutte le precauzioni affinché le pareti della scatola non tocchino la parte strutturale esistente. Infine, è necessario inserire delle strisce di neoprene tra i profilati a $\text{C}+$ che costituiscono l'orditura della camera interna delle lastre di gesso al fine di desolidarizzare ed eliminare il percorso delle trasmissioni laterali attraverso le diverse strutture.

7.3 FINESTRE INTERNE

La finestra collocata sulle pareti tra la sala regia e l'auditorium deve garantire la visibilità tra gli ambienti durante l'attività di ascolto o registrazione: tuttavia l'apertura costituisce un indebolimento del potere fonoisolante e la dimensione deve essere quindi contenuta rispetto alla parete.

Per non degradare troppo le prestazioni acustiche della parete si definisce una struttura a doppio vetro, costituita da entrambi vetri stratificati (8+8 e 8+6), come quella indicata in seguito. I vetri sono separati dalla struttura in cartongesso con strisce di neoprene e le lastre hanno spessore differente per avere frequenze di coincidenza differenti, così da non creare riduzioni consistenti del potere fonoisolante in alta frequenza.

Le due lastre stratificate 6+8 e 8+8 con interposto PVB acustico saranno inclinate al fine di non determinare fastidiose riflessioni che potrebbero andare ad inficiare la prestazione dei musicisti.

I due vetri stratificati sono collocati, tra di loro, ad una distanza di 15 cm e in aderenza all'ombote del serramento dovrà essere inserito un pannello in fibra di vetro dello spessore di 50mm e densità pari a 50 kg/mc rivestito di velo vetro nero. Tale stratigrafia garantisce in opera un potere fonoisolante R_w pari a 55 dB. Il sistema così definito costituisce una separazione fisica tra camere adiacenti anche in corrispondenza delle vetrazioni.

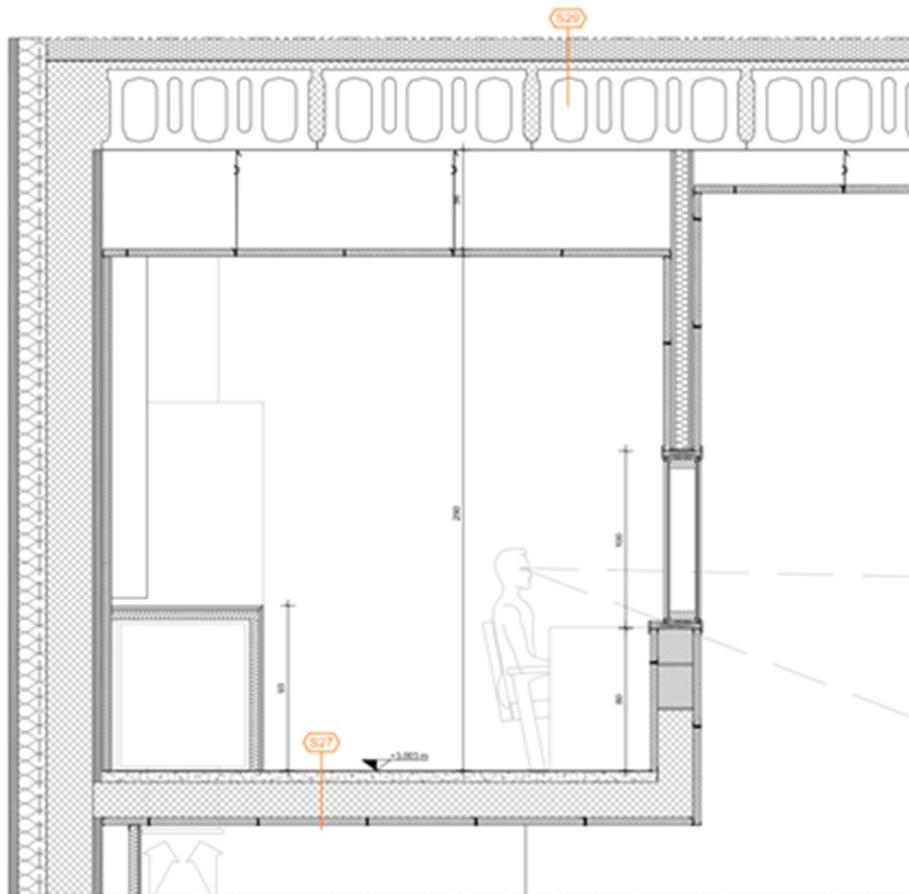


Figura 7 - Dettaglio serramento ad elevato potere fonoisolante tra sala regia e auditorium

7.4 PRESCRIZIONI INTEGRATIVE PER IL MANTENIMENTO DELL'ISOLAMENTO

I canali elettrici, i condotti dell'aria o i tubi idraulici che penetrano nelle partizioni fonoisolanti, potrebbero determinare trasmissione del suono significativa proprio attraverso tali aperture. Anche "piccole" aperture possono determinare una differenza significativa e ridurre l'isolamento in maniera importante. Per mantenere l'isolamento

acustico molto elevato, possono tuttavia essere realizzati alcuni accorgimenti atti ad evitare errori comuni che si possono verificare in corrispondenza di tagli oppure passaggi dovuti agli impianti tecnologici.

Nella Figura 8 successiva si indicano le strategie da adottare in presenza delle scatole di distribuzione (indicate in rosso) e dei frutti dell'impianto elettrico. La Figura 9 riporta, invece, i dettagli costruttivi per ridurre le perdite di isolamento acustico dovute al passaggio dei canali dell'impianto di aria attraverso le partizioni.

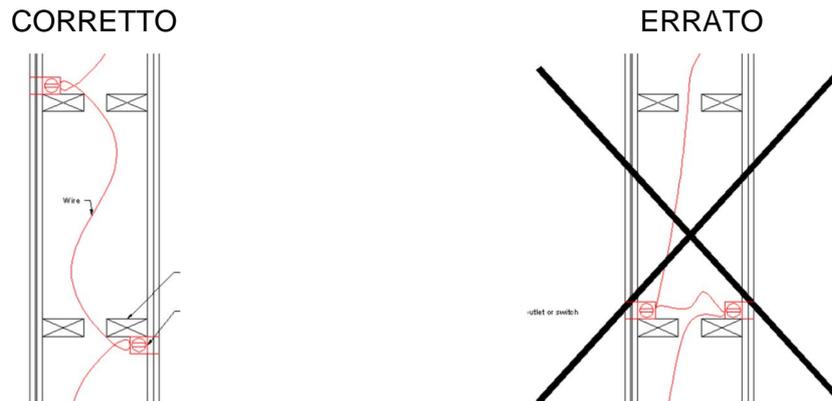


Figura 8 - Impianto elettrico - Collocazione ottimale delle scatole di distribuzione e dei frutti (indicate in rosso)

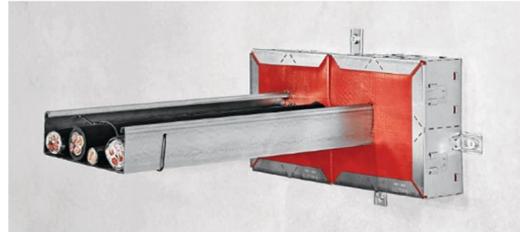
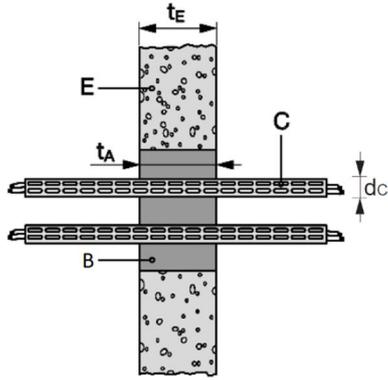
DETTAGLI COSTRUTTIVI PER RIDURRE LE PERDITE DI ISOLAMENTO ACUSTICO DOVUTE AL PASSAGGIO DEI CANALI ATTRAVERSO LE PARTIZIONI

In relazione ai canali, alle tubazioni che attraversano le partizioni si raccomanda che siano attuate le indicazioni riportate nella Figura 9 seguente (esempi di ripristino del potere fonoisolante negli attraversamenti mediante sigillante acrilico, sia a parete, sia per i solai)

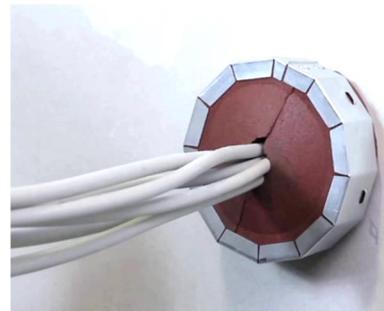
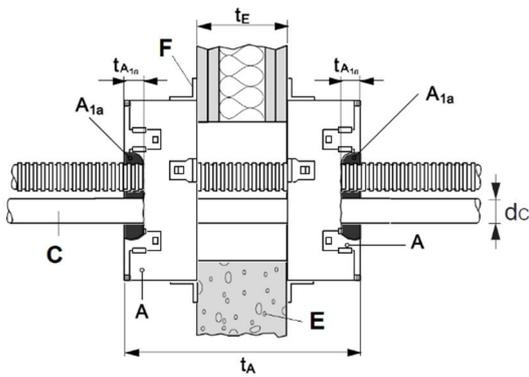
Il potere fonoisolante minimo della sola compartimentazione ha un valore minimo pari a $R_w = 35$ dB, in grado di garantire il potere fonoisolante complessivo della partizione (murature e /o solai).

Per i dettagli ci si riferisce alle specifiche impiantistiche (tavole %BAN_00_PE_IM_Z_0201_PNT_IAE+; %BAN_01_PE_IM_Z_0203_PNT_IAE+ e %BARTICOLARI ACUSTICI+).

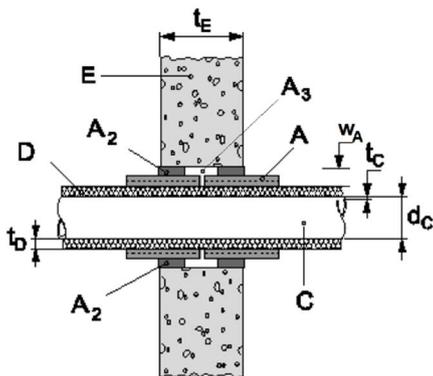
Parete: canalina portacavi



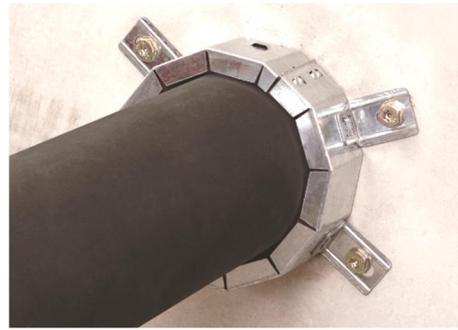
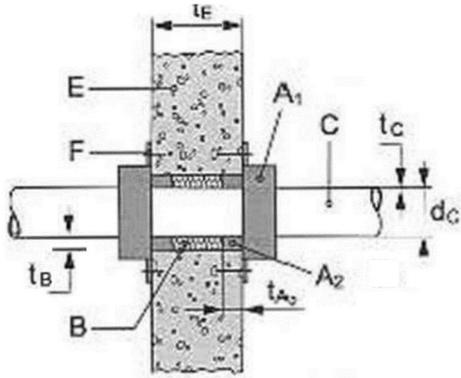
Parete: cavi, tubi elettrici



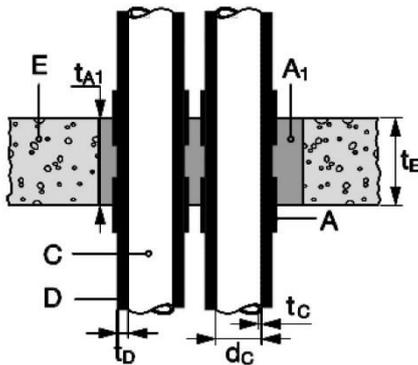
Parete: tubi meccanici in acciaio con elastomero



Parete: tubi meccanici in plastica



Solaio: tubi meccanici in acciaio con elastomero



Solaio: tubi meccanici in plastica

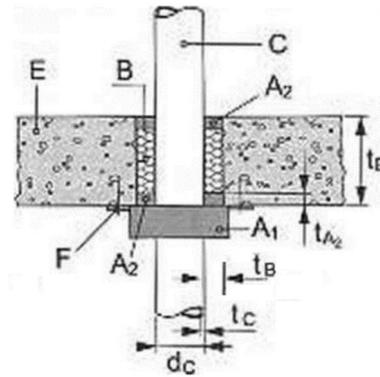


Figura 9 - Attraversamento di canalizzazioni nelle pareti - particolari costruttivi per il mantenimento dell'isolamento acustico

7.5 DIMENSIONAMENTO E POSIZIONAMENTO ANTIVIBRANTI

La riduzione della propagazione delle vibrazioni dalle sorgenti descritte è requisito necessario per l'utilizzo degli ambienti senza percepire rumore trasmesso per via strutturale.

L'interposizione tra le masse di strati viscoelastici permette di definire un tipico sistema fisico massa-molla-massa di cui è consolidata la metodica di caratterizzazione del sistema partendo dalle proprietà fisico - geometriche.

8 LA VERIFICA DELLA QUALITÀ ACUSTICA DELL'AUDITORIUM

I paragrafi seguenti forniscono una rassegna delle tematiche preliminari alla base della definizione dell'acustica dello spazio in relazione a:

- I rapporti di forma
- La presenza di echi multipli
- La forma della sala
- La struttura della risposta all'impulso

8.1 INDICAZIONI SULL'ACUSTICA DELLA SALA E RAPPORTI DI FORMA

Premessa all'analisi acustica di una sala, a seconda della differente destinazione d'uso, è la valutazione dei rapporti di forma massimali fra le dimensioni longitudinale (L) e trasversale (W) della planimetria confrontati con l'altezza dell'ambiente (H).

Il rapporto fra la lunghezza e l'altezza deve risultare non superiore a 3.0, mentre il rapporto fra la larghezza e l'altezza deve essere massimo pari a 2.0: si considera un ambiente fortemente irregolare se uno di questi rapporti supera il valore di 5.

Tali rapporti, seppur generalmente utilizzati per sale di forma regolare e di dimensioni ridotte, possono indicare la regolarità acustica degli ambienti e fornire indicazioni sulla necessità di utilizzare elementi diffondenti per evitare che il suono sia molto variabile a seconda della posizione del ricettore nello spazio. In tale modo a priori si può effettuare una prima ottimizzazione per evitare che il suono abbia concentrazioni ovvero riduzioni significative se si varia la distanza tra la seduta e l'oratore.

In questa fase, partendo dalle dimensioni estratte dal progetto architettonico preliminare, si determinano i rapporti di forma riportati in Tabella 6.

Tabella 6: Rapporti dimensionali degli spazi

Coordinata	z	x	y	Rapporti effettivi
Ambiente	H	W	L	H : W : L
	[m]	[m]	[m]	
Palcoscenico	6.50	11.10	5.10	1.0 : 1.7 : 0.8
Platea	6.95	15.25	12.45	1.0 : 2.2 : 1.8

I rapporti dimensionali definiscono un ambiente acusticamente regolare: la progettazione acustica dei corretti trattamenti (fonoassorbenti o diffondenti), ci permette, quindi, di poter ottenere un auditorium caratterizzato da una buona circolazione del suono all'interno dell'ambiente e, in definitiva, da una buona omogeneità del campo sonoro.

8.2 LA FORMA DELLA SALA: RIDUZIONE DEGLI ECHI MULTIPLI

La forma geometrica degli ambienti può contribuire alla creazione di echi multipli (*Flutter echoes*) tra superfici opposte parallele. Tali superfici, se non adeguatamente trattate, possono generare la percezione di echi distinti e peggiorare i valori del tempo di riverberazione. La riduzione di questi effetti avviene attraverso la scelta ed il corretto posizionamento delle superfici fonoassorbenti e acusticamente diffondenti.

Di seguito, la Figura 10 e figura 11 riportano la planimetria e la sezione in cui sono state evidenziate gli elementi che possono produrre le riflessioni non volute.

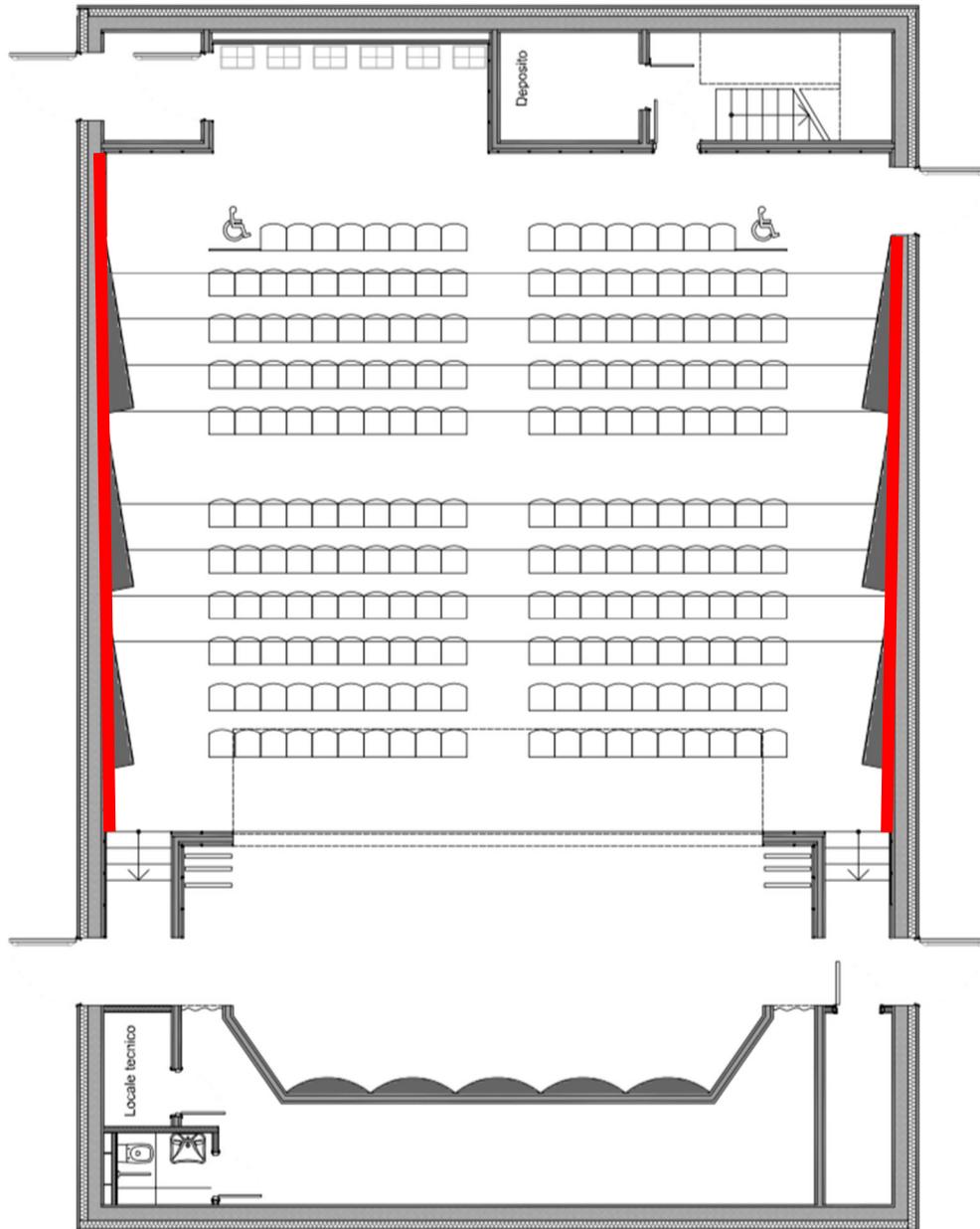


Figura 10 _ Planimetria della sala in cui sono state evidenziati gli elementi suscettibili di generare riflessioni multiple



Figura 11 È Sezioni della sala in cui sono state evidenziati gli elementi suscettibili di generare riflessioni multiple

L'analisi della planimetria, evidenzia che le componenti del campo sonoro a maggiore energia come il suono diretto e le prime riflessioni provenienti dal palcoscenico dell'oratore, sono dirette prevalentemente verso la platea, in particolare nella sua porzione centrale. Le pareti lungo la sala, viceversa, sono interessate principalmente al trasporto dell'energia delle riflessioni successive: per questo motivo, attenzione dovrà essere posta nella definizione della forma che avrà un duplice ruolo: favorire il trasporto dell'energia sonora verso il fondo della sala e contemporaneamente evitare l'effetto degli echi multipli che nascono dalla presenza di elementi riflettenti di grande dimensione, quali sono le pareti stesse.

La sezione indica la presenza di possibili elementi critici nell'area del palcoscenico e al fondo della sala: in ambo i casi la criticità è risolta dall'apposizione di elementi fonoassorbenti e/o riflettori nella parte alta dello spazio, in modo tale che la emergenza delle riflessioni a maggior energia sia ridotta, nel caso del fondo della sala, oppure sia

utilizzata per portare una maggiore frazione di energia prodotta dagli oratori / musicisti nel caso del palcoscenico.

La forma ed i materiali da attribuire a tali superfici sarà oggetto di analisi specifica.

8.3 LA FORMA DELLA SALA: SEZIONE

La geometria del rustico della sala (senza trattamenti acustici) evidenzia la continuità tra lo spazio scenico e la platea, in particolare, la altezza della platea non consente una distribuzione efficace dell'energia sonora; ne consegue che, dal punto di vista delle sorgenti collocate sul palco, risultano ampie superfici del soffitto della platea che restano inutilizzate.

L'analisi della sezione longitudinale definisce una scansione di superfici, evidenziate nella sezione longitudinale Figura 12, ottenuta dall'unione di più segmenti riflettori nell'area del palcoscenico, che non determinano focalizzazioni ma viceversa aiutano il suono a raggiungere il fondo della sala, rendendo lo ascolto omogeneo e privo di zone d'ombra. Unitamente a questo, la segmentazione della copertura in platea contribuisce alla diffusione omogenea del suono in platea.

Le proprietà acustiche dei materiali di cui saranno costituiti tali elementi di copertura, proprio perché caratterizzati da geometrie che possono generare criticità acustiche se non opportunamente definiti, devono essere valutati con attenzione e la scelta del corretto rivestimento da utilizzare deve essere progettata in maniera tale da consentire un giusto bilancio fra l'energia assorbita e quella diffusa al fine di evitare che il suono ritorni alle spalle di alcuni ascoltatori mentre non arrivi affatto ad altri collocati in una posizione differente.

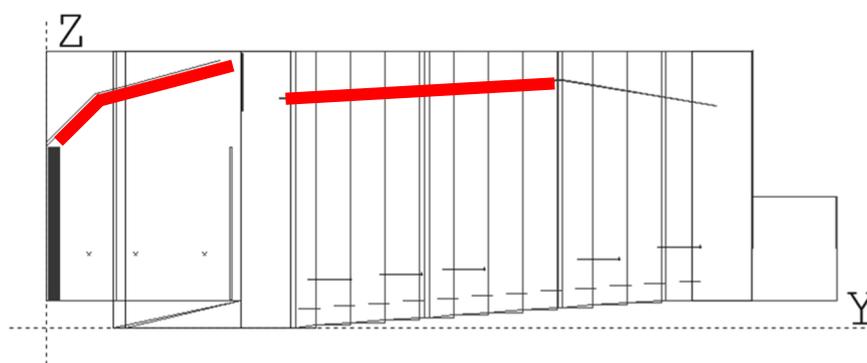


Figura 12 È sezione longitudinale della sala ed elementi riflettori

Gli elementi diffondenti definiti sono proposti per una maggiore chiarezza, nella resa tridimensionale rappresentata in Figura 13.

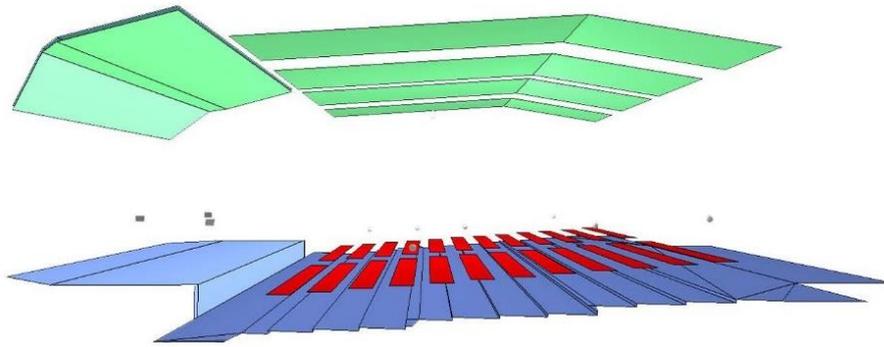


Figura 13 È sezione longitudinale della sala- render degli elementi riflettori

8.4 LA FORMA DELLA SALA: PIANTA

L'analisi della pianta dell'auditorium consente di definire gli elementi acusticamente collaboranti per incrementare la qualità complessiva, gli elementi di cui ai punti successivi si riferiscono alla Figura 14 seguente.

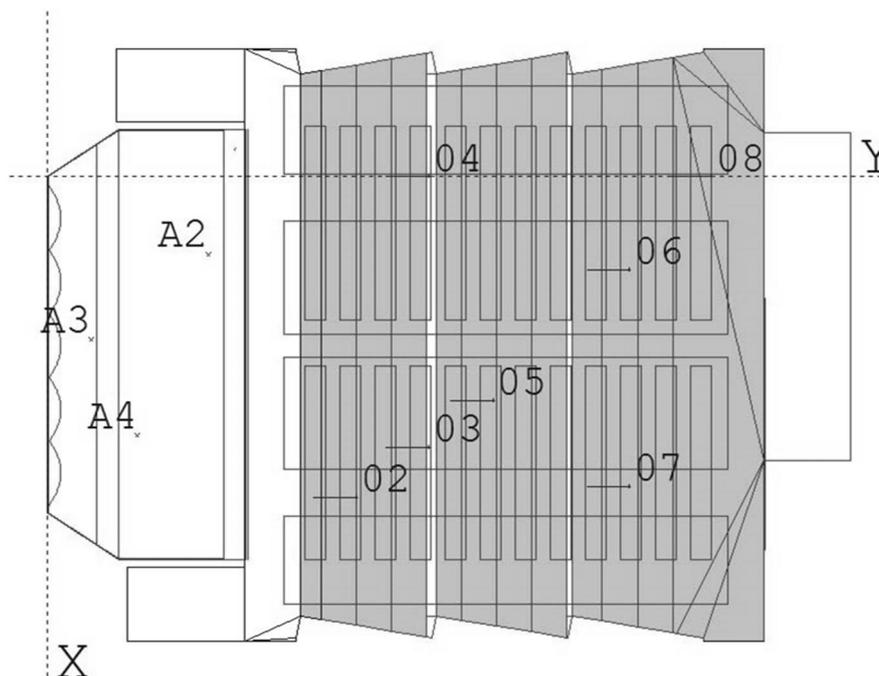


Figura 14 - Sagomatura delle pareti e definizione degli elementi riflettori verticali

Gli elementi acusticamente collaboranti per incrementare la qualità complessiva sono:

- gli **elementi sagomati laterali** che contribuiscono, con opportuno trattamento acustico, alla diffusione del suono favorendo la propagazione della frazione di energia riflessa e bilanciando la duplice esigenza di sfruttare tale energia per incrementare i) l'intelligibilità anche verso il fondo della sala e ii) produrre riflessioni laterali per aumentare la sensazione di

immersione connessa alla musica. Sarà necessario progettare un rivestimento delle pareti laterali in parte riflettente ed in parte fonoassorbente, considerando anche il volume di aria retrostante i pannelli come elemento integrante del trattamento acustico stesso. Infatti, a seconda della profondità delle intercapedini, costipate di materiale poroso, si può sfruttare il comportamento dei pannelli di rivestimento quali membrane risonanti, permettendo un maggior controllo alle basse frequenze ed evitando sbilanciamenti tra le gamme di frequenza, che risulterebbero nocivi alle prestazioni acustiche dei diffusori stessi e fastidiosi per gli ascoltatori.

- la **parete alle spalle dell'oratore**, che trattata con elementi riflettori cilindrici, funge da specchio riflettente e diffondente rinforzando l'emissione naturale della voce e la circolazione del suono prodotto dagli strumenti musicali.
- la **parete di fondo**: caratterizzata dalla presenza del piccolo volume all'ingresso contribuisce, attraverso la sola geometria, alla presenza di riflessioni del suono verso gli ascoltatori, provocando dei ritorni del suono dalle spalle della platea. Per questo motivo, risulta molto importante, in questo caso, la corretta scelta dei materiali ed il loro posizionamento rispetto alla funzione cui sono deputati.

È necessario inoltre avere omogeneità del campo sonoro per avere uniformità dell'indice STI sia nei primi posti a sedere sia nelle ultime file: a questo proposito, come detto, deve essere posta la massima cura circa il posizionamento e la forma di elementi diffondenti posizionati a parete, atti a garantire un'omogeneità del campo sonoro che permetta l'ascolto del parlato nei primi posti, così come negli ultimi.

Molta attenzione dovrà, inoltre, essere posta nella corretta scelta delle poltrone; la scelta tra differenti materiali per i singoli componenti del sedile (seduta, schienale, braccioli etc.) ha una influenza diretta sulla propagazione dell'onda sonora verso la sala e quindi sulla qualità percettiva del suono e costituisce una delle principali grandezze di progetto, anche perché rende il comportamento acustico della sala meno influenzato dalla percentuale di occupazione dei posti.

La Figura 15 riporta per maggior chiarezza la resa tridimensionale degli elementi verticali descritti: in blu si evidenziano le porzioni riflettenti il suono ed in rosso le parti fonoassorbenti.

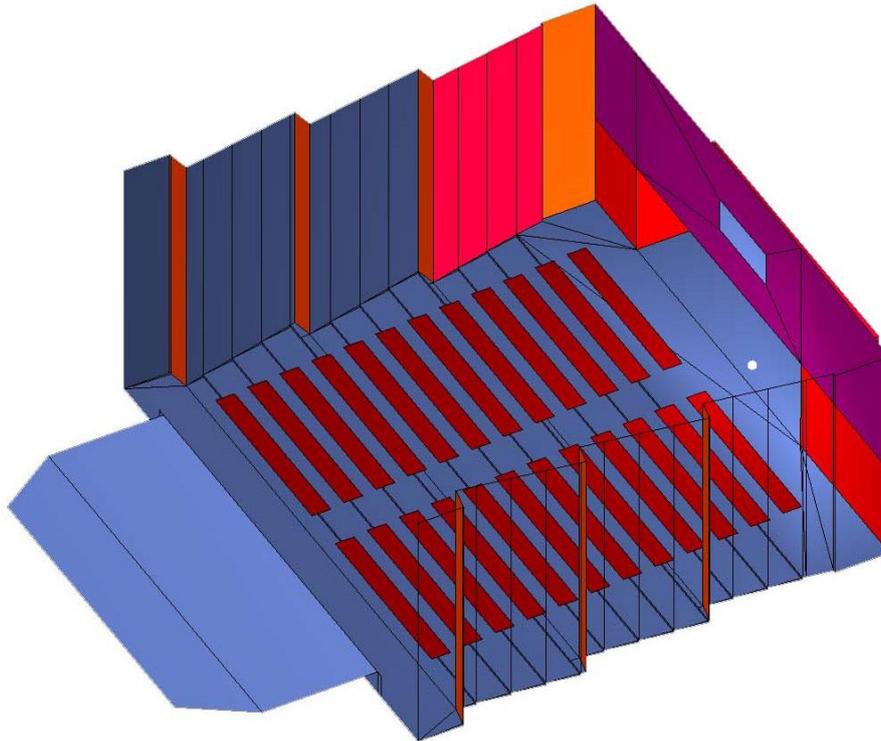


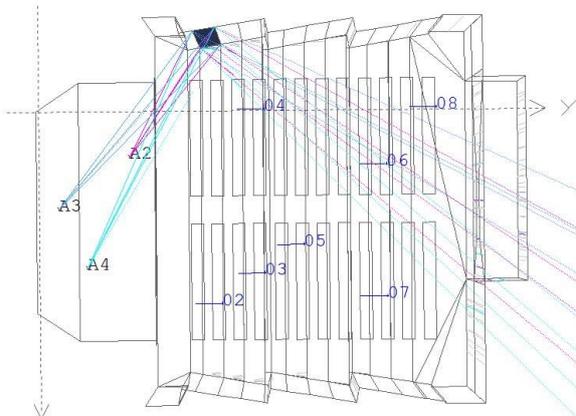
Figura 15 - Pareti ed elementi riflettori verticali È resa tridimensionale

8.5 ANALISI DELLE RIFLESSIONI DEI RAGGI SONORI

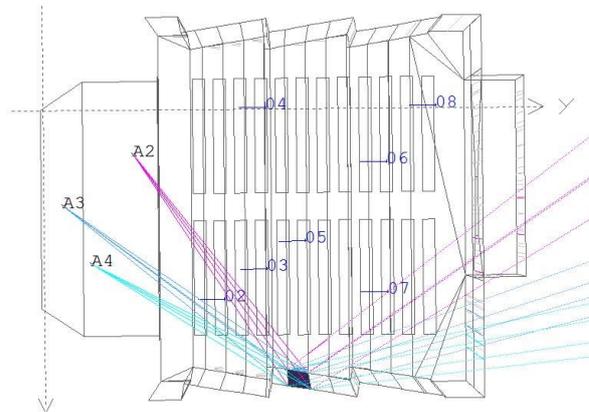
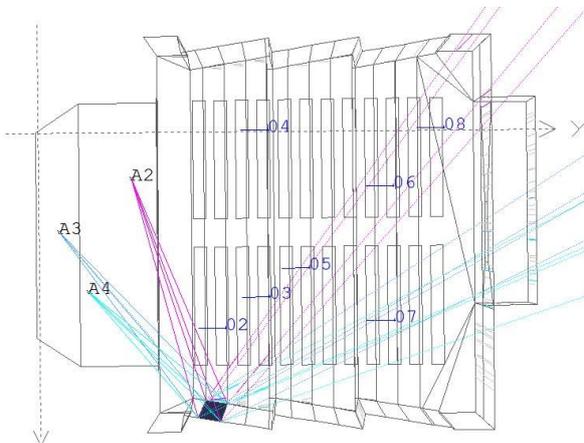
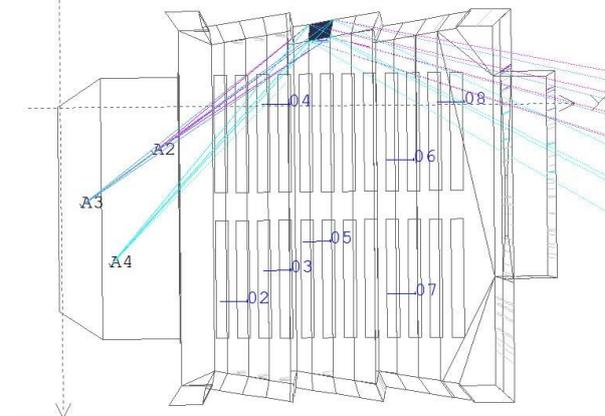
Per la valutazione dell'efficienza delle superfici da trattare e per evidenziare le possibili "debolezze" relative alla forma dell'ambiente sono state calcolate con il modello numerico le riflessioni prodotte dalla geometria scelta, sia in relazione agli elementi definiti a parete (riflettori verticali) sia in relazione a quelli presenti a soffitto (riflettori orizzontali).

Sono definiti i seguenti punti sorgente: A2, A3, A4: Oratore/musicista sul palco

Riflessione delle pareti laterali elementi in prossimità del palco



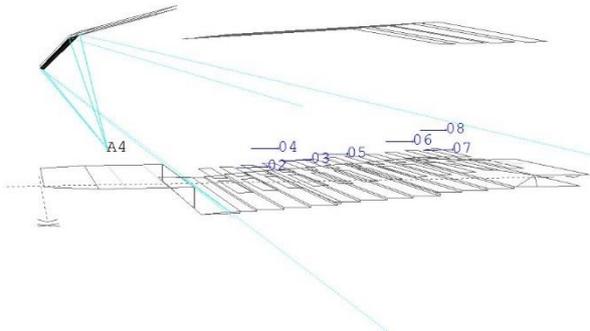
Riflessione delle pareti laterali elementi centrali



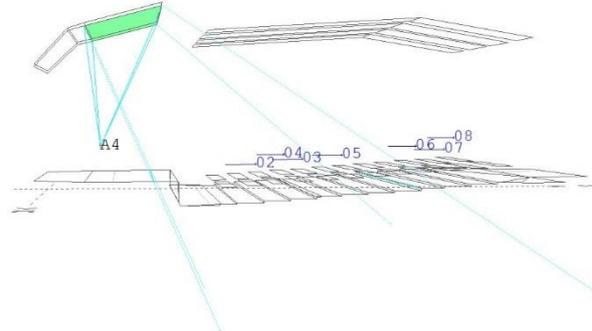
I risultati confermano che, per le posizioni sorgente selezionate e per le pareti indicate, l'energia che si propaga dalle sorgenti è trasmessa efficacemente verso i posti di platea, anche per i posti più lontani dal palcoscenico.

Le valutazioni per gli elementi orizzontali sono riportate nelle figure successive. Si è effettuata prima l'analisi su una singola sorgente attiva (A4) e successivamente l'analisi delle altre sorgenti.

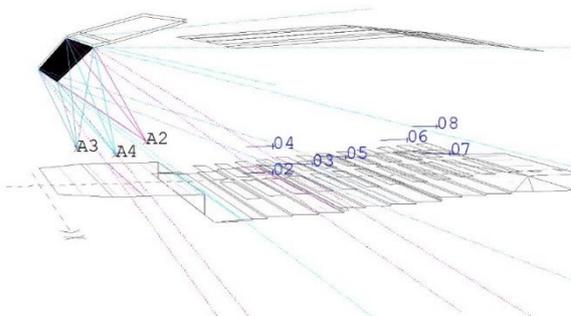
**Riflessione delle vele del palcoscenico
elementi posteriori (sorg. A4)**



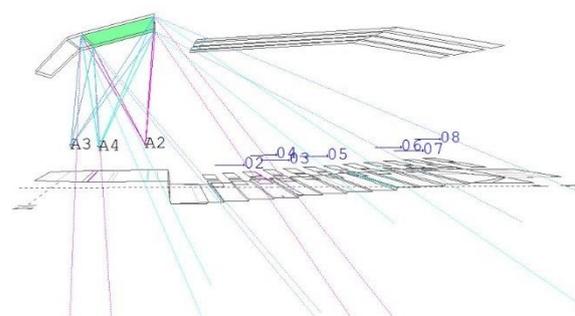
**Riflessione delle vele del palcoscenico
elementi anteriori (sorg. A4)**



**Riflessione delle vele del palcoscenico
elementi posteriori**

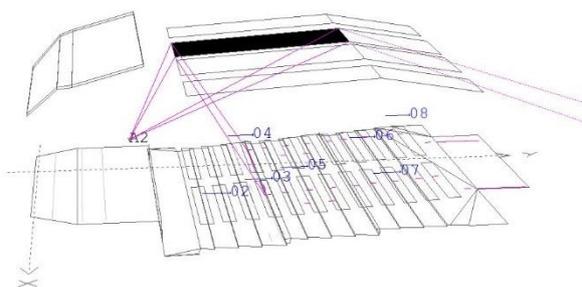


**Riflessione delle vele del palcoscenico
elementi anteriori**

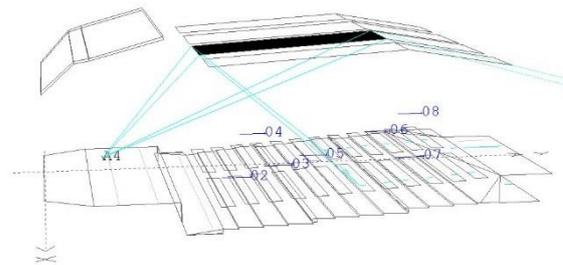


Le analisi dei riflettori orizzontali posizionati in platea sono riportate nelle immagini seguenti; i risultati si riferiscono alle analisi condotte sulle singole sorgenti (A2 ed A4).

**Riflessione delle vele collocate in platea
(sorgente A2)**



**Riflessione delle vele collocate in platea
(sorgente A4)**



Gli elementi riflettori orizzontali analizzati contribuiscono in maniera efficiente a riportare parte dell'energia sonora proveniente dalle sorgenti su una ampia porzione di platea.

8.5.1 Analisi sulla percezione soggettiva degli elementi riflettori

La definizione degli elementi riflettori è correlata, come dimostrato, all'incremento dell'efficienza della propagazione dell'energia sonora prodotta dagli elementi collaboranti. Le riflessioni così prodotte modificano la risposta all'impulso soprattutto in rapporto alle prime riflessioni.

Si approfondisce qui tale aspetto teorico, connesso in particolare modo alla musica: nella risposta all'impulso il suono diretto è seguito dalle prime riflessioni, la singola riflessione è caratterizzata dal livello sonoro e dal ritardo relativo al suono diretto e dalla direzione. Per la riflessione prodotta dalle superfici l'effetto soggettivo è rappresentato nel grafico di Figura 16, in ascissa è riportato il ritardo della riflessione riferito al suono diretto ed in ordinata il livello riferito al raggio diretto. Il grafico suddivide in aree le impressioni percettive:

1. Area di udibilità (*threshold*) sotto tale livello le riflessioni non sono percettibili
2. Area definita dalla soglia di disturbo (*disturbance*) oltre la quale il raggio riflesso maschera il suono diretto e produce confusione
3. Aree critiche per le riflessioni: area di colorazione del suono (*tone colouration*), area di spostamento dell'immagine (*image shift*)
4. Curva di uguale impressione spaziale, in tale area del grafico la riflessione contribuisce alla sensazione di spazialità senza produrre i difetti di cui ai punti precedenti

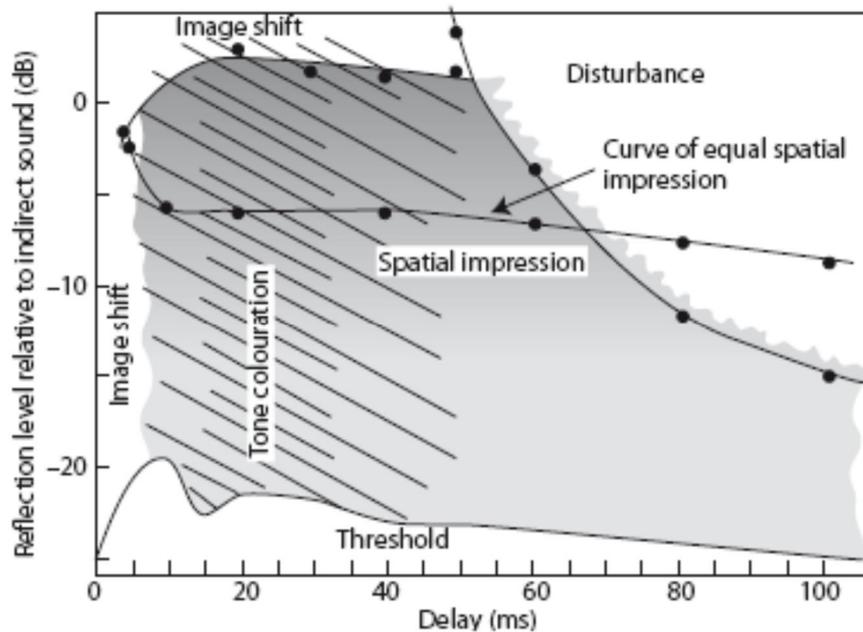


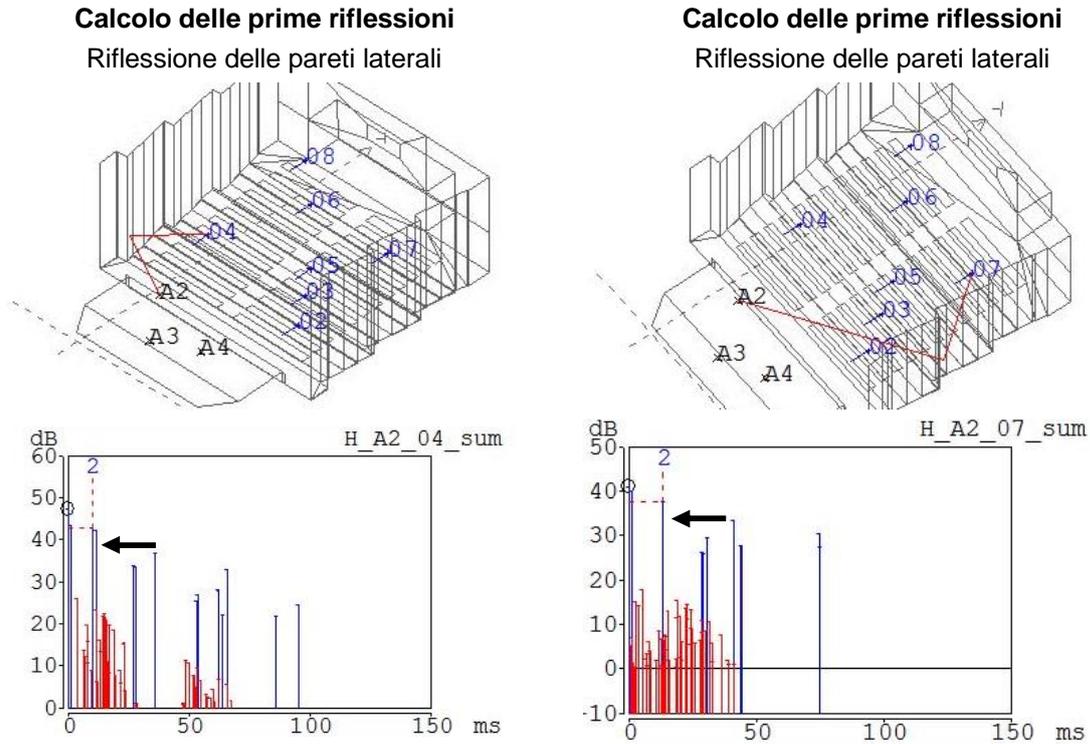
Figura 16 - Effetto soggettivo della riflessione laterale in funzione del livello e del ritardo della riflessione riferito al suono diretto

L'analisi dell'effetto soggettivo è riferito alla valutazione delle:

1. riflessioni, benefiche, prodotte dalle pareti laterali che sono correlate all'effetto di spazialità e di ricostruzione della scena tridimensionale (allargamento della sorgente ovvero suono avvolgente).

2. riflessioni, potenzialmente critiche, che possono essere prodotte dalle vele orizzontali e che sono correlate alla possibilità di produrre difetti come colorazioni (distorsione dello spettro sonoro)

A titolo di esempio, si riportano nelle immagini seguenti i risultati del calcolo delle riflessioni ed i rispettivi ecogrammi prodotti dai raggi generati dalla sorgente omnidirezionale A2 e riflessi dalle pareti laterali.



L'analisi produce come risultato il livello ed il ritardo relativo al raggio diretto tra sorgente e ricevitore considerato. Ripetendo lo stesso calcolo per i ricettori in platea e per le sorgenti collocate sul palcoscenico, i risultati si riportano nella figura 17 seguente.

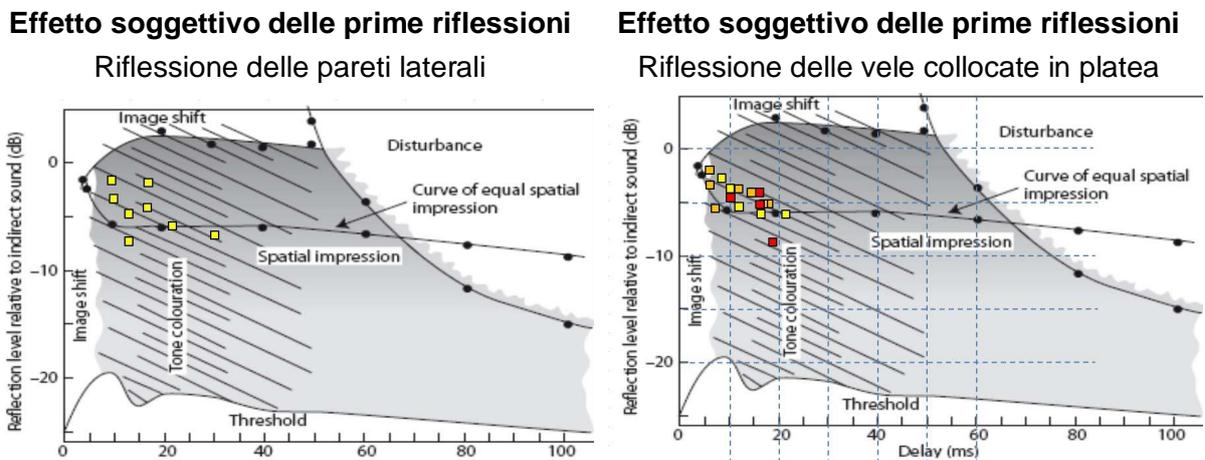


Figura 17 - Effetto soggettivo delle prime riflessioni

Le riflessioni prodotte dalle pareti e dalle vele posizionate sul palcoscenico e in platea si collocano entro i primi 20 ms e hanno un livello compatibile con l'area di uguale percezione spaziale, se ne deduce che le superfici riflettenti lavorano in maniera corretta. Si osserva che gli stessi punti si collocano in aree non compatibili rispetto a quelle indicate come "aree critiche", suscettibili di produrre sensazioni di colorazione (ad esempio suono "metallico" o brillante) e spostamento della sorgente.

8.6 TEMPO DI RIVERBERAZIONE

Il primo parametro da valutare dal punto di vista progettuale è il tempo di riverberazione della sala, tale grandezza fornisce in prima approssimazione il grado di intelligibilità prevedibile per il parlato.

Il software di simulazione fornisce i valori del tempo di riverberazione per le sorgenti ed i ricettori definiti nell'ambiente. Utilizzando le superfici e le relative unità assorbenti, ha lo scopo di verificare che le scelte producano i risultati desiderati (Figura 18 e Figura 19).

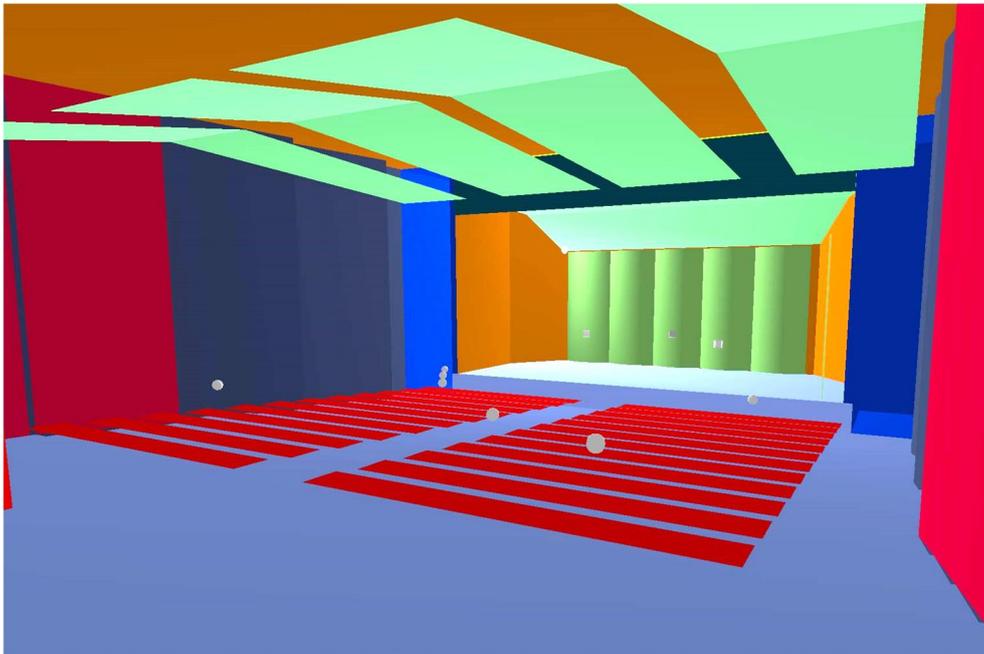


Figura 18 - Modello di previsione: vista dal fondo della sala verso il palcoscenico

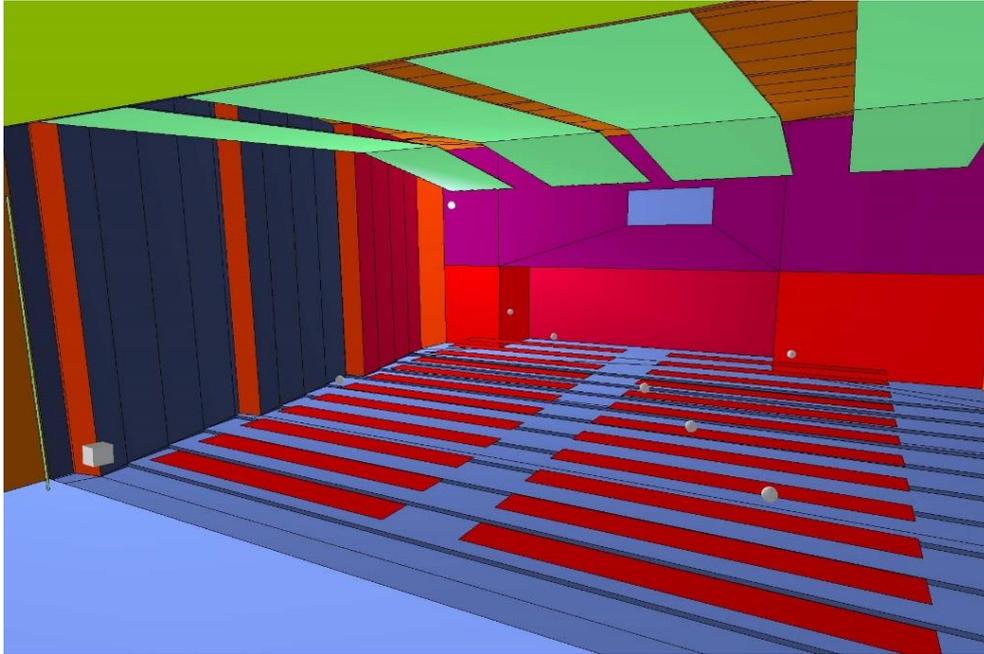


Figura 19 - Modello di previsione: vista del fondo della sala dal palcoscenico

L'analisi di dettaglio permette di definire così le aree della sala aventi esigenze acustiche differenti:

1. L'area a fronte dell'operatore (primi posti della platea) in cui deve essere percepibile il suono diretto della sua voce
2. la restante porzione di sala (centro e fondo della platea) in cui è, invece, importante calibrare correttamente gli elementi diffondenti (come indicato nei paragrafi precedenti) e gli elementi fonoassorbenti affinché si possa ridurre il campo riverberato mantenendo contemporaneamente un adeguato livello di energia utile alla diffusione del suono.

Tale obiettivo è ottenibile sia attraverso la corretta scelta dei materiali costituenti le sedute, sia attraverso la corretta scelta dei materiali (fonoassorbenti e diffondenti) da posizionare a parete e soffitto e soprattutto, come visto, mediante il loro corretto dimensionamento ed orientamento. In Figura 20 si riporta il modello rappresentativo delle aree risultati acusticamente assorbenti (evidenziate con un colore chiaro) e riflettenti (evidenziate con un colore scuro).

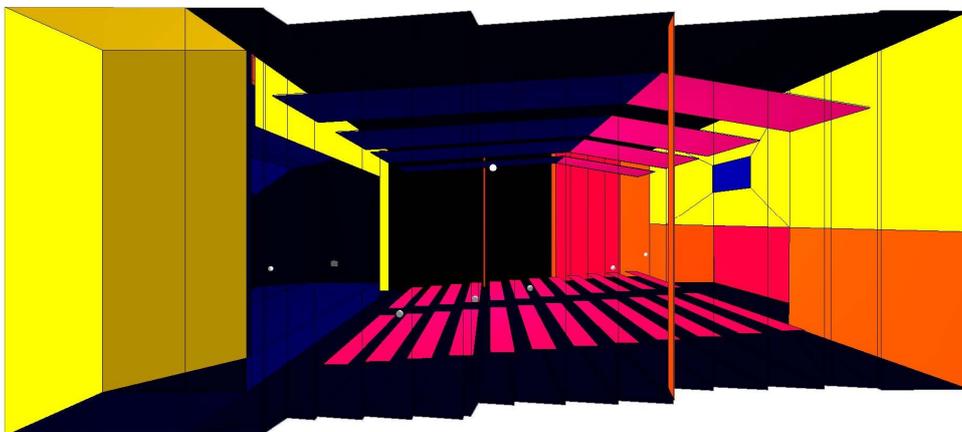


Figura 20 - modello rappresentativo delle aree risultati acusticamente assorbenti (evidenziate con un colore chiaro) e riflettenti (evidenziate con un colore scuro)

Ipotizzando di trattare la sala con gli elementi correttamente progettati (i dettagli dei materiali e delle posizioni sono riportate nel capitolo 9) sia a parete sia a soffitto, ovvero utilizzando le superfici sagomate ai lati come elementi in parte fonoassorbenti ed in parte riflettenti, così come il soffitto e le pareti di fondo e la parete dietro lo spettatore, si ottiene il tempo di riverberazione riportato in Figura 21.

Nel grafico di Figura 21 si riportano le curve del tempo di riverberazione in diversi punti della platea, la curva del tempo di riverberazione medio e li si confronta con la curva del RT60 ottimale.

Frequenza [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
A2	1.53	1.13	1.09	1.12	1.05	0.92
A3	1.50	0.97	0.75	0.79	0.87	0.86
A4	1.52	1.12	1.10	1.02	1.18	0.92
-	-	-	-	-	-	-
Media	1.52	1.07	0.98	0.98	1.03	0.90
ottimale	1.22	1.07	1.02	0.98	0.94	0.85

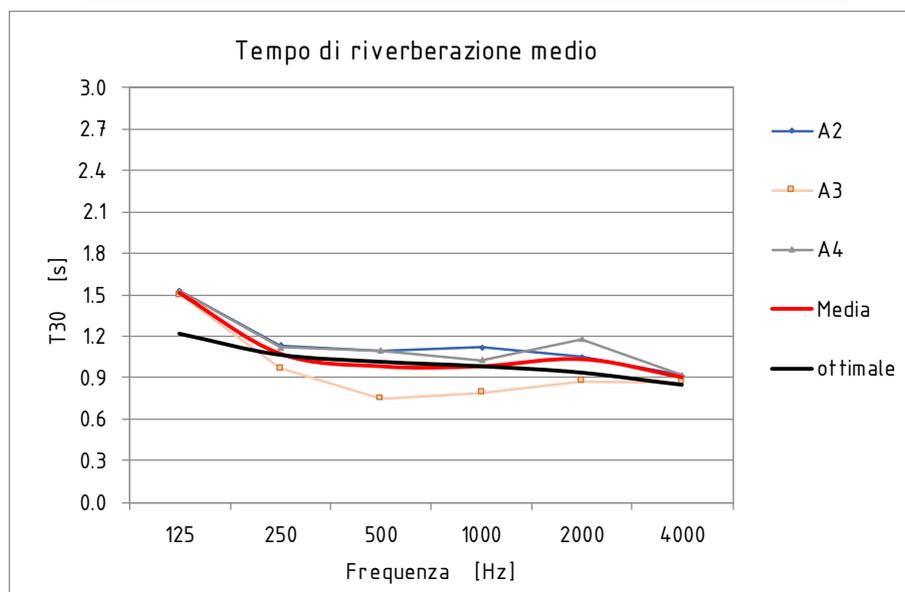


Figura 21 - Tempo di riverberazione calcolato per l'auditorium a seguito dei trattamenti acustici

A seguito della realizzazione dei trattamenti previsti, il tempo di riverberazione medio è praticamente costante in tutto il campo di frequenze ed ha valori prossimi a 1,0 s avvicinandosi alla curva ottimale e compatibili con i requisiti richiesti (il valore ottimale del tempo di riverberazione T deve essere compreso tra 0,7 s e 1,2 s).

8.7 UNIFORMITÀ E DIFFUSIONE DEL CAMPO SONORO

Il rapporto tra Tempo di Primo Decadimento EDT ed il tempo di riverberazione RT è correlato all'uniformità ed alla diffusione del campo sonoro che contribuisce alla percezione omogenea del campo sonoro per tutti i posti della platea. Se tale rapporto si approssima ad $EDT/RT = 1$,

allora, la riduzione nel tempo dell'energia sonora è approssimabile ad un decadimento esponenziale e quindi all'ipotesi di perfetta diffusione del suono.

Il risultato ottenuto per i ricettori definiti con le ipotesi indicate circa il posizionamento e l'utilizzo dei materiali, è riportato in Figura 22.

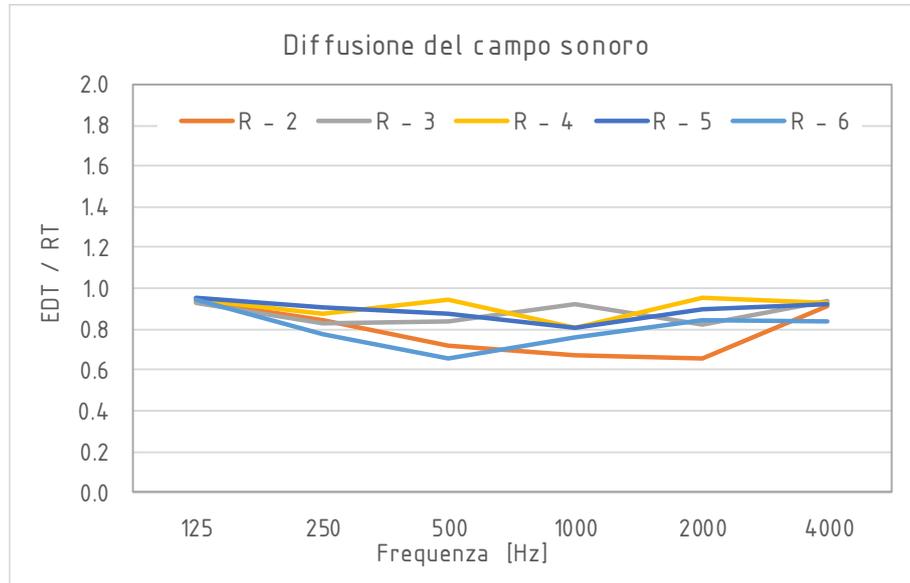


Figura 22 - Rapporto tra Tempo di Primo Decadimento EDT ed il tempo di riverberazione RT

Si conferma che, a seguito della realizzazione delle strutture diffondenti e dell'inserimento dei materiali fonoassorbenti, per i ricettori collocati in platea (indicati con Rx) si ottiene una buona diffusione del campo sonoro per tutte le frequenze oggetto di analisi.

8.8 DISTRIBUZIONE DEL LIVELLO SONORO SPL

L'inserimento degli opportuni elementi tende, come visto, a limitare i valori del tempo di riverberazione (superfici acusticamente assorbenti) e contemporaneamente rendere omogeneo il campo sonoro nello spazio analizzato (mediante superfici diffondenti e riflettenti). Le due ipotesi riflettono la esigenza di controllo del campo sonoro nell'ambiente, sia in relazione al contributo diretto, che si riduce allontanandosi dalla sorgente, sia in relazione al contributo riverberato, che ha un valore più piccolo via via che si introducono unità fonoassorbenti. Si conclude che, se la sala funziona correttamente, la riduzione del livello sonoro per distanze sempre maggiori dalla sorgente sonora (lontane dal campo diretto) non è significativa e, soprattutto, non è funzione della posizione della sorgente sonora.

Per verificare se i trattamenti ipotizzati lavorano in modo adeguato i contributi diretto e riverberato si possono prevedere teoricamente e, soprattutto, confrontare con i livelli calcolati mediante software per le sorgenti A2, A3 e A4 e per tutti i ricettori posti in platea. Il grafico di FIGURA 23 riporta tale confronto.

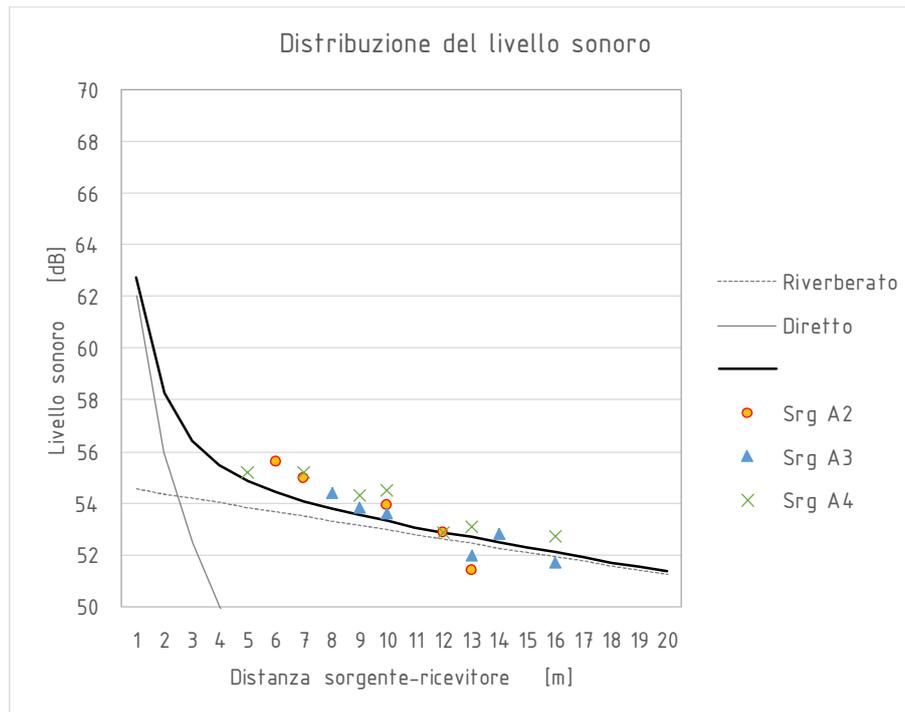


Figura 23- Andamento teorico (linea nera spessa e continua) e calcolato (sorgenti A2, A3 ed A4) del campo sonoro in funzione della distanza sorgente-ricevitore

Si osserva una riduzione del livello di campo sonoro in funzione della distanza sorgente ricevitore aderente all'andamento teorico (linea nera spessa e continua) calcolato per un tempo di riverberazione $T = 1,0$ s per le tre sorgenti A2, A3 ed A4. Si evidenzia, inoltre, la sostanziale uniformità di andamento per le tre diverse sorgenti con un livello di pressione sonora SPL compreso tra 55 dB(A) e 52 dB(A).

8.9 VALUTAZIONE ACUSTICA OGGETTIVA

La definizione delle forme e delle proprietà dei materiali di cui ai paragrafi precedenti sono alla base delle valutazioni della qualità acustica complessiva dell'auditorium. Dal punto di vista normativo, la norma UNI EN ISO 3382 - *Acustica - Misurazione del tempo di riverberazione di ambienti con riferimento ad altri parametri acustici* -, introduce non solo la standardizzazione delle metodologie di misurazione del tempo di riverberazione, ma rappresenta anche il riferimento normativo per la definizione dei principali parametri di caratterizzazione acustica per le sale.

Tra i parametri descritti nella norma si citano:

1. grandezze connesse con la comprensione della parola (tempo di primo decadimento EDT; indice di definizione D50, intelligibilità del parlato STI)
2. grandezze connesse con la qualità della musica (chiarezza C80, indice di intensità G; frazione prima energia laterale LF)

La norma e la letteratura specialistica riportano i valori ottimali dei parametri di qualità acustica per le diverse destinazioni d'uso. Ogni parametro, correlato ad un ben preciso aspetto soggettivo di percezione del segnale sonoro, è determinabile in fase di progetto, attraverso

l'applicazione di modelli di calcolo, ed è valutabile in fase di collaudo, tramite misure in opera con tecniche descritte nella norma UNI EN ISO 3382.

I risultati dei calcoli presentati ai paragrafi precedenti, hanno confermato la validità delle scelte progettuali, in questo paragrafo si riportano i risultati in dettaglio dei parametri, espressi come livelli medi puntuali (planimetria di Figura 25) nella sala e come mappe cromatiche (area in grigio indicata nella Figura 26), con riferimento ai seguenti

- indici descrittivi per il parlato
- indici descrittivi per la musica

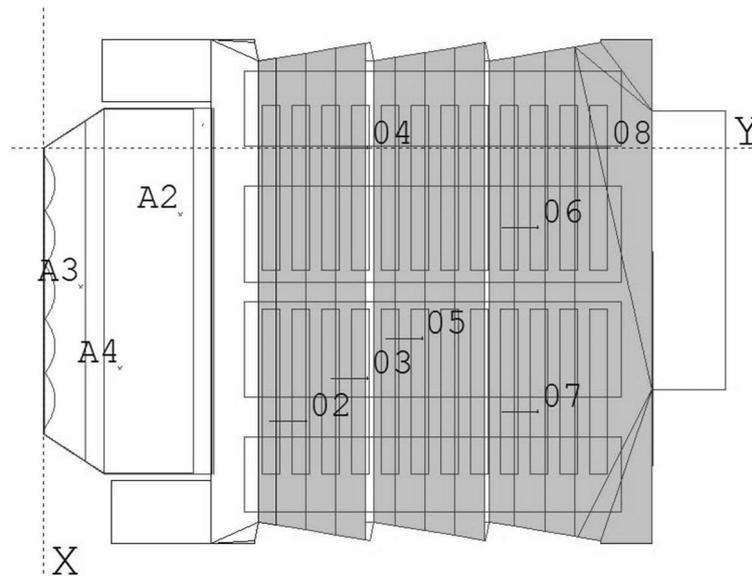


Figura 24 È Planimetria della sala, indicazione dei punti sorgente Ax sul palcoscenico e dei ricettori 0x in platea. In grigio si indica l'area di mappatura delle grandezze in esame

Si precisa che il rumore di fondo impostato è compatibile con la curva NR25 ossia con un livello equivalente complessivo pari a $L_{Aeq} = 30$ dB(A).

8.9.1 Indici descrittivi per il parlato

Per la valutazione della prestazione acustica del parlato si considerano i parametri correlati alla sensazione soggettiva di chiarezza quali definizione D50, Tempo di Primo Decadimento EDT ed indice di intelligibilità del parlato STI (con rumore di fondo omogeneo e pari a 30 dB(A)).

Si osserva che:

1. I grafici valutati per i punti ricettori sono valori medi calcolati per le tre sorgenti A2, A3 ed A4 poste sul palco e per tutti i ricettori posti in platea
2. Le mappe si riferiscono al calcolo effettuato per tutta l'area della sala ad un'altezza dal piano di calpestio pari a 1,2 m (ossia in corrispondenza delle orecchie degli ascoltatori seduti) per le stesse sorgenti sonore.

I risultati sono riportati di seguito.

L'indice di comprensione della parola STI è riportato in Figura 25 e nella seguente mappa di Figura 26.

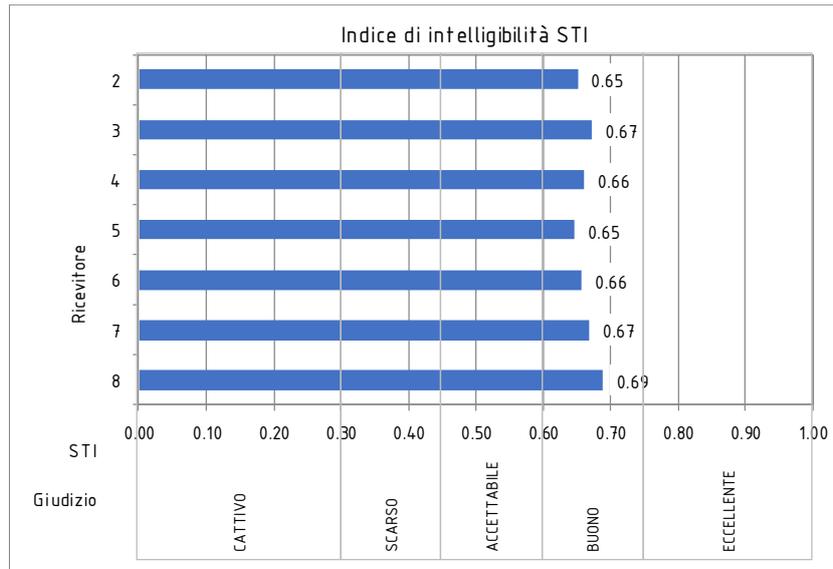


Figura 25 - Intelligibilità media per le sorgenti A2, A3 ed A4 collocate nella sala

I valori dell'indice STI di intelligibilità della parola, calcolati come media per le sorgenti A2, A3 ed A4, sono sempre superiori al valore 0,60 corrispondente ad un giudizio **BUONO**.

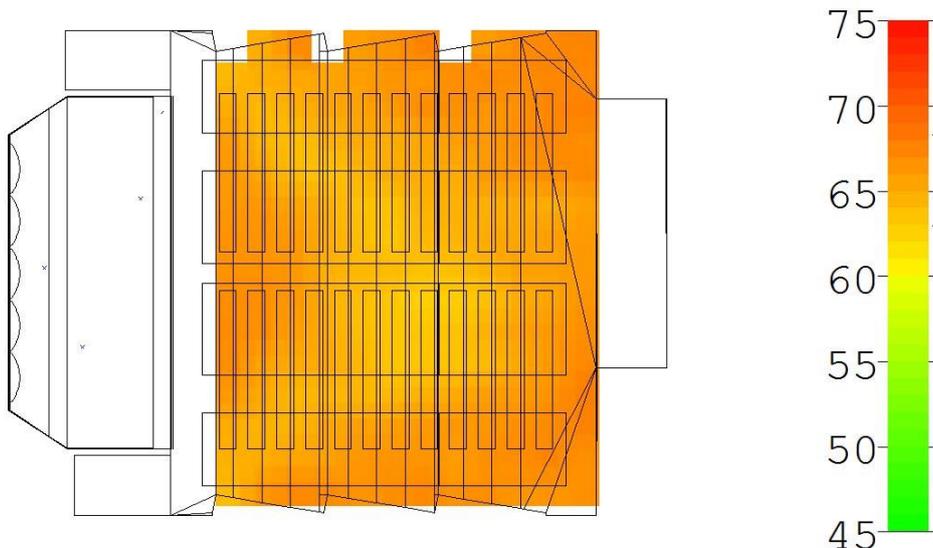


Figura 26 - Mappa cromatica dell'indice STI con rumore di fondo LAeq = 30 dB(A)

La rappresentazione cromatica dell'indice considerato evidenzia che l'indice STI di intelligibilità della parola è compreso in tutta l'area della platea tra i valori 0,63 e 0,68 corrispondenti ad una fascia di giudizio **BUONO**.

Il livello di pressione sonora SPL è riportato in Figura 27 e nella seguente mappa di Figura 28

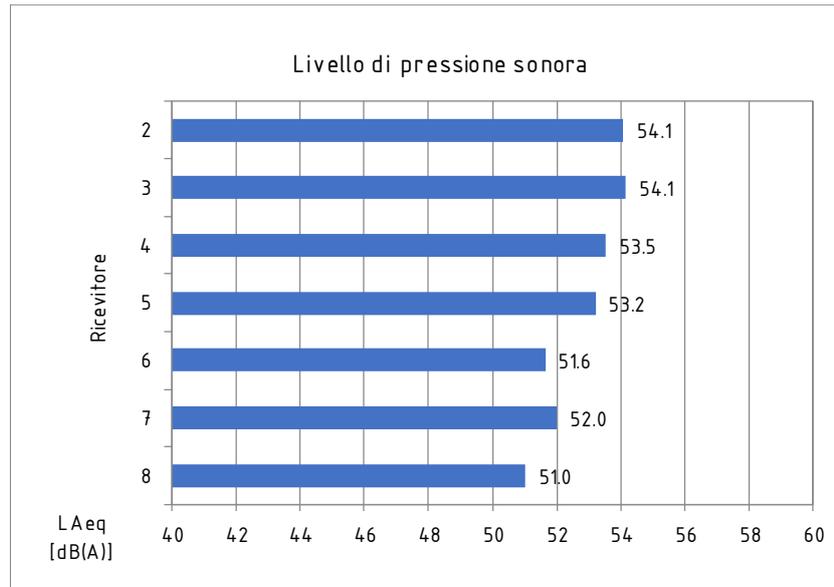


Figura 27 - livello di pressione sonora SPL

I valori livello di pressione sonora SPL, calcolati come valori medi per le sorgenti A2, A3 ed A4, sono compresi tra un livello di 41 dB(A) e 54 dB(A) per i punti distribuiti sulla platea. Ne consegue che la riduzione del livello sonoro prodotto dalle sorgenti sul palco è contenuta nei diversi punti distribuiti in platea, a conferma dell'efficienza degli elementi riflettori inseriti.

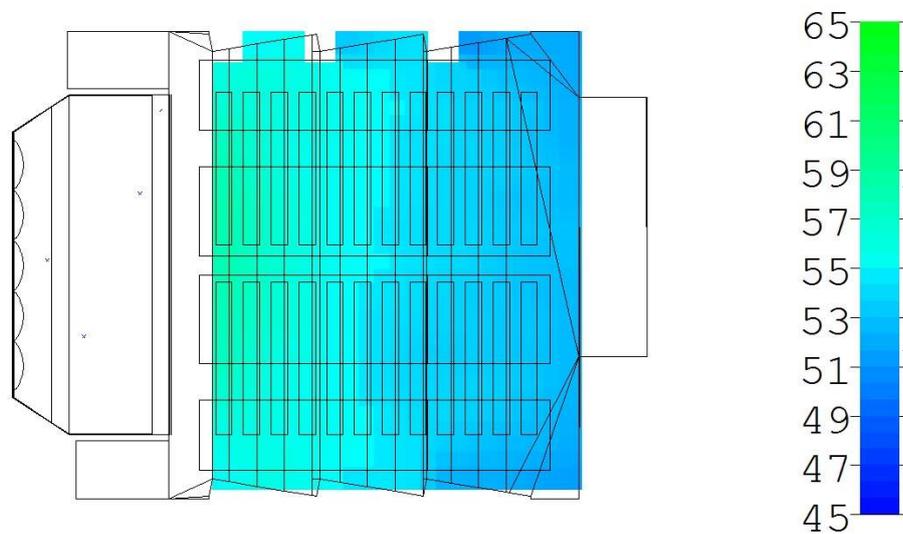


Figura 28 - Mappa cromatica del livello di pressione sonora SPL

La rappresentazione cromatica dell'indice considerato evidenzia che il livello sonoro SPL si riduce seguendo l'andamento teorico previsto: dalle prime file per cui si ha il valore di 55 dB(A) per poi ridursi a 52 dB(A) verso il fondo della sala. Si conferma una ridotta riduzione dell'andamento del livello in funzione della distanza sorgente-ricettore dovuta al corretto funzionamento degli elementi diffondenti progettati.

8.9.2 Indici descrittivi per la musica

Per la valutazione della prestazione acustica legata alla musica si considerano i parametri quali chiarezza C80 e frazione della prima energia laterale LF.

Si osserva che:

1. I grafici valutati per i punti ricettori sono valori medi calcolati per le tre sorgenti A2, A3 ed A4 poste sul palco e per tutti i ricettori posti in platea
2. Le mappe si riferiscono al calcolo effettuato per tutta l'area della sala ad un'altezza dal piano di calpestio pari a 1,2 m (ossia in corrispondenza delle orecchie degli ascoltatori seduti) per le stesse sorgenti di rumore.

I risultati sono riportati di seguito.

La chiarezza C80 è riportata in Figura 29 e nella seguente mappa di Figura 30.

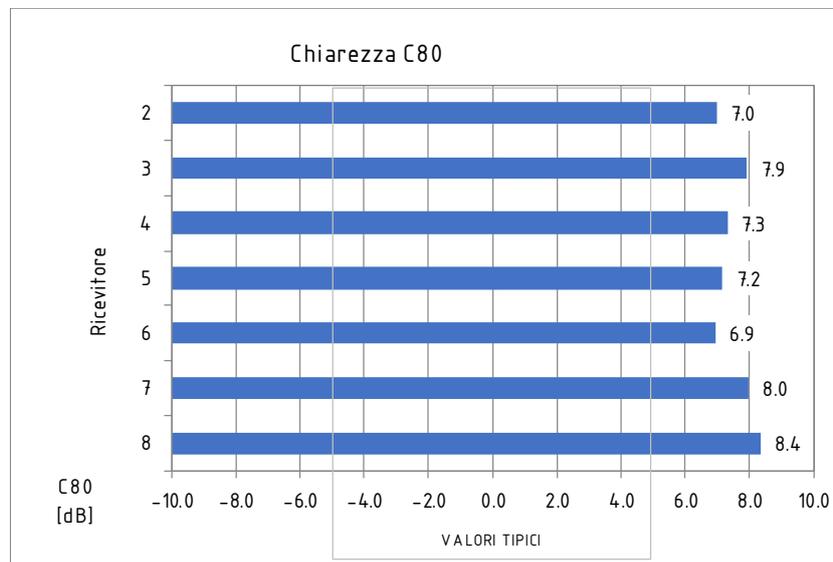


Figura 29 È Chiarezza C80

Si osserva che i valori di chiarezza C80, grandezza orientata alla valutazione della qualità musicale per le medie e grandi sale, supera i valori tipici previsti, tuttavia si ricorda l'impostazione multifunzione della sala che si esplicita in una egregia prestazione in relazione alla parola (oratore) ed in una buona prestazione in relazione alla fruizione della sala di piccoli . medi ensemble musicali. Si osserva, inoltre, che tali valori di chiarezza C80 consentono la riproduzione di contenuti multimediali e la esecuzione di musica leggera.

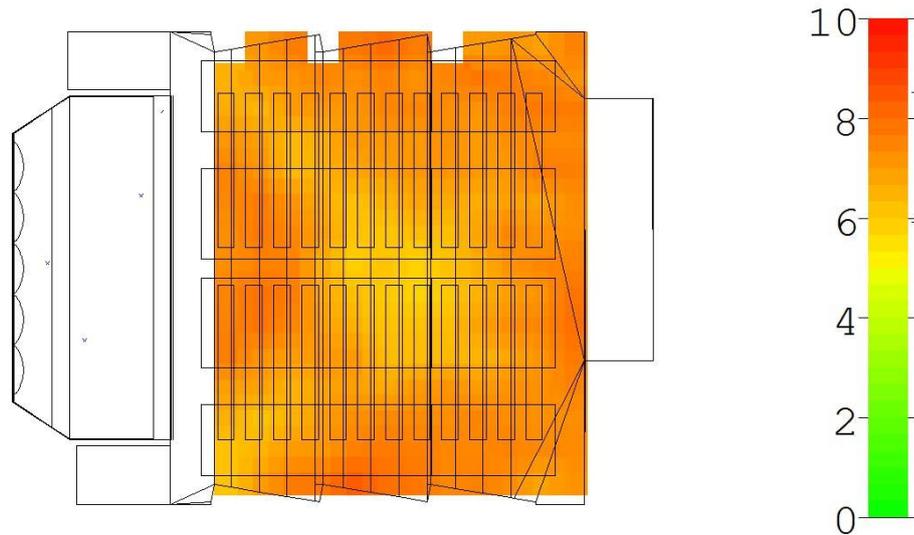


Figura 30 - Mapa cromatica della chiarezza C80

La rappresentazione cromatica della chiarezza C80 evidenzia l'uniformità del parametro in tutti i punti della platea, con valori compresi tra +6 dB e +8 dB.

La frazione della prima energia laterale LF è riportata in Figura 31 e nella seguente mappa di Figura 32.

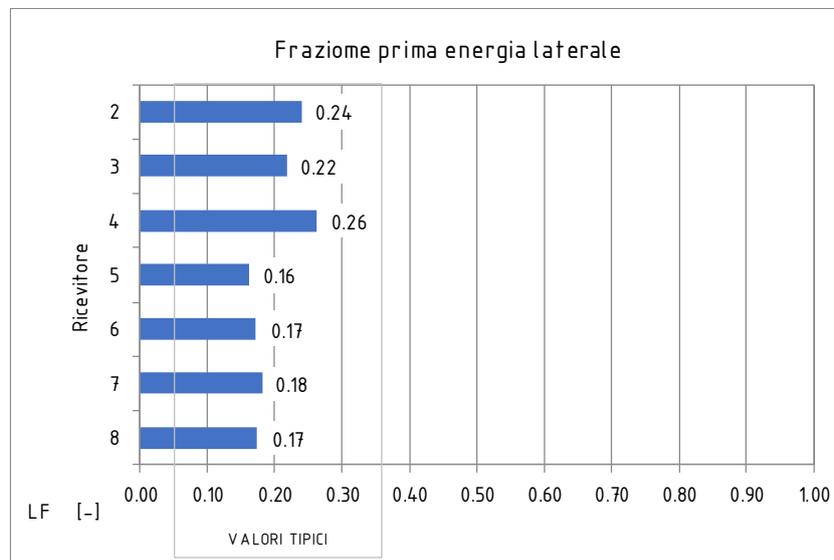


Figura 31 È frazione della prima energia laterale LF

I valori della frazione della prima energia laterale LF, per tutti i punti valutati, sono compresi nell'intervallo dei valori tipici 0.05 e 0.30 che è correlato alla corretta percezione soggettiva di ampiezza apparente della sorgente. La percezione di spazialità e ricostruzione tridimensionale della sorgente risulta essere proporzionata allo spazio scenico.

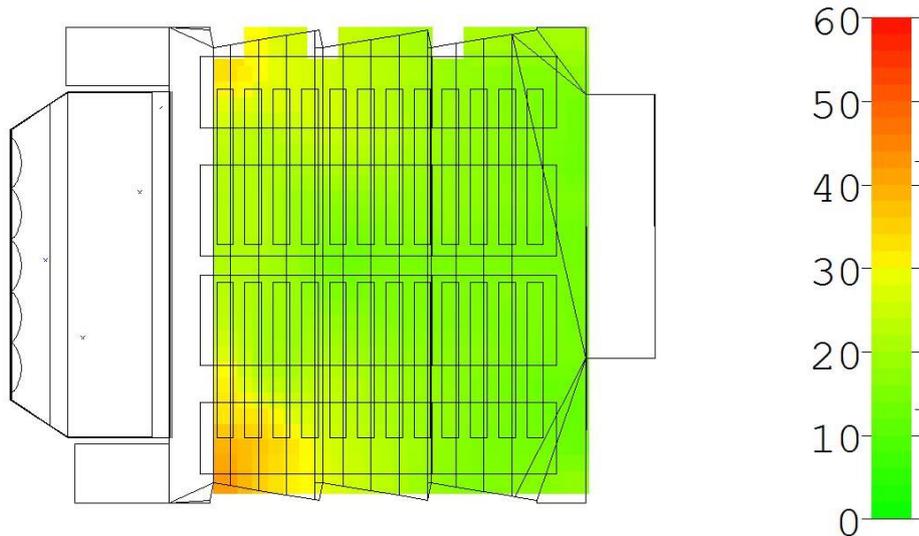


Figura 32 È Mappa cromatica della frazione della prima energia laterale LF

La mappa rivela che per l'intera area della platea la sensazione di spazialità è costante ed è compresa nell'intervallo dei valori tipici.

9 PROGETTAZIONE ACUSTICA DELL'AUDITORIUM

Di seguito si riportano in dettaglio tutti i correttori acustici inseriti all'interno dell'auditorium per riuscire ad ottenere i parametri ottimali in funzione della dimensione e della destinazione d'uso, così come specificato in dettaglio nel paragrafo precedente.

La planimetria di Figura 33 riporta tutti gli interventi presenti sulle pareti dell'auditorium sia in platea sia sul palco. La Figura 34 riporta, invece, la planimetria del piano primo, con indicati gli interventi a soffitto e nella parte alta delle pareti del palco e della platea.

Gli interventi sono stati differenziati in pianta ed in sezione, con diversi colori a seconda del tipo di intervento previsto, così come di seguito dettagliato.

LEGENDA INTERVENTI AUDITORIUM

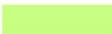
A1		Pannello in legno forato/fresato tipo Fantoni 4akustik 13/3 con foratura passante, spessore 16mm montato su struttura di supporto con retrostante pannello in fibra di poliestere spessore 20mm densità 50 kg/mc	A7		Pannello in lana di roccia spessore 40mm con velovetro faccia a vista colore bianco tipo ROCKFON Ekla posato in aderenza
A2		Pannello in legno forato/fresato tipo Fantoni 4akustik 13/3 con foratura passante, spessore 16mm montato su struttura di supporto con retrostante pannello in fibra di poliestere spessore 50mm densità 50 kg/mc e intercapedine 200mm	A8		Pannello in fibra di poliestere bianca termolegata con tessuto non tessuto colorato, tipo Akustic Ceiling, NDA, dim 600x600x50mm, densità 60 kg/mc
A3		Pannello in legno fresato tipo Fantoni 4akustik 13/3 con foratura non passante, spessore 16mm montato su struttura di supporto	A9		Vela diffondente realizzata in legno fresato non passante tipo Fantoni 4Akustik (spess. 16mm), con retrostante materassino in fibra di poliestere densità 50 kg/mc spessore 70mm
A4		Pannello in legno forato/fresato tipo Fantoni 4akustik 13/3 con foratura passante, spessore 16mm montato su struttura di supporto con retrostante pannello in lana di roccia densità 70 kg/mc	A10		Vela fonoassorbente realizzata in legno fresato e forato con foratura passante tipo Fantoni 4Akustik (spessore 16mm), con retrostante materassino in fibra di poliestere densità 50 kg/mc spessore 70mm
A5		Pannello in lana di roccia spessore 40mm con velovetro faccia a vista colore nero tipo ROCKFON Color-all montato in aderenza			Riempimento a costipazione di lana di roccia ad alta densità 70 kg/mc
A6		Schermi curvi diffondenti in MDF spessore 20mm e riempiti internamente con lana di roccia ad alta densità 70 kg/mc			



Figura 33 È Planimetria PT Auditorium con indicazione degli interventi acustici necessari

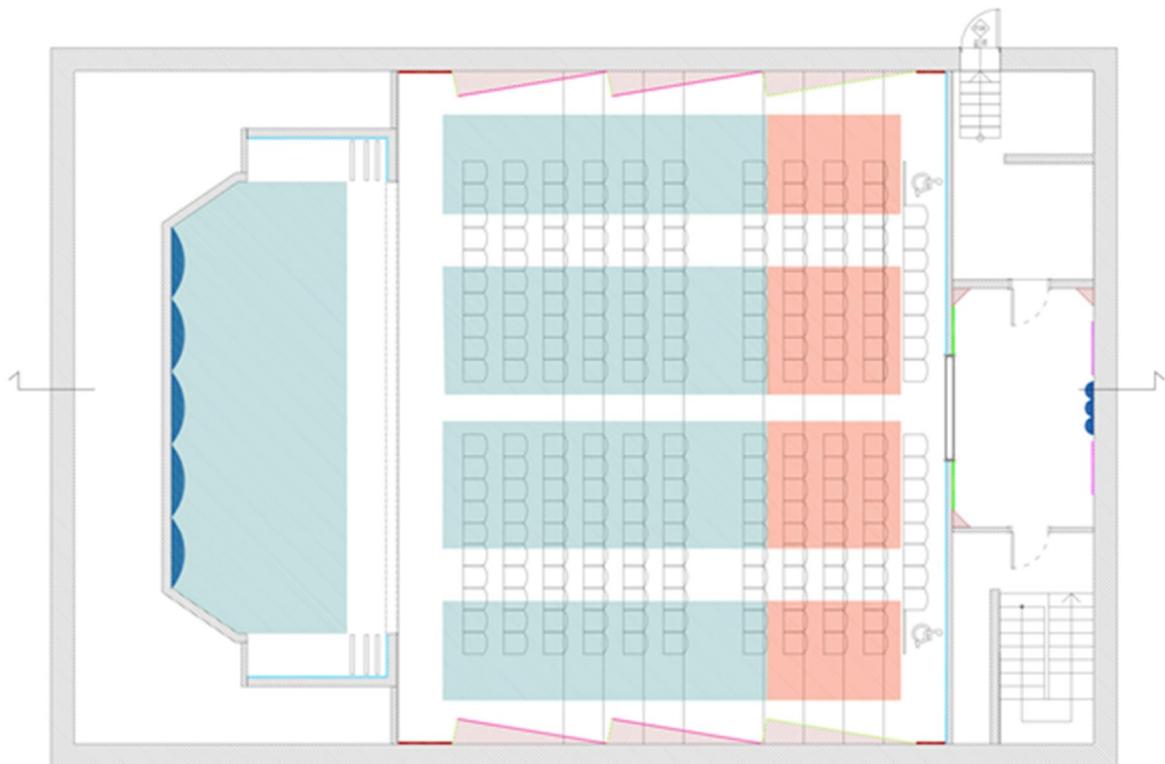


Figura 34 È Planimetria 1P Auditorium con indicazione degli interventi acustici necessari

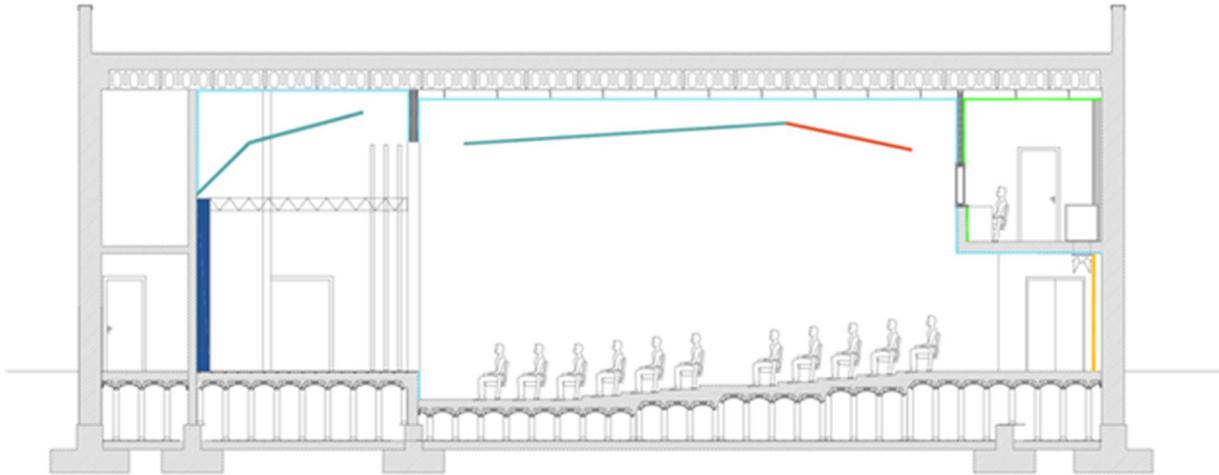
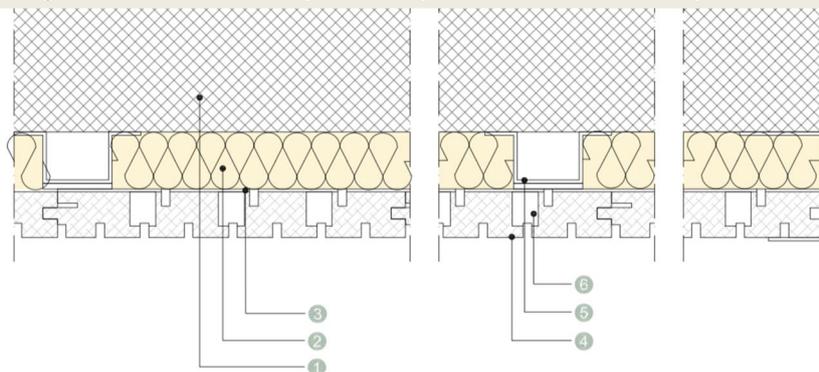


Figura 35 È Sezione Auditorium con indicazione degli interventi acustici necessari

Le pareti laterali ed il fondo della sala (in aderenza al blocco scala), nelle figure precedenti indicate con il colore bordeaux, saranno realizzati con un rivestimento ligneo in MDF fresato forato passante con finitura melamminica tipo Fantoni 4akustik 13/3 caratterizzato da una percentuale di foratura pari a 12%, dietro al pannello sarà collocato un materassino in fibra di poliestere densità 50 kg/mc e spessore 20mm in aderenza alla parete retrostante.

Di seguito si riporta il dettaglio del rivestimento acustico fonoassorbente in legno fresato con foratura passante tipo Fantoni 4akustik 13/3 (senza intercapedine). Tale pannello dovrà garantire un coefficiente di assorbimento alfa almeno pari a $\alpha=0,70$, con andamento alle differenti frequenze così come riportato nel grafico di Figura 36.

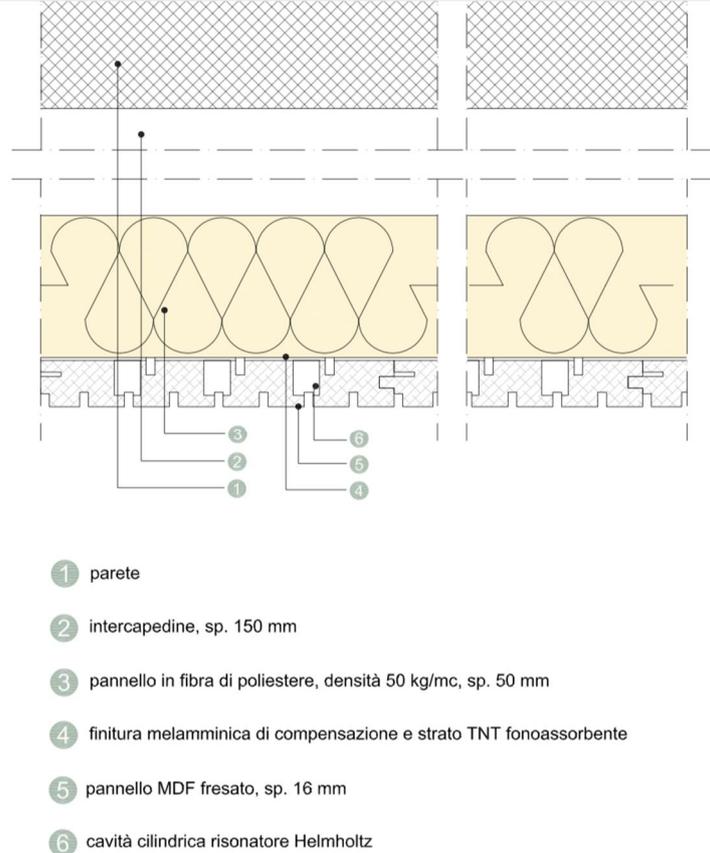
A01 . Pannello in legno fresato con foratura passante tipo Fantoni 4akustik 13/3 (senza intercapedine)



- 1 parete
- 2 pannello in fibra di poliestere, densità 50 kg/mc, sp. 20 mm
- 3 finitura melamminica di compensazione e strato in TNT fonoassorbente
- 4 pannello MDF fresato, sp. 16 mm
- 5 profilo omega e molletta di aggancio a scorrimento
- 6 cavità cilindrica risonatore Helmholtz

La parete di fondo (caratterizzata dal colore giallo) sarà, invece, realizzata con un rivestimento ligneo in MDF fresato forato passante con finitura melamminica tipo Fantoni 4akustik 13/3 caratterizzato da una percentuale di foratura pari a 12% , dietro al pannello sarà collocato un materassino in fibra di poliestere densità 50 kg/mc e spessore 50mm tra il materassino in fibra di poliestere e la parete retrostante dovrà esserci un'intercapedine almeno pari a 150mm. Tale pannello dovrà garantire un coefficiente di assorbimento alfa almeno pari a $\alpha=0,70$, con riferimento alle differenti frequenze così come riportato nel grafico di Figura 36.

A02 . Pannello in legno fresato con foratura passante tipo Fantoni 4akustik 13/3 (con intercapedine)



Di seguito in Figura 36 si riporta il coefficiente di assorbimento del rivestimento acustico in legno fresato con foratura passante tipo Fantoni 4akustik 13/3 con e senza intercapedine. La linea nera continua rappresenta l'assorbimento del pannello posto in aderenza con retrostante pannello in fibra di poliestere dello spessore di 20mm ($\alpha=0,70$), mentre la linea nera tratteggiata rappresenta il pannello in legno fresato con foratura passante tipo Fantoni 4akustik 13/3 con intercapedine 150mm ($\alpha=0,70$), con assorbimento maggiore alle basse frequenze.

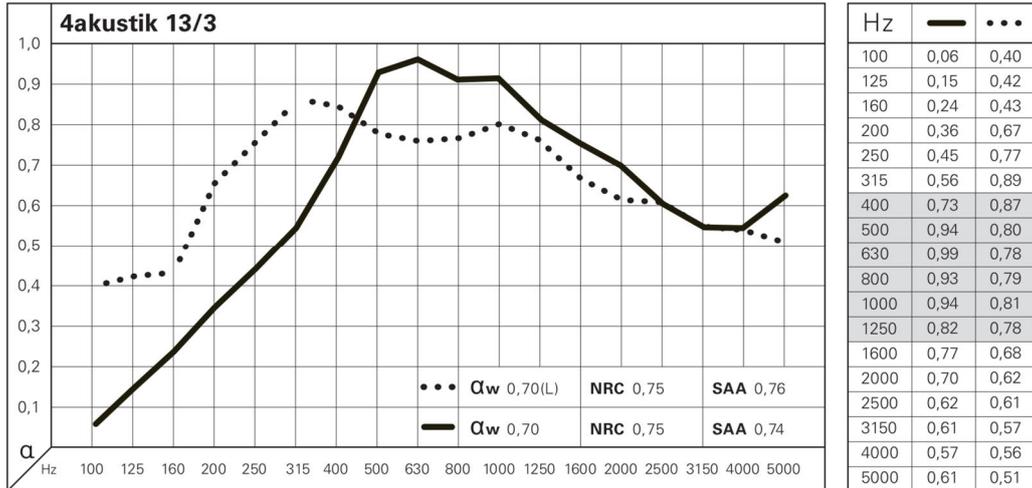
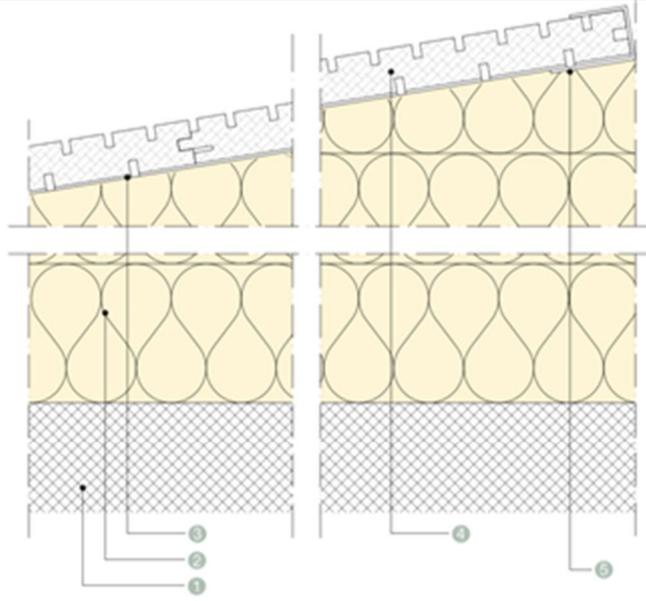


Figura 36 - coefficiente di assorbimento del rivestimento acustico in legno fresato con foratura passante tipo Fantoni 4akustik 13/3 con e senza intercapedine

Le pareti laterali della sala avranno un rivestimento disassato (a 90° rispetto alle pareti della sala) e non parallelo alle pareti della sala realizzato nella porzione in fucsia da pannelli in legno fresato con foratura non passante tipo Fantoni 4akustik 13/3 (per le prime due superfici inclinate verso il palco) e delle superfici (riportate in verde) in legno fresato con foratura passante tipo Fantoni 4akustik 13/3. Tutti gli elementi a parete avranno intercapedine retrostante interamente riempita di lana di roccia ad alta densità almeno pari a 70 kg/mc.

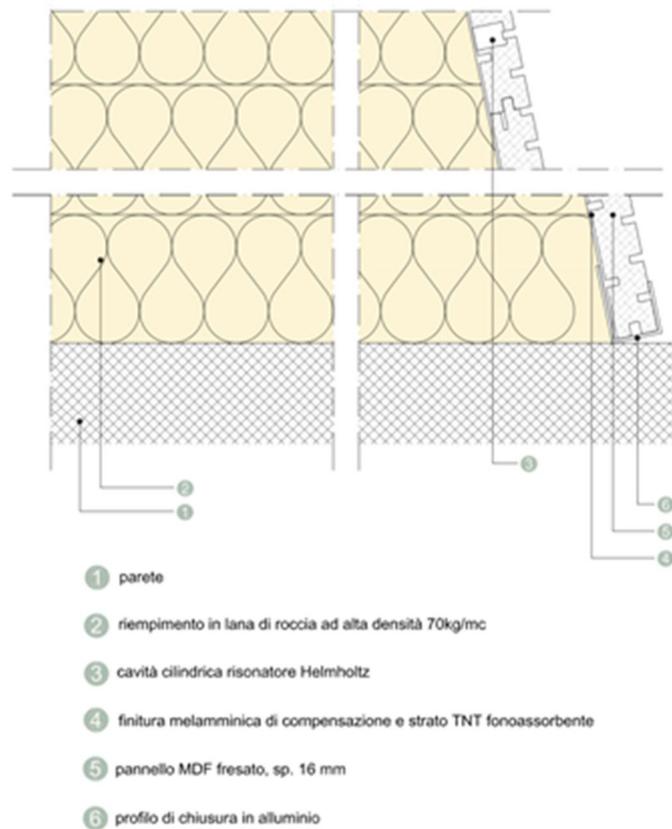
Di seguito si riportano i due dettagli degli elementi a pareti sia non passanti (dettaglio A03) sia con foratura passante (dettaglio A04).

A03 . Pannello in legno fresato con foratura non passante tipo Fantoni 4akustik 13/3



- ① parete
- ② riempimento in lana di roccia ad alta densità 70kg/mc
- ③ finitura melamminica di compensazione e strato TNT fonoassorbente
- ④ pannello MDF fresato, sp. 16 mm
- ⑤ profilo di chiusura in alluminio

A04 . Pannello in legno fresato con foratura passante tipo Fantoni 4akustik 13/3



Lo straddosso della soletta di copertura e la parete di fondo del palcoscenico, così come lo straddosso della soletta del solaio della sala regia/locale tecnico e la parete alta verso la sala della sala regia stessa (rivestimento in azzurro nelle Figura da 34 a 36) saranno rivestiti in aderenza alla struttura in cls con pannelli in lana di roccia ad alta densità (circa 85 kg/mc), spessore almeno pari a 40mm di colore nero. Il dettaglio è riportato nella specifica A05 seguente. Di seguito in Figura 37 si riporta il coefficiente di assorbimento del pannello in lana di roccia ad alta densità spessore 40mm necessario. Tale pannello dovrà garantire un assorbimento minimo pari a $\alpha=1,00$ con l'assorbimento per singola banda di frequenza pari a quello di seguito riportato (linea gialla tratteggiata).

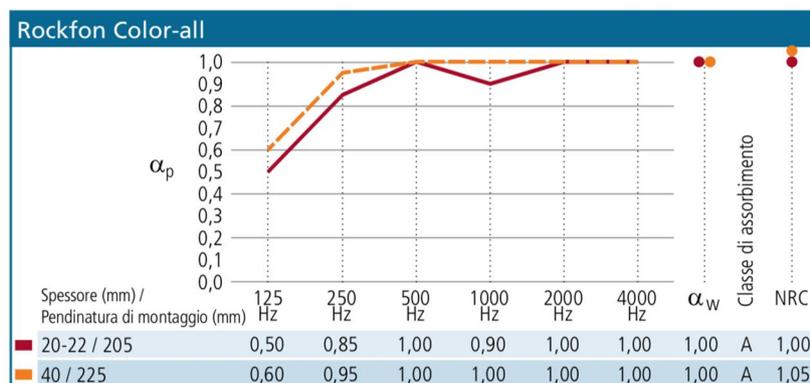
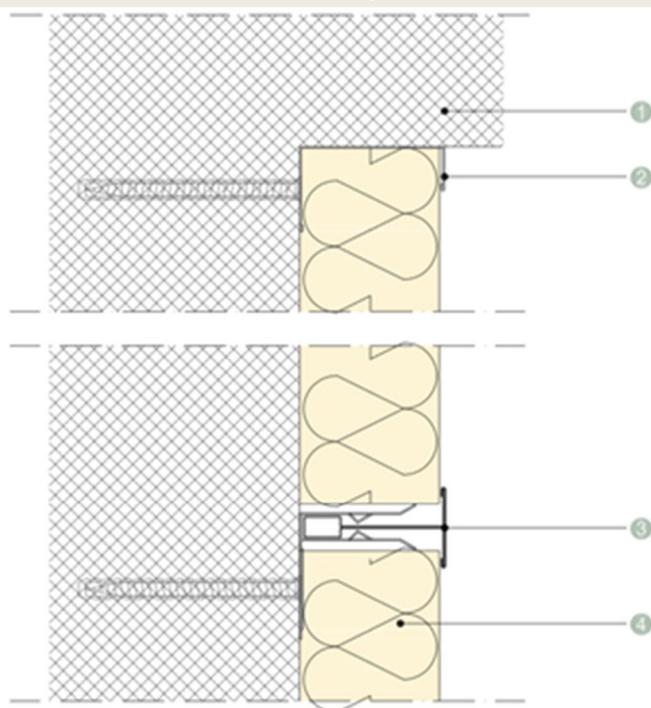


Figura 37 . Coefficiente di assorbimento pannello in lana di roccia alta densità spessore 40mm

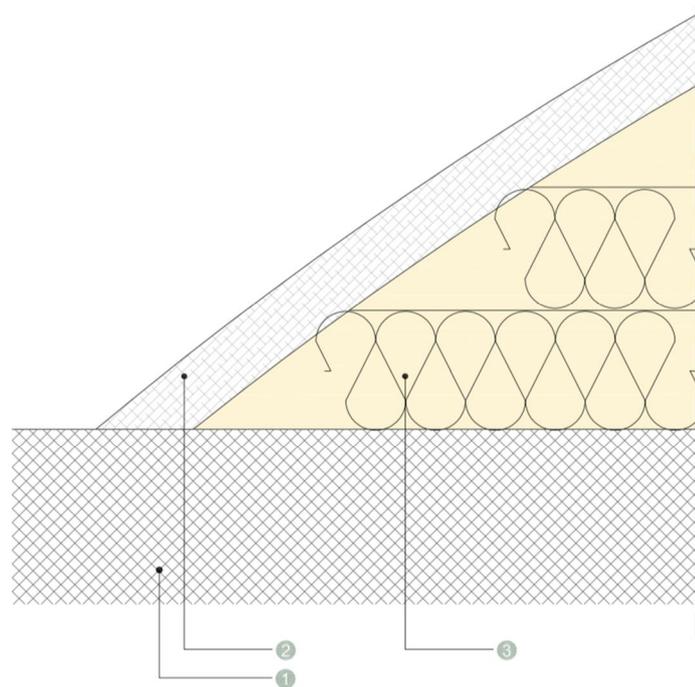
A05 . Pannello in lana di roccia con velovetro faccia a vista tipo Rockfon color-all



- ① parete
- ② profilo a J fissato alla parete dalla parte del suo lato più lungo
- ③ profilo orizzontale 24 mm inserito nella staffa di fissaggio a T
- ④ pannello tipo Rockfon color-all colore charcoal-09, sp. 40 mm

Sul palco al fine di garantire una ottima diffusività della scena sonora in tutto lo spazio verranno collocati dei diffusori cilindrici in MDF al cui interno è prevista la presenza di lana di roccia ad alta densità 70 kg/mc, a riempimento dell'intera intercapedine dei diffusori (Dettaglio A06).

A06 . Schermi curvi diffondenti in legno riempiti con lana di vetro



- ① parete
- ② schermi in MDF, sp. 20 mm
- ③ lana di roccia ad alta densità 70 kg/mc

La parete della sala regia verso l'interno della sala regia su cui sono appoggiati il mixer e la strumentazione per i tecnici sarà rivestita in pannelli in lana di roccia ad alta densità (spessore 40mm) rivestiti con velovetro e posati in aderenza alla parete stessa.

Gli stessi pannelli saranno anche collocati a soffitto, lasciando, però in questo caso una adeguata intercapedine così come riportato nei disegni architettonici. Di seguito in Figura 38 si riporta il coefficiente di assorbimento dei pannelli in lana di roccia spessore 40mm. Tale pannello dovrà garantire un assorbimento minimo pari a $\alpha=1,00$ con l'assorbimento per singola banda di frequenza pari a quello di seguito riportato

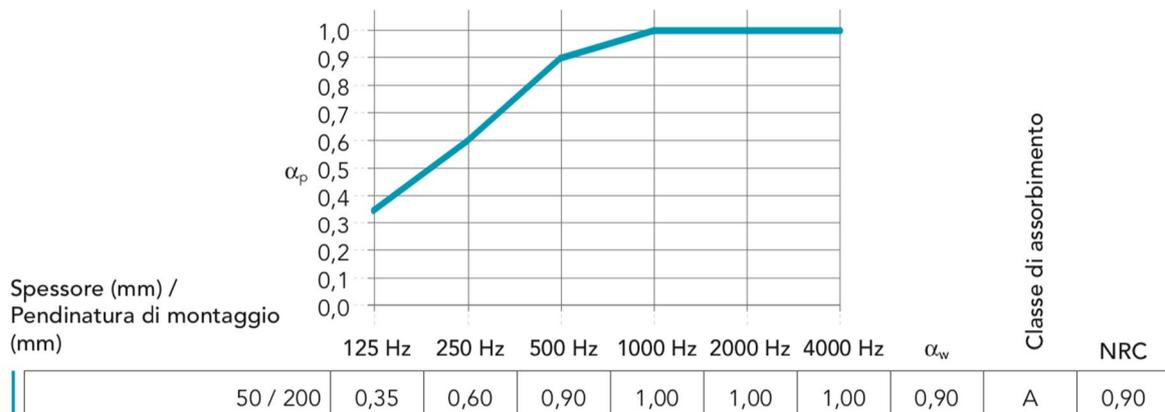
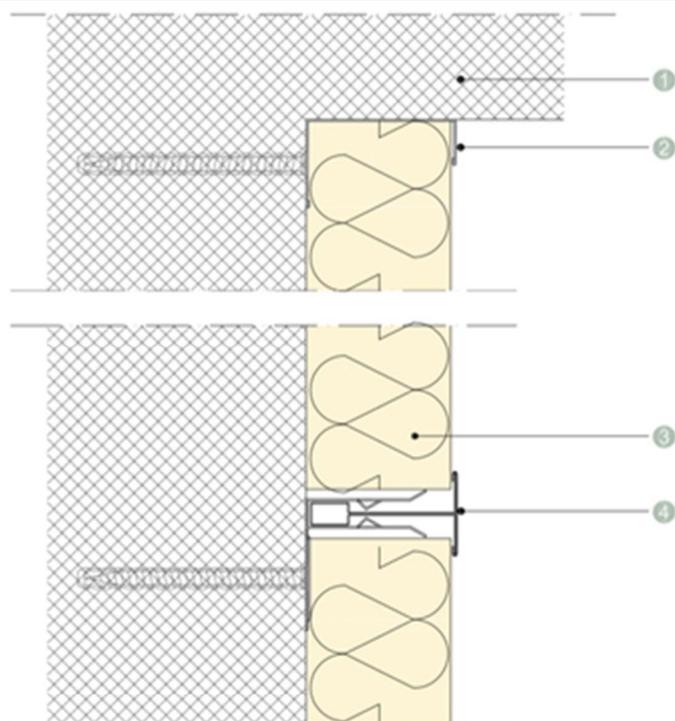


Figura 38 . Coefficiente di assorbimento pannello in lana di roccia alta densità spessore 40mm

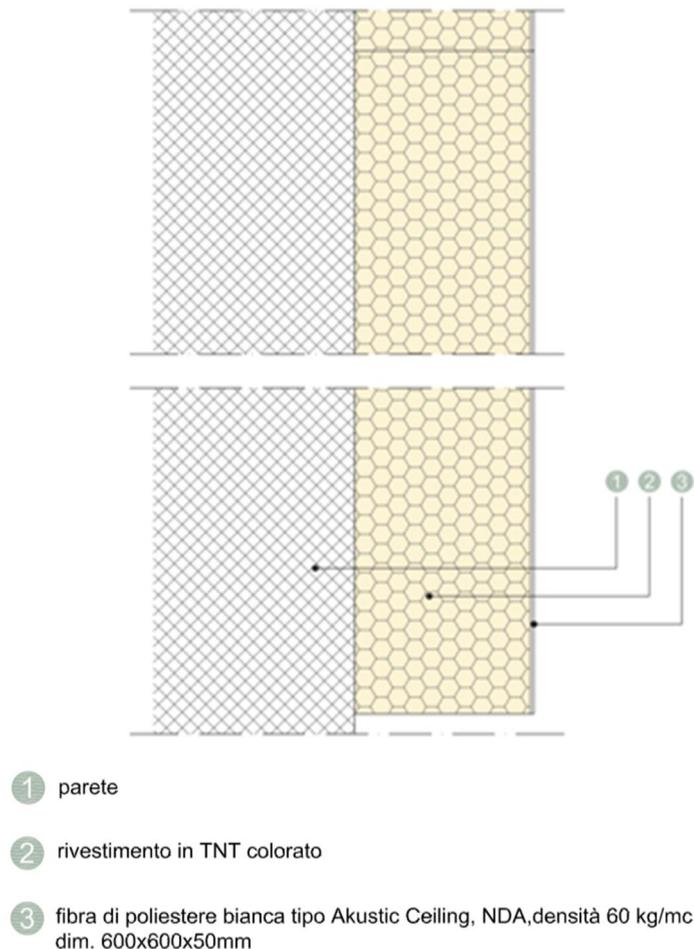
A07 . Pannello in lana di roccia con velovetro faccia a vista tipo Rockfon Ekla TH40



- ① parete
- ② profilo a J fissato alla parete dalla parte del suo lato più lungo
- ③ pannello tipo Rockfon Ekla TH40 colore bianco, sp. 40 mm
- ④ profilo orizzontale 24 mm inserito nella staffa di fissaggio a T

Dietro alle spalle del tecnico del suono in sala regia a lato degli elementi diffondenti saranno posizionati pannelli fonoassorbenti in fibra di poliestere densità 60 kg/mc, spessore 50mm rivestiti in tessuto con colori a scelta della DL.

A08 . Pannello in fibra di poliestere incollato



Il soffitto della platea dell'auditorium sarà rivestito con pannelli in lana di roccia ad alta densità spessore 40mm tipo Rockfon Color-All montati non in aderenza ma con adeguata intercapedine così come indicato da elaborati architettonici.

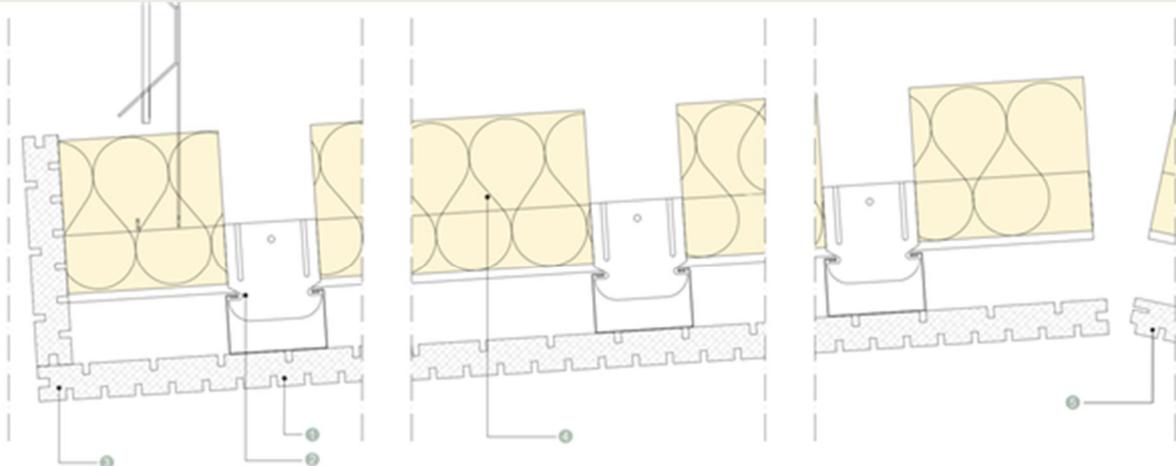
Al di sotto di tale controsoffitto saranno posizionate delle vele sospese con differente funzione acustica a seconda della posizione che andranno ad occupare rispetto alla sala.

Nella planimetria di Figura 35 e nella sezione di Figura 36 sono evidenziate raffigurate in azzurro le vele diffondenti posizionate sulla platea verso il palco. Esse saranno realizzate in pannelli lignei in MDF fresati ma non forati (Tipo Fantoni 4akustik 13/3) con retrostante materassino in fibra di poliestere dello spessore di 70mm e densità pari a 50 kg/mc.

Nelle stesse 2 figure (Figura 35 e 36) si evidenziano, invece, in arancio le vele fonoassorbenti collocate al fondo della sala realizzate pannelli lignei in MDF fresati e forati, con foratura passante (Tipo Fantoni 4akustik 13/3) con retrostante materassino in fibra di poliestere dello spessore di 70mm e densità pari a 50 kg/mc.

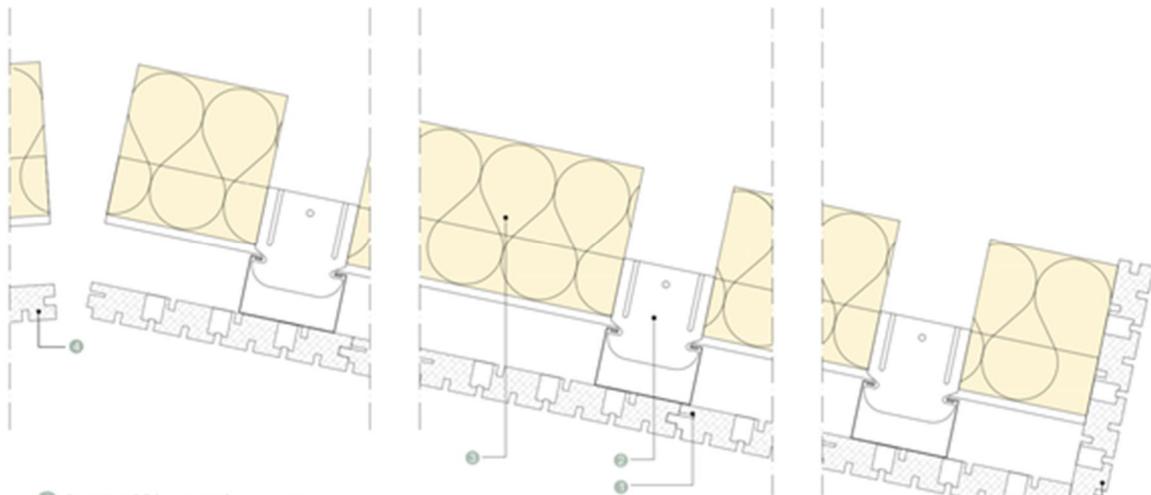
Di seguito si riportano i dettagli delle vele diffondenti e di quelle fonoassorbenti.

Vele diffondenti auditorium



- 1 Pannello MDF fresato con foratura non passante tipo Fantoni Sp. 16 mm
- 2 Struttura metallica composta da profili metallici a C 27/48 in lamiera d' acciaio zincato da 0,6 mm di spessore:
 - profili primari posti ad interasse 800 mm
 - profili secondari posti ad interasse 300 mm
 - sistema di assemblaggio dell' orditura metallica secondaria longitudinale con la principale trasversale con raccordi in acciaio
 - ganci di sospensione posti ad interasse 600 mm
 - profili perimetrali ad U solidarizzati meccanicamente alle pareti medianti accessori di fissaggio posti ad interasse massimo di 500 mm
- 3 Pannello MDF fresato con foratura non passante tipo Fantoni Sp. 16 mm
- 4 Fibra di poliestere, densità 50 kg/mc, sp. 70 mm
- 5 Pannello MDF fresato con foratura passante tipo Fantoni Sp. 16 mm

Vele fonoassorbenti auditorium



- 1 Pannello MDF fresato con foratura passante tipo Fantoni Sp. 16 mm
- 2 Struttura metallica tipo Gyproc Gyprofile composta da profili metallici a C 27/48 in lamiera d' acciaio zincato da 0,6 mm di spessore:
 - profili primari posti ad interasse 800 mm
 - profili secondari posti ad interasse 300 mm
 - sistema di assemblaggio dell' orditura metallica secondaria longitudinale con la principale trasversale con raccordi in acciaio
 - ganci di sospensione posti ad interasse 600 mm
 - profili perimetrali ad U solidarizzati meccanicamente alle pareti medianti accessori di fissaggio posti ad interasse massimo di 500 mm
- 3 Fibra di poliestere, densità 50 kg/mc, sp. 70 mm
- 4 Pannello MDF fresato con foratura non passante tipo Fantoni Sp. 16 mm
- 5 Pannello MDF fresato con foratura passante tipo Fantoni Sp. 16 mm

10 VERIFICA DELLA QUALITÀ ACUSTICA DELLA SALA REGIA

La progettazione di questo spazio verte sulla creazione di un ambiente acusticamente neutro ossia:

1. che non introduca, per quanto possibile, alterazioni nella struttura della risposta all'impulso.
2. Che abbia un controllo delle basse frequenze. L'ambiente di regia ha volume piccolo e dunque se non trattato potrebbe avere risposta critica alle basse frequenze, ovvero potrebbero esistere modi di risonanza che rendono la risposta dell'ambiente non omogenea.
3. In cui il rumore esterno, connesso alla presenza di impianti all'esterno, canali dell'aria che attraversano l'ambiente e, all'interno, di rack contenenti i dispositivi (computer, mixer, amplificatori etc) sia reso compatibile con la destinazione d'uso.

Le indicazioni che emergono dalle particolari esigenze progettuali definiscono uno spazio adeguato alla destinazione d'uso ed in ultima analisi ai requisiti richiesti.

Obiettivo dei prossimi paragrafi sarà, quindi, la realizzazione di uno spazio simmetrico, controllato alle basse frequenze e nel quale saranno ridotte le colorazioni timbriche mediante la diffusione del suono e infine, in relazione al rumore di fondo, esso sia minimizzato per consentire un adeguato livello di comfort.

10.1 RIDUZIONE DEI MODI DI RISONANZA: DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA DEGLI AMBIENTI

Come detto, alcune frequenze vengono esaltate da particolari rapporti di forma degli ambienti, tuttavia si può, con una accurata progettazione a priori, determinare la geometria che rende ottimale la distribuzione di tali frequenze. Si riportano in Tabella 7 le dimensioni, per la sala, che rendono minimi i modi di risonanza e definiscono il guscio fonoisolante su cui distribuire le superfici fonoassorbenti e diffondenti.

Tabella 7 - Sala Regia - Dimensioni ottime per la riduzione delle risonanze degli ambienti

Dimensione		Sala Regia
W	[m]	3.17
L	[m]	5.40
H	[m]	3.45
Sup. pavimento	[mq]	17
Sup. soffitto	[mq]	17
Sup. pareti	[mq]	59
Volume	[mc]	37

Per definire il comfort acustico all'interno della sala si valutano i rapporti di forma fra le dimensioni longitudinale e trasversale della planimetria confrontati con l'altezza dell'ambiente. Le dimensioni favorevoli del rapporto fra la lunghezza e l'altezza e fra la larghezza e l'altezza, per i piccoli ambienti, sono indicate nel grafico successivo (Figura 33). Tale rapporto, seppur specifico per sale di forma regolare, fornisce indicazioni circa i valori ottimali fra i rapporti dimensionali e fornisce una prima evidenza circa le possibili criticità connesse al comportamento acustico dello spazio alle basse frequenze (inferiori a 150 Hz) e sulla necessità di utilizzare elementi assorbenti nel caso emergano particolari risonanze modali (frequenze nella gamma bassa) che devono essere particolarmente smorzate.

In questa fase, partendo dalle dimensioni estratte dal progetto architettonico, si determinano i rapporti di forma:

	L [m]	W [m]	H [m]
Dimensione	3.17	5.40	3.45
Rapporti	0.9:1	1.6:1	1.0:1

Nel grafico di Figura 33 sono riportanti i rapporti fra le dimensioni delle sale considerati favorevoli, il punto rosso indica dove si trova la sala in oggetto considerando i rapporti fra le sue dimensioni geometriche. Come si può evincere dall'osservazione del grafico, i rapporti di forma risultano prossimi all'area ottimale, sono necessari quindi i seguenti elementi correttivi per riportare l'ambiente al comportamento ottimo:

1. Elementi diffondenti per aiutare il suono a "circolare" nell'ambiente
2. Elementi fonoassorbenti per limitare le risonanze modali

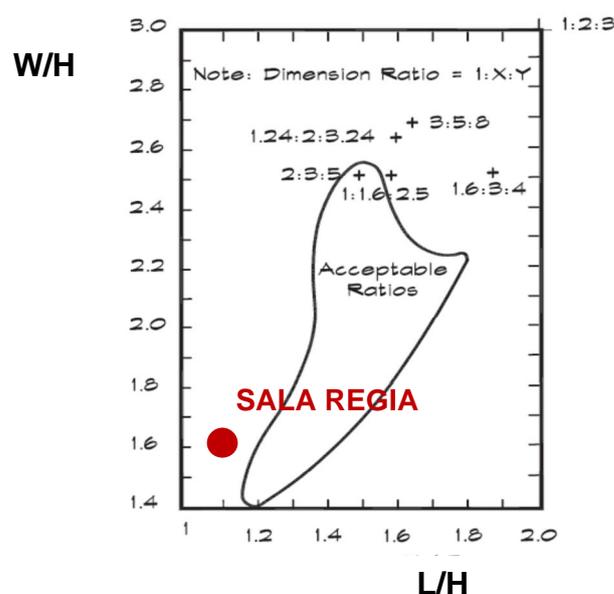


Figura 33 Sala regia: grafico riportante i rapporti ottimali di forma

La progettazione acustica dei corretti trattamenti, ci permette, quindi, di ottimizzare l'ambiente caratterizzato da una qualità acustica adeguata alla destinazione d'uso pur partendo da rapporti dimensionali che senza l'ausilio dei trattamenti acustici non garantirebbero una perfetta circolazione del suono all'interno dell'ambiente.

10.2 FORMA DELL'AMBIENTE

Come detto per l'auditorium, la presenza di superfici parallele contribuisce a ridurre la qualità del suono percepito alle alte frequenze in un ambiente, esse infatti generano riflessioni multiple che possono produrre, soprattutto nelle sale prove e registrazione, fastidiosi effetti di eco.

Per evitare il crearsi degli effetti di eco multiple in sede di progetto è possibile modificare la geometria e l'inclinazione delle pareti oppure inserire correttori a parete e creare una terminazione anecoica inserendo le opportune unità assorbenti.

Utilizzando l'approccio indicato al secondo punto, il sistema controsoffitto-pavimento e fronte-retro, suscettibili del fenomeno delle riflessioni, devono essere trattati mediante l'applicazione di elementi fonoassorbenti / diffondenti. C'è comunque da precisare che esiste una naturale diffusione prodotta dagli oggetti posizionati a pavimento, siano essi strumenti musicali o elementi d'arredo (tavoli, sedie, rack, etc.).

In particolare, nei prossimi paragrafi, saranno definiti i trattamenti acustici da posizionarsi a parete ed a soffitto al fine di ridurre il possibile fenomeno delle riflessioni fra pavimento e solaio superiore.

Al fine di riflettere le basse frequenze, invece, le superfici devono essere di dimensioni comparabili rispetto alla lunghezza d'onda, o l'onda acustica tenderà a non "percepirli" come elementi riflettenti. Per evitare problemi di risonanze alle basse frequenze, dovute anche alle riflessioni del suono prodotte da grandi superfici quali vetrate o porte di accesso, si dovranno introdurre appositi elementi (rispetto alla planimetria) in posizioni definite e dipendenti dalla distribuzione dell'energia sonora, generalmente collocati sui vertici o spigoli delle superfici da trattare.

In relazione agli elementi diffondenti, che possono essere collocati a parete o a soffitto, al fine di realizzare l'argomento controllato delle riflessioni sonore, essi devono essere disposti in modo tale da realizzare una schiera di elementi che agiscano su una ben precisa gamma di frequenze in funzione della dimensione degli elementi e della distanza reciproca tra gli stessi. Secondo questo approccio si otterrà una sala neutra sull'intera gamma di frequenze ovvero si preserverà parte dell'energia sonora prodotta per contribuire ad una migliore percezione nell'ascolto da parte del tecnico del suono anche durante diverse ore di utilizzo della sala.

10.3 TRATTAMENTI ACUSTICI DELLA SALA REGIA

La sala regia è la postazione del tecnico del suono che deve in ogni momento controllare e coordinare l'attività delle sale di registrazione, il requisito fondamentale è, quindi, l'alta qualità del suono in tale ambiente, inteso come percezione distinta del suono per tutte le frequenze e per la massima dinamica possibile, da livelli sonori bassi a livelli elevati.

Il principio progettuale è basato principalmente sulla simmetria della sala e sul controllo delle riflessioni prodotte dalle pareti, dai vetri e dagli arredi presenti. Si determina, quindi, una forma tale per cui alla postazione di lavoro del tecnico del suono siano minimizzate le prime riflessioni, sia in termini di intensità del suono, sia come ritardi relativi.

In sede di progetto, quindi, si è posta attenzione all'impiego di materiali con differenti proprietà fonoassorbenti per le superfici laterali e superiori. Per quanto riguarda la distribuzione del campo sonoro, sono stati collocati nel lato retrostante la postazione di lavoro elementi diffondenti il suono che hanno la funzione di "rompere" i fronti d'onda sonori che arrivano dagli altoparlanti senza assorbirli, questa ridiffusione permette di ottenere un campo sonoro più definito e di non introdurre sbilanciamenti in frequenza.

Concludendo, i principi progettuali descritti, si esplicitano nei punti seguenti:

- *Posizionamento degli elementi acustici:* la parte frontale (lato finestra che si affaccia sull'auditorium) è prevalentemente fonoassorbente, la parte posteriore dell'ambiente è prevalentemente diffondente
- *tipo di ascolto stereofonico:* il sistema di altoparlanti ipotizzato è costituito da 2 canali frontali, destro e sinistro. Si definisce quindi un "triangolo" i cui 2 vertici superiori sono gli altoparlanti ed il terzo vertice è la posizione del tecnico del suono). Questa topologia impone che l'ambiente sia simmetrico per garantire la massima correttezza nella riproduzione della "scena sonora" che il tecnico desidera impostare.

In base alle specifiche sopra riportate, al fine di ottimizzare lo spazio della sala regia, si è determinata la distribuzione degli elementi di seguito indicata, che rispondono ai vincoli di progetto e garantiscono un buon comfort all'interno dell'ambiente.

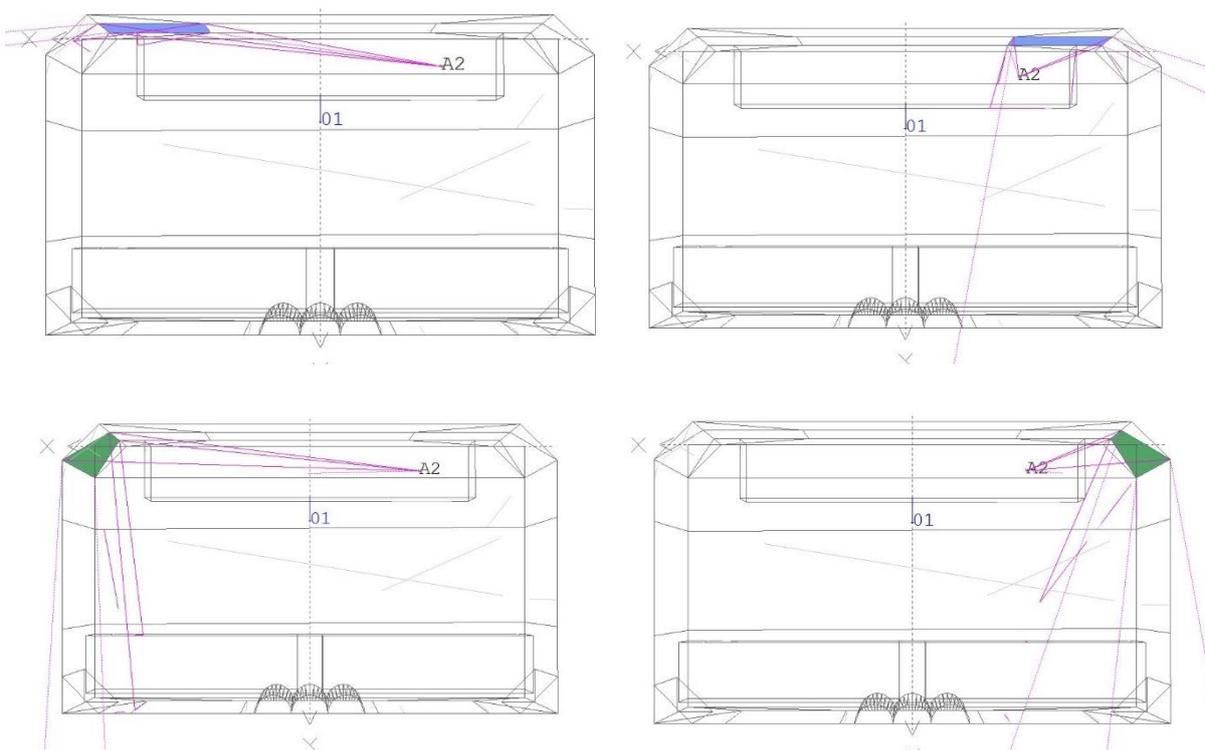
Per il progetto è riportato nelle immagini seguenti sono rappresentative del processo di studio eseguito per la definizione degli elementi della sala regia e costituiscono una rappresentazione schematica dello spazio definita per effettuare le analisi acustiche necessarie.

10.3.1 Analisi delle riflessioni e definizione delle caratteristiche di assorbimento acustico

Premesso che la forma della sala regia in pianta e in sezione riflette l'impostazione descritta al paragrafo precedente in termini di simmetria, posizionamento del sistema di altoparlanti e minimizzazione delle riflessioni in relazione alla postazione del tecnico del suono, si procede a descrivere l'analisi sistematica delle riflessioni sonore effettuata sia per le pareti verticali, sia per il soffitto. Tale studio è stato realizzato per determinare le caratteristiche acustiche da attribuire alle singole superfici.

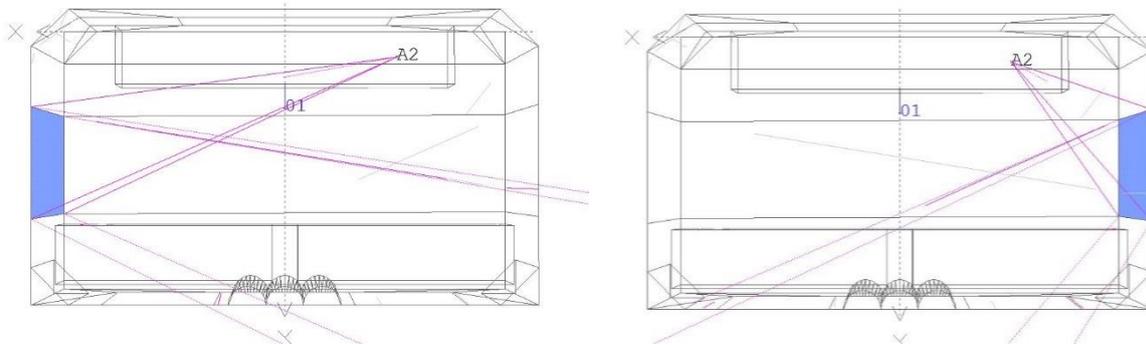
ANALISI DELLE RIFLESSIONI DELLE PARETI FRONTALI

Si stabiliscono le estensioni delle superfici fonoassorbenti necessarie al fine di ridurre l'energia sonora che incide sulla postazione di ascolto. Le prime riflessioni prodotte dal diffusore destro sono calcolate per gli elementi frontali della sala: l'energia riflessa può produrre riflessioni forti e molto ravvicinate rispetto al suono diretto proveniente dagli altoparlanti, effetto che si traduce in una "colorazione" del suono, ovvero in una distorsione dello spettro sonoro dovuta ad esaltazioni o riduzioni di determinate frequenze.



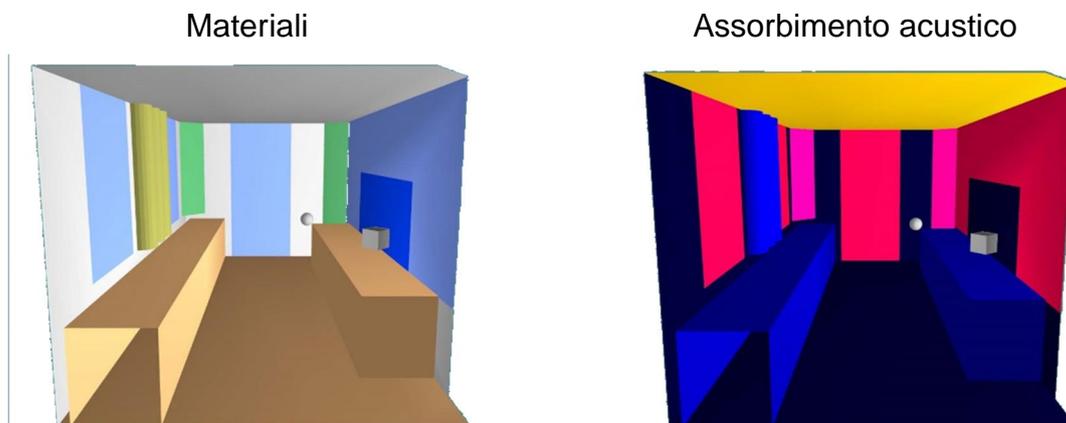
ANALISI DELLE RIFLESSIONI DELLE PARETI LATERALI

Si stabiliscono le estensioni delle superfici da trattare con materiali fonoassorbenti per la riduzione dell'energia sonora che può produrre echi multipli per le pareti contrapposte.



ANALISI DELLE RIFLESSIONI DEL SOFFITTO

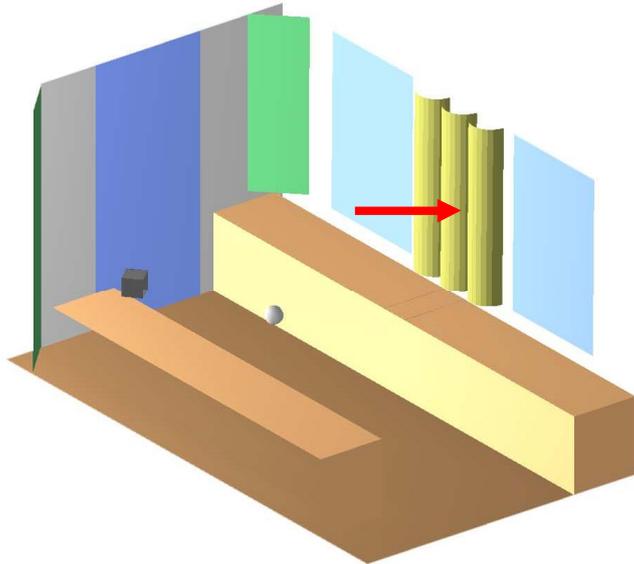
Si stabiliscono le proprietà delle superfici da trattare con materiali fonoassorbenti per la riduzione dell'energia sonora che incide sulla postazione di ascolto. L'immagine a sinistra riporta una resa tridimensionale della sala con i colori attribuiti ai materiali, l'immagine a destra riporta una resa tridimensionale della sala con i colori attribuiti all'assorbimento acustico delle superfici (colore più chiaro significa superficie assorbente)



Il soffitto definisce una ampia superficie parallela rispetto al pavimento (ossia insorgenza di *flutter echoes*), considerata l'esigenza di avere un cavedio per incrementare le unità assorbenti alle basse frequenze (frequenze inferiori a 150 Hz) si definisce tale superficie come assorbente acusticamente.

ANALISI DELLE RIFLESSIONI DELLA PARETE RETROSTANTE LA POSTAZIONE DI ASCOLTO

Si stabiliscono le estensioni delle superfici da trattare con materiali diffondenti per la redistribuzione dell'energia sonora all'interno dello spazio: la figura seguente indica la posizione degli elementi che realizzano tale funzione.



Gli elementi diffondenti della sala regia devono essere collocati sul retro della postazione del tecnico così come stabilito e riportato negli elaborati grafici di dettaglio di Figura 35.

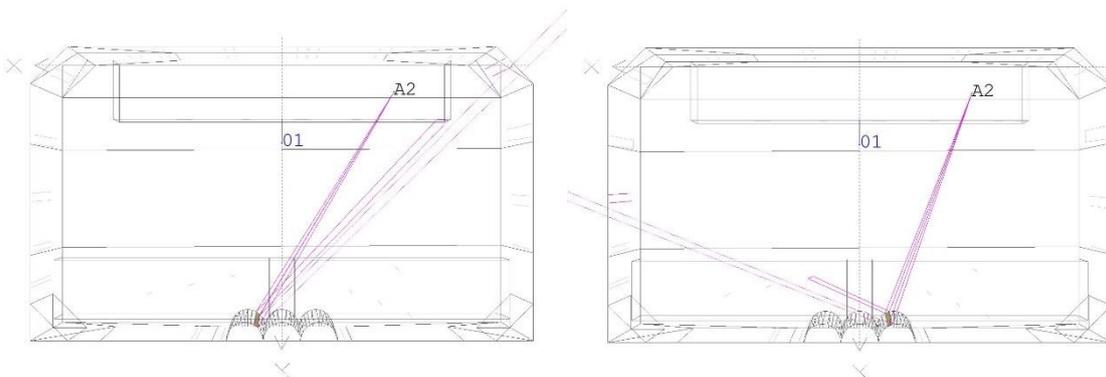


Figura 34 - Vista laterale del modello schematico ed analisi degli elementi diffondenti

L'analisi effettuata ha determinato i vincoli relativi alle caratteristiche acustiche delle superfici da trattare, la scelta del tipo di elemento fonoassorbente e diffondente, la sua dimensione e la sua esatta collocazione per ottenere il risultato previsto.

I correttori acustici definiti nel paragrafo 11 "Funzione degli elementi utilizzati per i trattamenti acustici" che permettono di soddisfare i vincoli imposti dovranno essere

realizzati così come descritto e dovranno essere collocati come riportato nella planimetria e nelle sezioni seguenti (Figure 35 e 36).

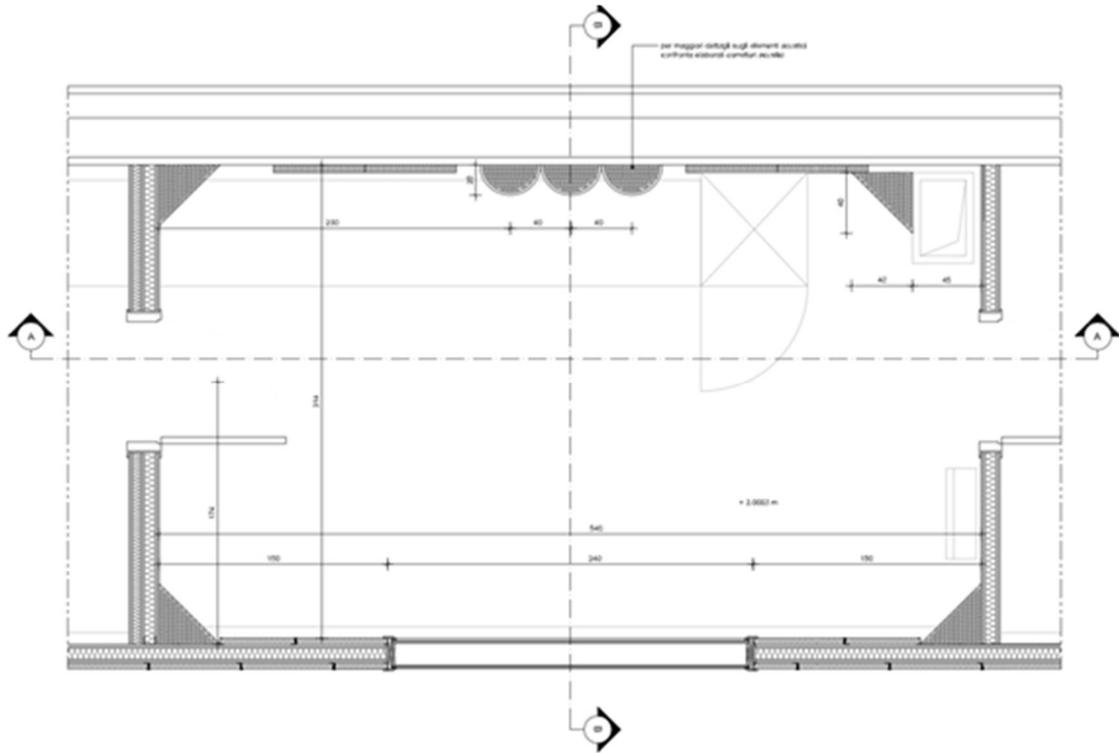


Figura 35 - Sala regia - Planimetria e disposizione elementi per il condizionamento acustico

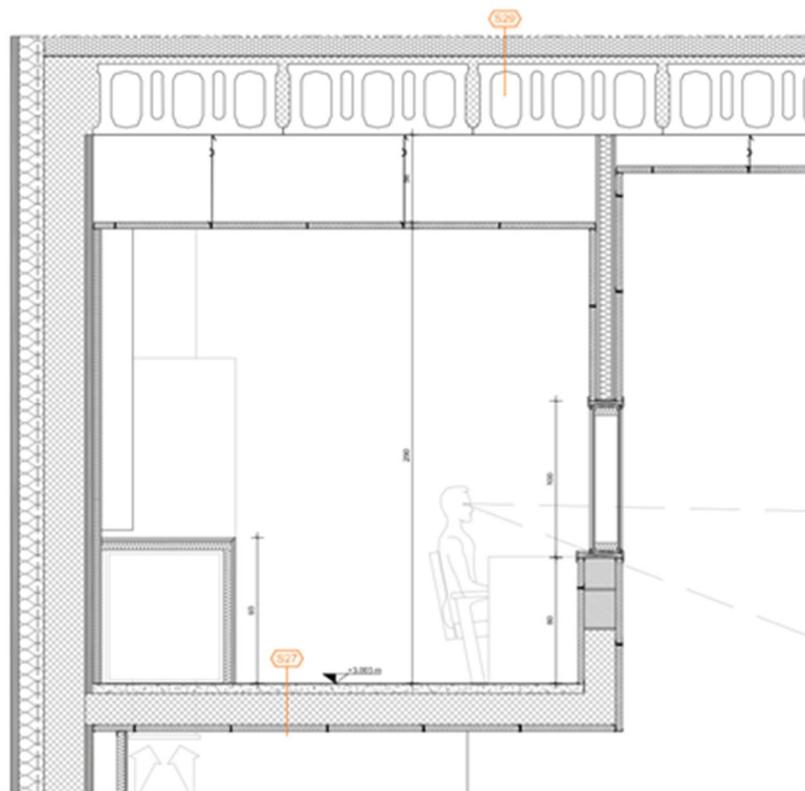


Figura 36 - Sala regia È Sezione trasversale e dettaglio degli elementi per il condizionamento acustico

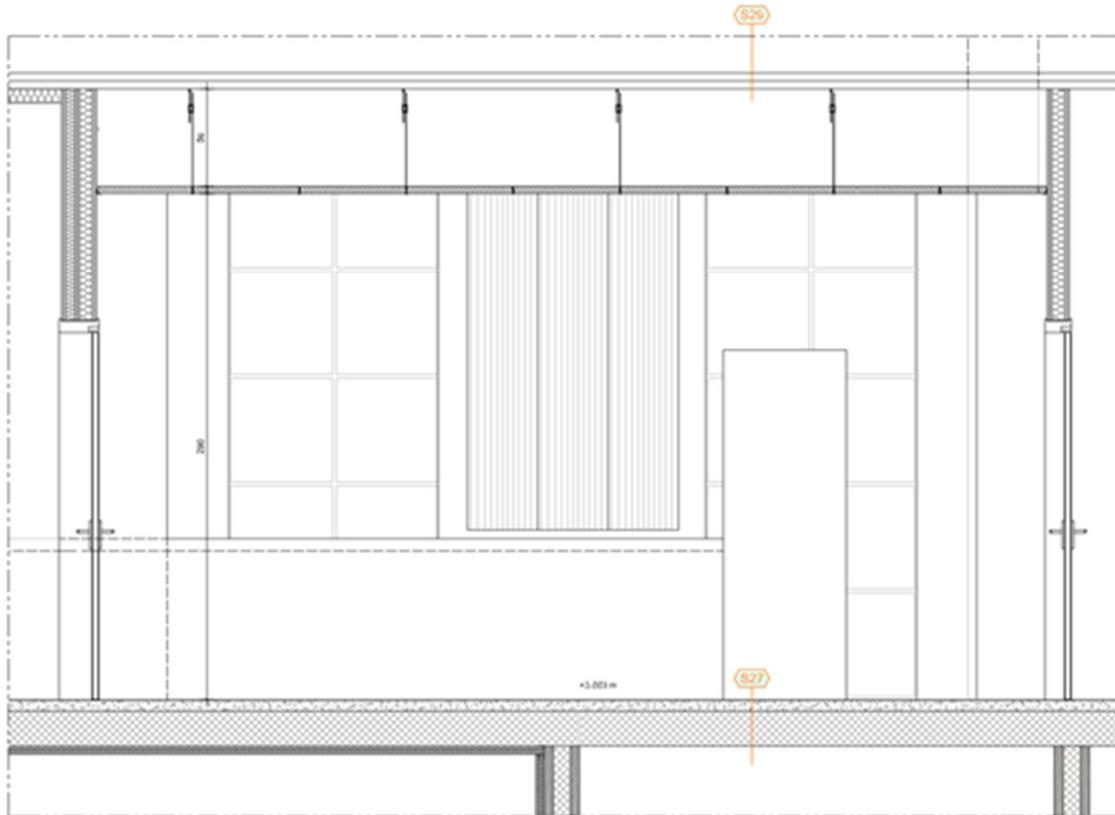
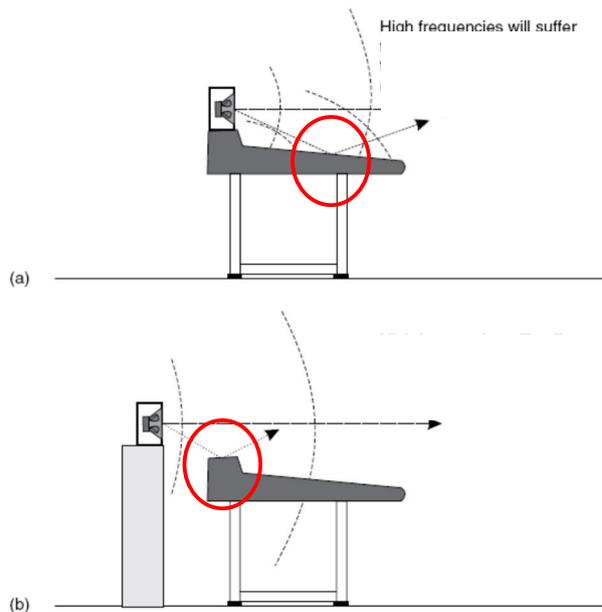


Figura 37 - Sala regia. Sezione longitudinale e dettaglio degli elementi per il condizionamento acustico

10.3.2 Indicazioni sugli altri elementi e sulle attrezzature di studio

Si definiscono gli elementi integrativi per la definizione della sala:

- **pavimento** questo elemento è costituito da linoleum su materiale solido (cemento, etc). L'utilizzo di un tappeto non varia significativamente il comportamento acustico, anzi può contribuire a ridurre le riflessioni dal basso che allo stato attuale sono state bilanciate attraverso la progettazione delle diverse superfici per ottenere la migliore qualità acustica per lo spazio.
- **porte di accesso:** le porte di accesso della sala regia verso il vano scale e verso il locale tecnico garantiscono un elevato grado di isolamento con un potere fonoisolante minimo richiesto almeno pari a $R_w^- 38$ verso il vano scala e $R_w^- 50$ dB.
- **disposizioni degli altoparlanti in rapporto al banco mixer:** si indicano, nelle immagini seguenti, due possibili posizionamenti degli altoparlanti (monitor), generalmente sollevati rispetto al piano del mixer o del piano di lavoro. Come detto, gli altoparlanti, in relazione alla posizione del tecnico, producono delle riflessioni che possono rinforzare la sensazione sonora o "colorare" lo stesso: gli schemi proposti suggeriscono una collocazione possibile ed una invece ottimale degli altoparlanti.



Posizione del diffusore:

SOLUZIONE MENO EFFICACE - le riflessioni sulla superficie del mixer possono generare riflessioni che "interferiscono" con il suono diretto (raggio sonoro che dal diffusore va alle orecchie del tecnico)

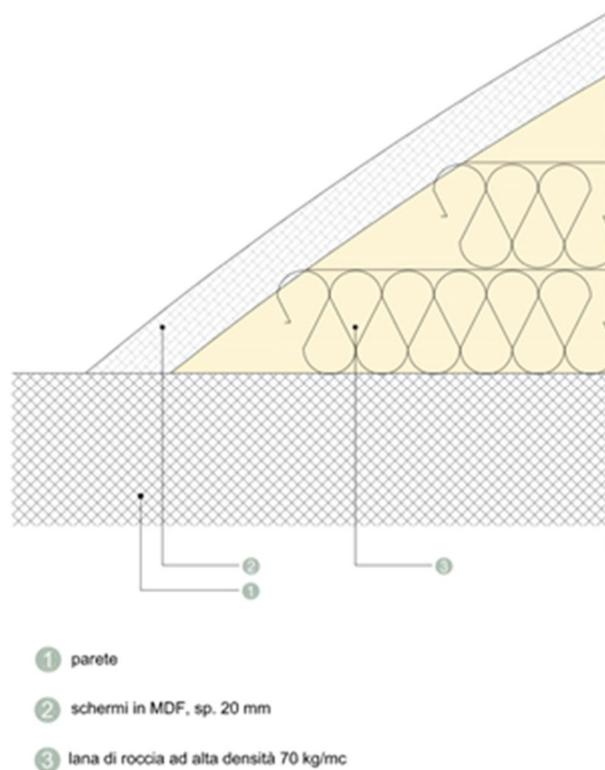
SOLUZIONE PIU' EFFICACE - le riflessioni sono prodotte dalla parte superiore del mixer e "interferiscono" in maniera minore con il suono diretto

- **Rumore prodotto dalle attrezzature di studio:** cura deve essere posta nel posizionamento delle attrezzature utilizzate per la produzione musicale per minimizzare il rumore prodotto. A titolo di esempio il computer a torre deve essere chiuso in armadietti che garantiscano un potere fonoisolante $R_w \sim 15$ dB, compatibilmente con i requisiti di dissipazione termica dello stesso e possibilmente allontanato dalla posizione di ascolto.
- **Caratteristiche elettroacustiche del sistema di diffusione sonora:** le caratteristiche dei diffusori dovranno essere definite in funzione dello spazio progettato. E' possibile indicativamente dare alcune caratteristiche dei diffusori che possono essere di tipo *near field* collocabili su stand oppure di tipo *bookshelf*.

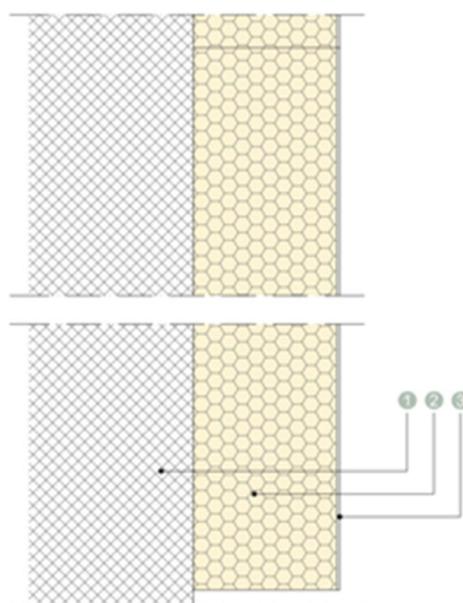
11 PROGETTAZIONE ACUSTICA DELLA SALA REGIA

Si descrivono le proprietà e la funzione generale dei trattamenti acustici fonoassorbenti e diffondenti definiti che possono essere:

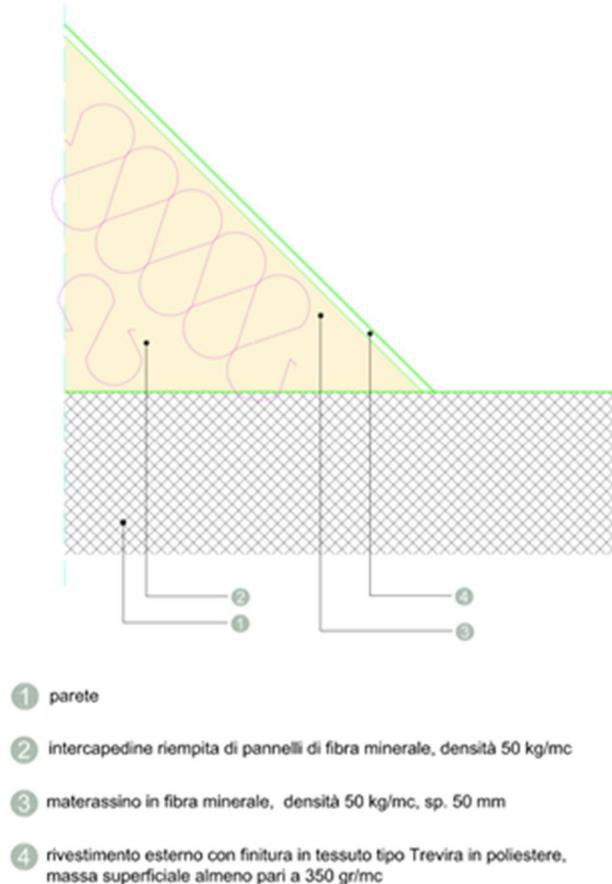
- **Pannello diffondente in legno da collocarsi sulla parete della sala regia alle spalle del regista:** i moduli diffondenti cilindrici per il controllo delle riflessioni permetteranno di ridiffondere uniformemente l'energia sonora che incide su di essi da qualsiasi direzione essa provenga. La dimensione complessiva dei moduli dovrà essere pari a diametro 40cm e altezza 195cm, realizzati in pannelli in legno curvo costipati all'interno da lana di vetro con densità pari a 70 kg/mc. Il sistema dovrà essere provvisto di appositi ganci per il fissaggio a parete.



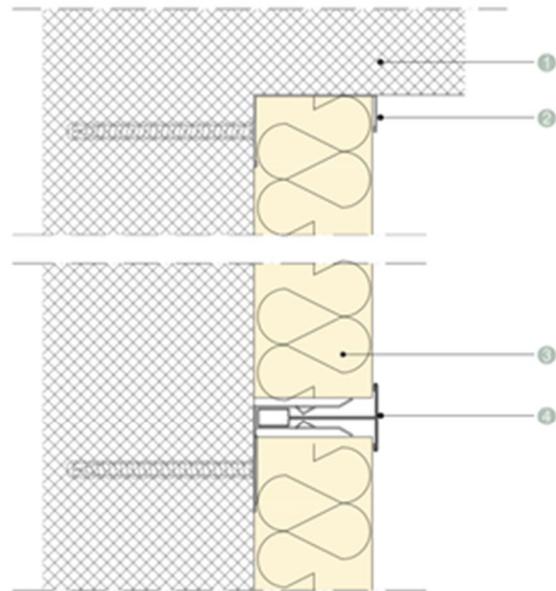
- **Assorbitori a larga banda in tessuto collocati a parete:** costituiti da pannelli fonoassorbenti composti da materassino in fibra minerale dello spessore di 50mm e densità pari a 60 kg/mc provvisti di cornice di supporto in legno (50 x 50 mm) e rivestiti esternamente con finitura in tessuto tipo Trevira in poliestere, massa superficiale almeno pari a 350 gr/mq. Tali elementi dovranno essere collocati all'interno della sala di registrazione e, la esatta posizione in cui dovranno essere collocati è specificata all'interno degli elaborati grafici di progetto. Il sistema dovrà essere provvisto di appositi ganci per il fissaggio a parete.



- **Assorbitori a bassa frequenza angolari con intercapedine riempita di fibra minerale:** costituiti da pannelli fonoassorbenti a tutta altezza composti da materassino in fibra minerale dello spessore di 50mm e densità pari a 50 kg/mc con retrostante intercapedine riempita di pannelli in fibra minerale anche essi dello spessore di 50mm e con densità pari a 50 kg/mc, montati su struttura di supporto e sostegno ancorata alla struttura di rivestimento principale e rivestiti esternamente con finitura in tessuto tipo Trevira in poliestere, massa superficiale almeno pari a 350 gr/mq. La esatta posizione in cui sono collocati all'interno della sala regia è quella specificata all'interno degli elaborati grafici di progetto.

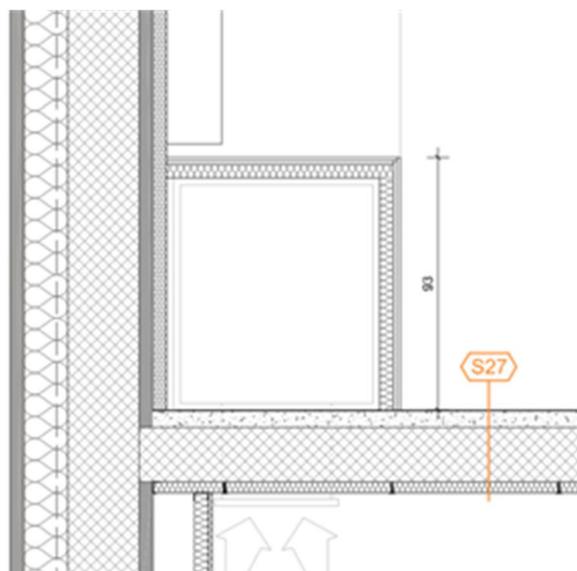


- **Pannelli fonoassorbenti collocati a parete (parete verso auditorium) e a soffitto:** costituiti da pannelli fonoassorbenti composti da materassino in fibra minerale dello spessore di 40mm e densità pari a 80 kg/mc provvisti di velovetro verniciato tipo Rockfon Ekla. Tali pannelli a parete dovranno essere montati in aderenza (immagine seguente) mentre a soffitto dovranno essere montati in modo da garantire un'intercapedine di almeno 560mm.



- ① parete
- ② profilo a J fissato alla parete dalla parte del suo lato più lungo
- ③ pannello tipo Rockfon Eklia TH40 colore bianco, sp. 40 mm
- ④ profilo orizzontale 24 mm inserito nella staffa di fissaggio a T

- **Partizione di chiusura del cavedio per il passaggio dei condotti in sala regia:** i condotti che passano sulla parete della sala regia opposta a quella posta a separazione con l'auditorium saranno racchiusi in un cavedio caratterizzato da un elevato potere fonoisolante (R_w almeno pari a 35 dB) realizzato con doppia lastra di cartongesso ad alta densità (densità pari a 1000 kg/mc) e spessore 12,5+12,5mm con posto all'interno del cavedio un materassino di fibra di vetro spessore 50mm e densità 50 kg/mc.



I dettagli costruttivi, adattati ad ogni singolo ambiente saranno riportati negli elaborati architettonici.

12 RUMORE INTERNO DEGLI IMPIANTI TECNOLOGICI

L'auditorium è costituito da un fabbricato di due piani connesso all'edificio scolastico mediante l'atrio: in figura 44 è indicata la posizione del fabbricato, riferita al complesso scolastico, che sarà oggetto delle valutazioni sulla rumorosità del presente capitolo, così come riportato nella relazione specifica relativa all'auditorium.

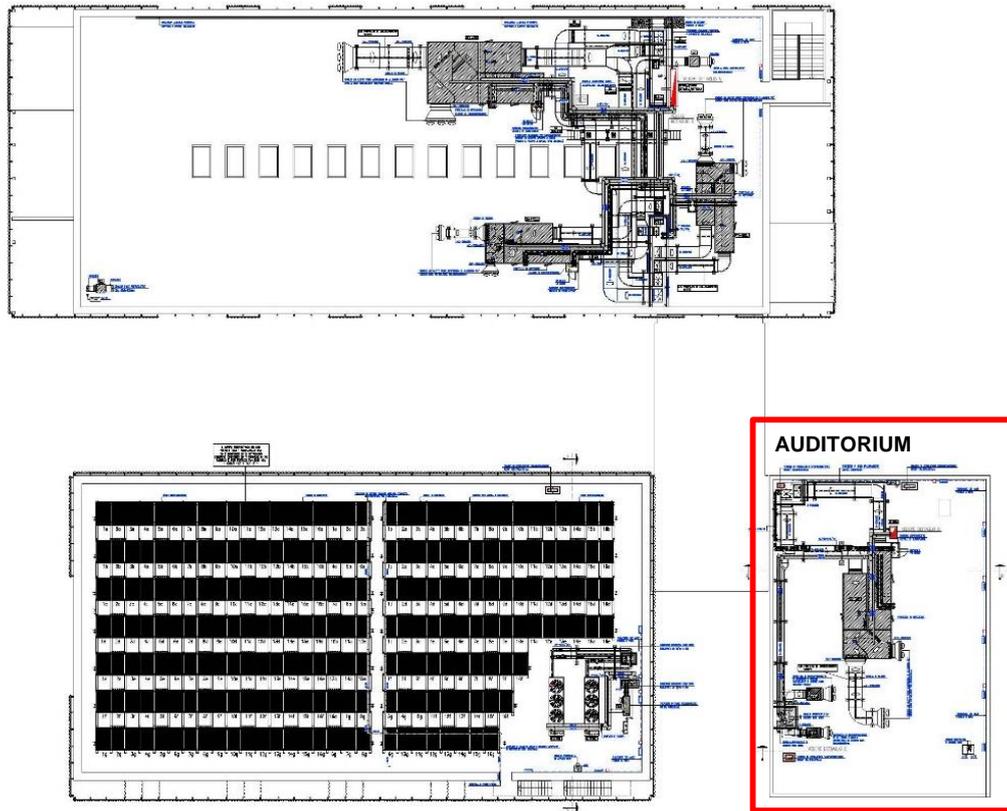


Figura 44: AUDITORIUM - Copertura del fabbricato e area destinata alle macchine di climatizzazione e ventilazione

Le macchine per la climatizzazione, per la ventilazione e per l'aspirazione dell'aria a servizio degli ambienti interni sono collocate sulla copertura del fabbricato (centrali di trattamento aria CTA) ad esclusione delle unità di ventilazione VE8 collocata nel retropalco chiuso e dell'unità di recupero calore UR02 posta nell'area deposito nel retro del palco.

Si precisa che l'identificativo (marca e modello della macchina) riportato sia in allegato, sia nei paragrafi seguenti, è indicativo della macchina í tipoŕ utilizzata quale base per i calcoli e tutte le unità descritte devono, laddove esplicitamente definiti, rispettare le prescrizioni acustiche riportate.

12.1 IMPIANTO DI CLIMATIZZAZIONE (RUMORE PRODOTTO DALL'UNITÀ DI RECUPERO CALORE)

In relazione al rumore prodotto dalle unità in funzione, si specifica che l'unità di recupero calore UR02 è posizionata nel retropalco. Le caratteristiche di emissione sonora dell'unità presa a riferimento in quanto tipologica sono riportate in dettaglio nell'allegato A ed è qui espressa come portata d'aria e livello di potenza sonora complessiva L_w che sono riportate nella tabella seguente.

unità di recupero calore UR02

TIPOLOGIA	PORTATA ARIA	Livello di potenza sonora L_w
	m^3/h	dB(A)
A	700	56

Nella planimetria seguente (Figura 45) si indica la posizione dell'unità prevista e nella Figura 46 le bocchette di mandata e ripresa, collocate ad una quota inferiore.

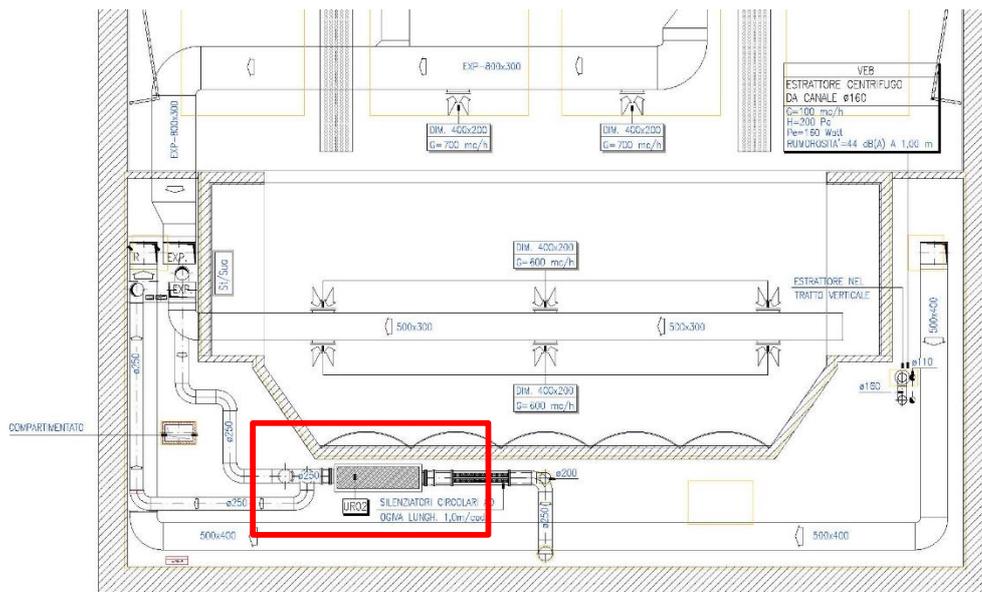


Figura 45: Deposito parte alta. È disposizione dell'unità di recupero UR02, posizione della macchina e passaggio dei canali

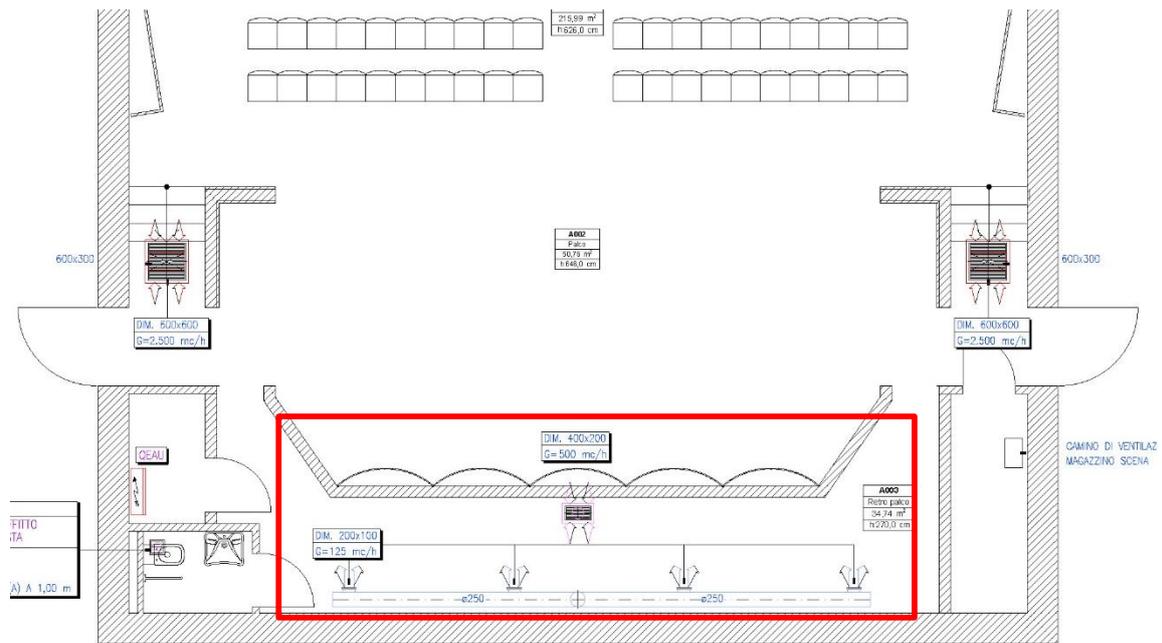


Figura 46: Deposito parte bassa e bocchette di mandata e ripresa dell'unità di recupero UR02

12.1.1 Prescrizioni per la minimizzazione del rumore per l'unità di recupero calore UR02

Data la vicinanza con il palcoscenico dell'Auditorium e non essendoci chiusure dirette è necessario avere un valore massimo ammesso in relazione ai livelli di potenza sonora da attribuire ai canali di mandata e ripresa, indicati nello schema seguente. Ovvero è necessario inserire silenziatori passivi integrativi sulle bocche di mandata e ripresa verso i canali onde evitare condizioni di rumorosità della macchina che possa portare al mancato rispetto dei requisiti minimi (a titolo di esempio il componente è indicato in figura 47).

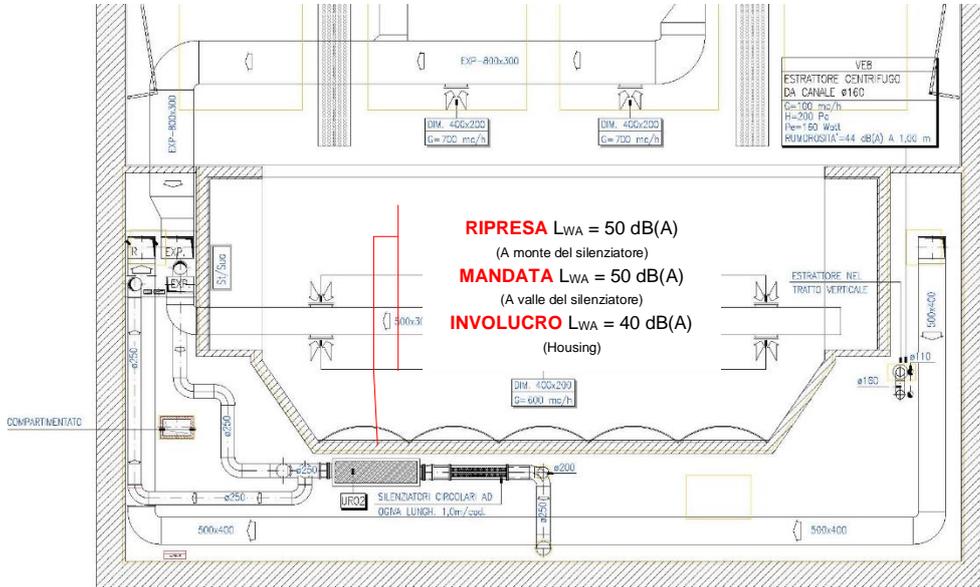


Figura 47: silenziatore dissipativo circolare

Le attenuazioni minime che i silenziatori indicati devono garantire devono essere le seguenti

Unità	UR02
Canale MANDATA	Silenziatore TIPO 5
Canale RIPRESA	Silenziatore TIPO 5

Livelli di potenza sonora massimi ammessi



Attenuazione minima silenziatore canali MANDATA / RIPRESA - TIPO 5

Frequenza	Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Attenuazione	dB	7	12	25	38	42	44	29	22

Attenuazione stimata con le seguenti caratteristiche della macchina presa ad esempio:

Potenza sonora ventilatore MANDATA $L_{wA,mandata} = 67 \text{ dB(A)}$

Potenza sonora ventilatore RIPRESA $L_{wA,ripresa} = 67 \text{ dB(A)}$

N.B. Indipendentemente dalle scelte costruttive fatte rispetto alle macchine ed al tipo di silenziatore da applicare, l'impianto dovrà garantire dei livelli di potenza (L_w) pari a:

- **RIPRESA: $L_w = 50.0 \text{ dB(A)}$ a monte silenziatore**
- **MANDATA: $L_w = 50.0 \text{ dB(A)}$ a valle silenziatore**
- **INVOLUCRO: $L_{w(housing)} = 40 \text{ dB(A)}$**

Per il rispetto del requisito acustico di rumorosità nell'ambiente sottostante è necessario incrementare l'attenuazione dell'involucro dell'unità UR02: l'incremento del potere fonoisolante si ottiene con la realizzazione di un guscio con potere fonoisolante almeno pari a 30 dB che chiude le parti metalliche della stessa senza ostacolare la circolazione d'aria, tale chiusura è costituita da una stratificazione avente massa superficiale maggiore di 15 kg/m² (ad esempio due lastre di cartongesso 13 mm e lana minerale 50 Kg/m³ e spessore maggiore di 25 mm- sul lato rivolto verso la macchina - come indicato in Figura 48)

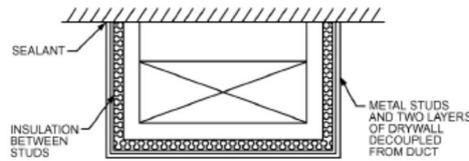


Figura 48: esempio di isolamento acustico del corpo macchina

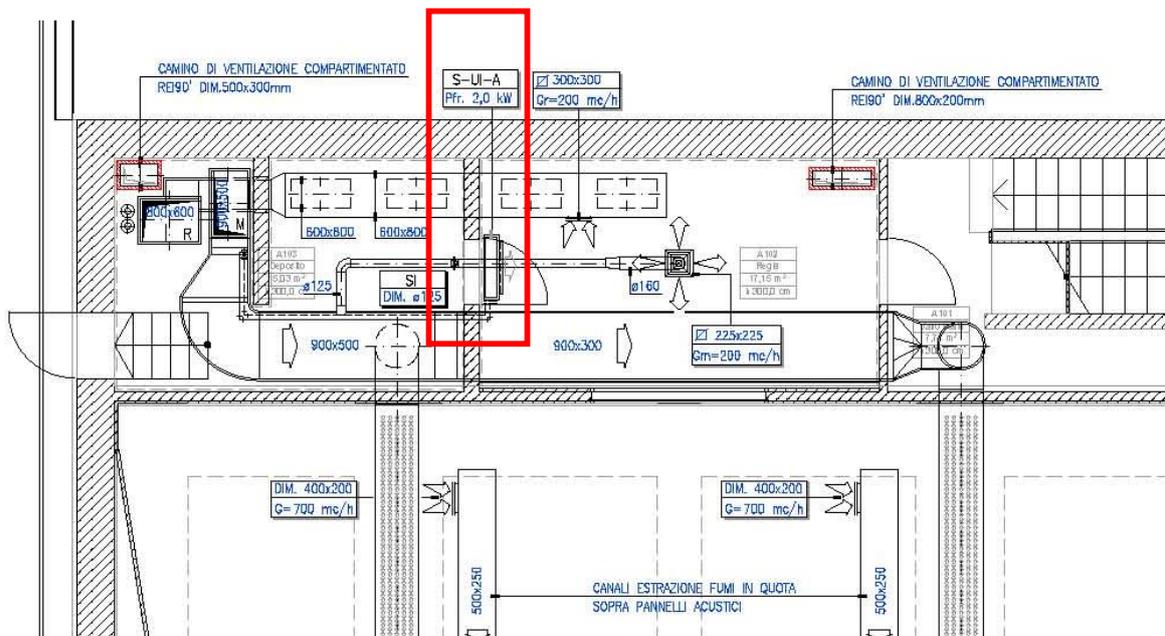
12.2 IMPIANTO DI CLIMATIZZAZIONE (RUMORE PRODOTTO DAI VENTILCONVETTORI)

Il ventilconvettore è del tipo verticale ed è collocato in sala regia, le informazioni relative all'unità sono estratte dalla scheda di progetto. Le caratteristiche di emissione sonora dell'unità sono riportate in dettaglio nella tabella seguente, si precisa che la selezione è relativa al tipo A: viene qui riportata la portata d'aria, il livello di pressione sonora complessiva L_w della famiglia di ventilconvettori considerata a progetto.

Ventilconvettore unità esterna/interna SALA REGIA

CARATTERISTICHE DI FUNZIONAMENTO					
- Temperatura esterna minima		-10 °C			
- Temperatura esterna massima		43 °C			
Prestazioni valutate alla terza velocità:					
Condizione Estiva		T interna: 24°C		T esterna: 35°C	
Condizione Invernale		T interna: 20°C		T esterna: 7°C	
Grandezza	Portata aria unità interna mc/h	Resa frigorigena kW	Resa (*) termica kW	Rumorosità unità interna dB (A)	Rumorosità unità esterna dB (A)
A	390	2,0	2,5	34	52
B	430	3,0	4,0	37	52
C	700	4,0	5,0	42	56
D	780	5,0	6,0	42	56

Nella planimetria in figura si riporta la planimetria della sala regia e l'indicazione della posizione dell'unità prevista, indicata come S-UI-A.



Sala regia È disposizione del ventilconvettore a soffitto S-UI-A

Il paragrafo seguente riporta le prescrizioni specifiche da attuare per la minimizzazione del rumore prodotto dall'unità indicata.

12.2.1 Prescrizioni specifiche per la minimizzazione del rumore del VENTILCONVETTORE S-UI-A

Il ventilconvettore S-UI-A posto in sala regia, definito dalle caratteristiche meccaniche e dalla posizione riportata nelle figure precedenti, deve rispettare il massimo livello di pressione sonora ammissibile per la destinazione d'uso del locale. La sala regia, infatti, ha come requisito un valore massimo di pressione sonora a centro locale, pari a 25 dB(A), si precisa che tale valore non è un vincolo normativo ma costituisce un requisito necessario per la migliore fruizione della sala.

Tenuto conto che il livello di pressione sonora determinato dall'impianto di aria primaria con tutte le prescrizioni attuate, determina un livello di pressione sonora come riportato in tabella.

SALA REGIA - Livello prodotto dall'impianto di aria primaria

Piano	Ambiente	Ambiente	LAeq dB(A)
	nome	codice	
Primo	Regia	A102	24.6

Per il rispetto del requisito acustico di rumorosità in sala regia è necessario quindi considerare, per l'unità di climatizzazione S-UI-A, un livello massimo di pressione sonora a cento ambiente pari a $LA_{eq,max} = 20$ dB(A) ovvero un livello massimo di pressione sonora pari a $LWA_{,max} = 30$ dB(A).

Tale unità deve essere eventualmente sovradimensionata come portata d'aria rispetto al valore di portata d'aria nominale.

12.3 IMPIANTO DI VENTILAZIONE (RUMORE PRODOTTO DALLE UNITÀ DI TRATTAMENTO ARIA E VENTILATORI ESTRAZIONE DELL'ARIA)

Le unità di trattamento aria sono l'oggetto di analisi del presente capitolo e sono descritte nei documenti

- A-04-18 PAN_00_PE_IM_Z_0201-0404-1305-1306_PNT_IAE Impianti.dwg
- A-04-18 PAN_00_IG_Z_1301-03_PNT_SZN_IGE.dwg

La planimetria che riporta integralmente il circuito aeraulico, è riportata in figura 49, l'immagine evidenzia la distribuzione delle canalizzazioni che afferiscono alla copertura in cui è presente la macchina CTA_TA05.

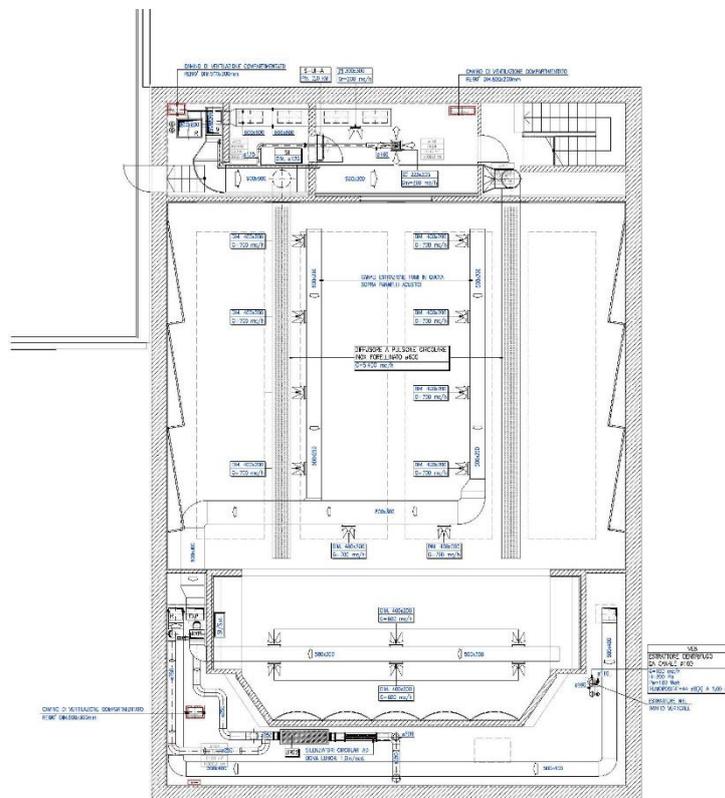


Figura 49: Progetto impianto di climatizzazione, canalizzazioni di mandata e di ripresa dell'aria in sala regia e auditorium

La macchina prevista a progetto presa ad esempio è costituita da una unità di trattamento dell'aria di tipo componibile, codificata come unità CTA riferita ai canali di mandata e ripresa dell'aria e come VE (per gli estrattori di aria) in relazione ai canali di estrazione dell'aria dai servizi igienici.

Le unità previste sono le seguenti, si riportano: l'identificativo macchina, le caratteristiche generali, e le caratteristiche acustiche da attribuire alle bocche di mandata e ripresa.

Caratteristiche generali

Unità	centrale tecnologica - CTA TA05	
ID	CTA TA05	
unità	ZHK Inova DG	
portata aria mandata m ³ /h	11.000	m ³ /h
portata aria espulsa m ³ /h	11.000	m ³ /h

Caratteristiche acustiche

Potenza sonora	Frequenza [Hz]									
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Lw	Lw,A
MANDATA	65.9	70.6	59	58.7	62.2	63.5	69.4	60.3	74.9	72.3
ASPIRAZIONE	67.3	81.2	79.7	74.2	76.4	76.9	85.0	73.2	88.4	87.4
ESPULSIONE	69.9	78.8	76.1	77.7	78.1	75.4	78.4	69.7	85.6	83.8
RIPRESA	59	65.2	53.1	46.3	47.4	51.5	59.9	48.8	67.5	62.2
INVOLUCRO										58.1

I livelli di potenza sonora attribuiti ai canali di mandata e ripresa sono determinati secondo le indicazioni del costruttore riportate in allegato, comprensive di silenziatore dissipativo integrato.

Il livello di potenza sonora attribuito all'involucro è calcolato sulle ipotesi di chiusura ad alto potere fonoisolante, come indicato al capitolo di prescrizioni specifiche per la macchina.

Le voci qui riportate sono dedotte secondo quanto specificato:

- **MANDATA**: è un livello di potenza sonora LwA, espressa in dB/dB(A) per bande di ottava intera. Il dato si calcola dalla sezione della scheda del costruttore ARIA DI MANDATA, sottraendo lo spettro di potenza sonora L_{okt} (voce *Uscita*) della tabella **F**. Aria di mandata. Ventilatore a girante libera allo spettro di attenuazione del Silenziatore S indicato.

- **L_{ASPIRAZIONE}** è un livello di potenza sonora L_{wA}, espressa in dB/dB(A) per bande di ottava intera. Il dato si deduce dalla sezione della scheda del costruttore ARIA DI MANDATA, ed è equivalente allo spettro di potenza sonora L_{okt} (voce *Aspirazione*) della tabella **L_F** . Aria di mandata . Ventilatore a girante libera %
- **L_{ESPULSIONE}** è un livello di potenza sonora L_{wA}, espressa in dB/dB(A) per bande di ottava intera. Il dato si deduce dalla sezione della scheda del costruttore ARIA ESPULSA ed è equivalente allo spettro di potenza sonora L_{okt} (voce *Uscita*) della tabella **L_F** . Aria espulsa. Ventilatore a girante libera %
- **L_{RIPRESA}** è un livello di potenza sonora L_{wA}, espressa in dB/dB(A) per bande di ottava intera. Il dato si calcola dalla sezione della scheda del costruttore ARIA ESPULSA, sottraendo lo spettro di potenza sonora L_{okt} (voce *Aspirazione*) della tabella **L_F** . Aria espulsa. Ventilatore a girante libera % allo spettro di attenuazione del Silenziatore S indicato.
- **L_{INVOLUCRO}** è un livello di potenza sonora L_{wA}, espressa in come livello globale pesato A dB(A). Si deduce dallo spettro di potenza sonora L_{okt} (voce *Aspirazione*) della tabella **L_F** . Aria di mandata . Ventilatore a girante libera % applicando l'attenuazione prodotta da un involucro fonoisolante avente un potere fonoisolante pari a R_w = 27 dB.

Si riportano le informazioni delle unità VE relative alle caratteristiche elettriche ed acustiche, estratte dalla documentazione fornita.

Ventilatori di estrazione dell'aria

ID	Posizione	Modello	Portata / prevalenza	Pot.assorbita [kW]	Livello di pressione sonora
VE8	Retropalco . soppalco chiuso	ILC100	100 mch / 200 Pa	0,065	44 dB(A) a 1m

L'analisi del rumore prodotto dall'impianto di climatizzazione è effettuata sulle informazioni relative alle caratteristiche di emissione sonora delle macchine e delle parti che compongono il circuito aeraulico per i canali di mandata e di ripresa dell'aria (griglie, serrande, diramazioni, etc.).

I paragrafi successivi valutano e prescrivono tutti gli accorgimenti che possono essere adottati per ridurre il disturbo negli ambienti limitrofi ed in generale dove sono presenti elementi suscettibili di produrre emissioni sonore significative (locali più critici, prossimi alle macchine). I punti valutati sono relativi agli aspetti seguenti:

1. rumore che può essere generato in funzione della velocità dell'aria nel circuito aeraulico (cfr. capitolo "prescrizioni generali")
2. rumore prodotto negli ambienti dalle bocchette di mandata e ripresa
3. rumore che fuoriesce dai canali che transitano negli ambienti (rumore di breakout)
4. rumore che fuoriesce dall'involucro delle CTA/VE e ventilconvettori
5. trasmissione delle vibrazioni indotte dal funzionamento delle CTA/VE (cfr. capitolo "prescrizioni generali")

Si osserva che le valutazioni della rumorosità sono effettuate su tutti gli ambienti, la definizione delle misure di mitigazione del rumore sono effettuate in funzione degli ambienti che rappresentano un campione particolarmente rappresentativo in quanto più vicini alle sorgenti di rumore e quindi maggiormente vincolanti rispetto alle caratteristiche acustiche di attenuazione dei componenti da inserire per ridurre i livelli di rumore. **Come detto, si considerano attuate tutte le prescrizioni relative alla rumorosità delle macchine ed alla presenza dei silenziatori sui canali di mandata e ripresa, laddove sono stati indicati, ovvero si prescrive il rispetto dei livelli di potenza sonora L_w a monte dei canali di ripresa e a valle dei canali di mandata così come definito nei capitoli descrittivi delle rispettive macchine.**

12.3.1 Prescrizioni specifiche per la minimizzazione del rumore per le unità CENTRALI DI TRATTAMENTO DELL'ARIA (CTA TA_05)

Premesso che i livelli di potenza sonora qui attribuiti alle unità CTA sono estratti dalle schede tecniche del produttore, si prescrive che per garantire la compatibilità con i requisiti acustici e con le condizioni minime di comfort in tutti gli ambienti valutati la condizione necessaria consiste nella scelta delle macchine nelle versioni silenziate che commercialmente equivale alle versioni per le quali il modello è denominato esplicitamente "low-noise" "super-silenced" per le quali l'emissione sonora attraverso l'involucro e sui canali di ripresa e di mandata dell'aria, bocche di presa d'aria esterna, bocche di espulsione adottano soluzioni atte a minimizzare il livello del rumore prodotto dai ventilatori presenti nell'unità.

Secondo quanto generalmente indicato dai produttori, per le unità indicate:

1. **Tutte le macchine sono versioni "silenziate":** l'involucro è costituito da una chiusura ad elevato potere fonoisolante costituito da un sandwich sp.50mm realizzato da due lamiere metalliche cieche con interposta lana minerale ad elevata densità (minimo 50 Kg/m²) in modo tale da garantire un isolamento adeguato.

Sulla base delle prescrizioni indicate, il livello di pressione sonora massimo ammissibile ad una distanza pari ad 1 m dalla macchina (corpo dell'unità) è pari ai seguenti valori:

Livello di pressione sonora massimo ammissibile a distanza di 1 m dall'involucro dell'unità

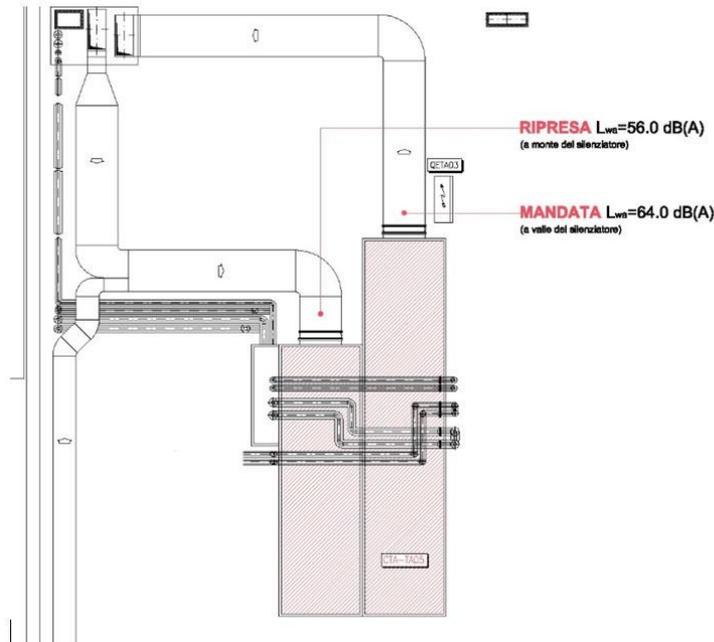
Posizione	Unità	Livello di pressione sonora massimo sull'involucro $L_{Aeq,max}$ (1m) [dB(A)]
Auditorium copertura	CTA TA05	52

2. **Tutte le unità indicate devono rispettare i livelli di potenza sonora massimi ammessi indicati nello schema di seguito, ovvero devono essere previsti silenziatori dissipativi a setti sia sui canali di mandata sia sui canali di ripresa in funzione della potenza sonora dei ventilatori indicata.** I coefficienti di attenuazione sono indicati dalle specifiche tecniche riportate. I silenziatori a setti sono del tipo rettilineo, a sezione rettangolare con setti fonoassorbenti., avranno

carcassa in lamiera zincata con spessore minimo pari a 0,8 mm e i setti saranno in lana minerale. I setti saranno dotati di lamierino forato su tutta la superficie.

Unità	CTA-TA 05
Canale MANDATA	Silenziatore TIPO 6
Canale RIPRESA	Silenziatore TIPO 6

Livelli di potenza sonora massimi ammessi



Attenuazione minima silenziatore TIPO 6

Frequenza	Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Attenuazione	dB	5	12	25	38	50	46	29	20

Attenuazione stimata con le seguenti caratteristiche della macchina presa ad esempio:

Potenza sonora ventilatore MANDATA $L_{wA,mandata} = 93 \text{ dB(A)}$

Potenza sonora ventilatore RIPRESA $L_{wA,ripresa} = 85 \text{ dB(A)}$

N.B. Indipendentemente dalle scelte costruttive fatte rispetto alle macchine ed al tipo di silenziatore da applicare, l'impianto dovrà garantire dei livelli di potenza (L_w) pari a:

- CTA-TA 05 RIPRESA: $L_w = 56.0 \text{ dB(A)}$ a monte silenziatore
- CTA-TA 05 MANDATA: $L_w = 64.0 \text{ dB(A)}$ a valle silenziatore

12.3.2 Prescrizioni per la minimizzazione del rumore per i componenti del circuito aeraulico

CANALI DI MANDATA MICROFORATI

Il rumore generato da bocchette dell'aria deve essere controllato per il rispetto dei vincoli legislativi: **tutti gli elementi di immissione aria dovranno garantire un livello di pressione sonora non superiore ai 29 dB(A) ovvero essere compatibili con le curve NC20 alla velocità nominale di funzionamento (carico nominale di progetto)**. Tale livello massimo ammissibile deve essere garantito tenendo conto anche del rumore indotto dalla relativa unità di trattamento aria di alimentazione e dal rumore generato dalle serrande e dispositivi installati lungo il condotto (valutati nei paragrafi seguenti).

DIFFUSORI LINEARI / GRIGLIE DI RIPRESA

Il rumore generato da bocchette dell'aria deve garantire il rispetto dei vincoli legislativi: **tutte le bocchette di immissione ed estrazione aria dovranno garantire un livello di pressione sonora autogenerato non superiore ai 20 dB(A) alla velocità nominale di funzionamento (carico nominale di progetto)**. Tale livello massimo ammissibile è garantito tenendo conto anche del rumore indotto dalla relativa unità di trattamento aria di alimentazione e dal rumore generato dalle serrande e dispositivi installati lungo il condotto (valutati nei paragrafi seguenti).

RUMORE DI BREAKOUT CANALI

L'immagine di figura 50 indica (riquadro in rosso) il canale che può produrre il rumore di fuoriuscita (Breakout) per il retropalco dell'auditorium: la dorsale indicata, che fa capo all'unità CTA TA05, attraversa l'ambiente: anche se lo spazio non è direttamente afferente al palcoscenico può produrre emissioni percepibili, data la lunghezza dello stesso.

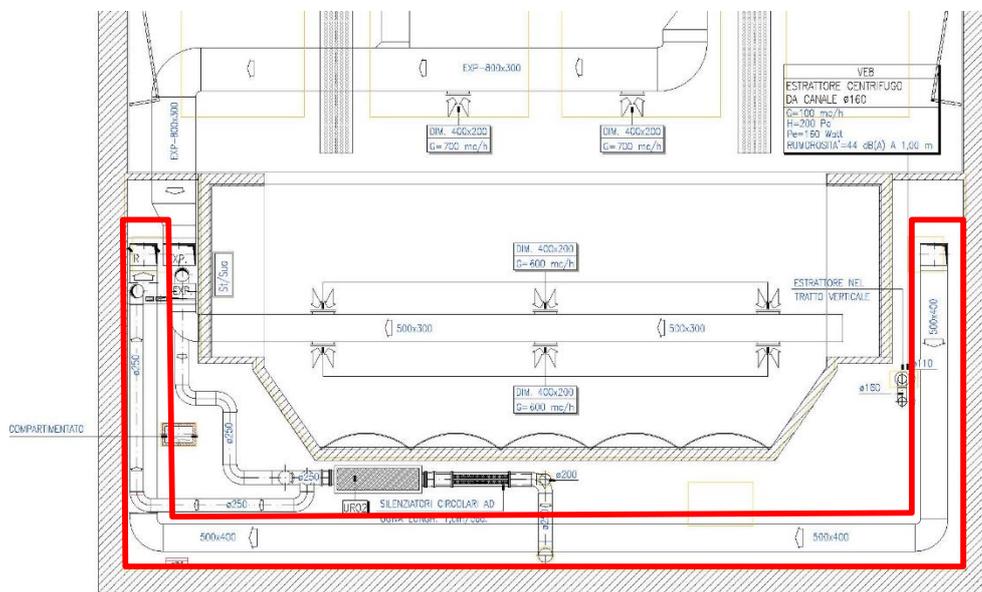


Figura 50: Auditorium: Breakout canale su retropalco

Una criticità analoga si rileva nella sala regia (figura 51), si rileva infatti la presenza di un condotto rettangolare sulla parte bassa del locale.

In entrambe le situazioni la possibilità di interferenze con i fruitori e gli operatori delle sale è concreta, si considerano quindi gli interventi di mitigazione acustica indicati più oltre.

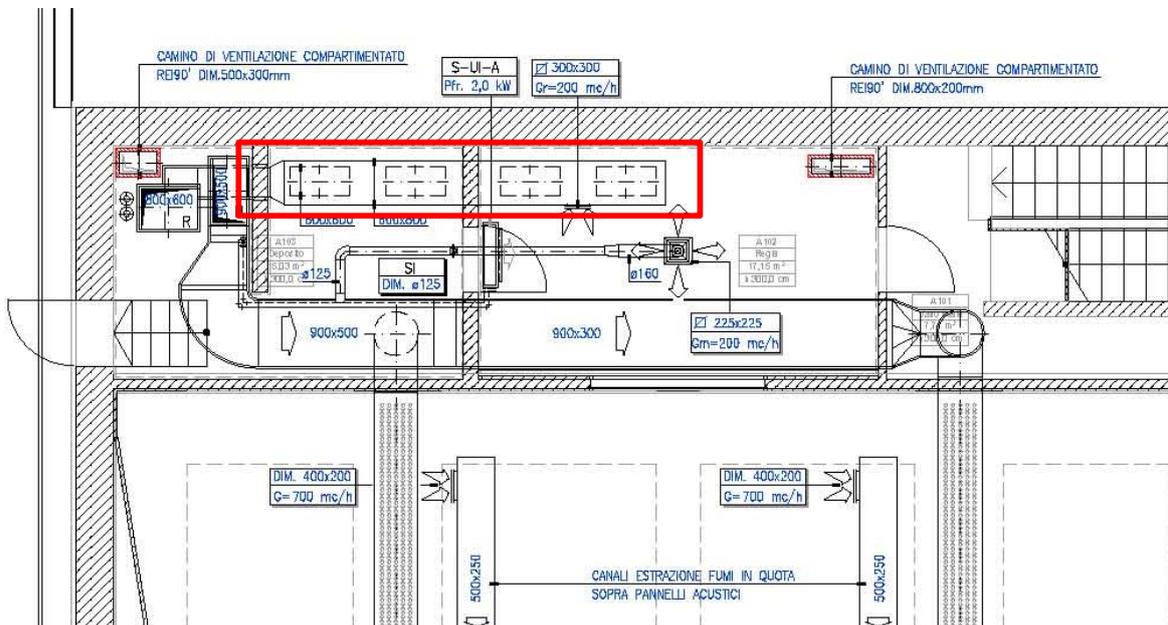
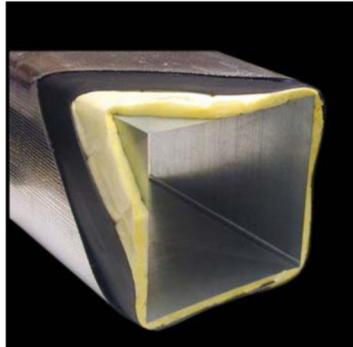
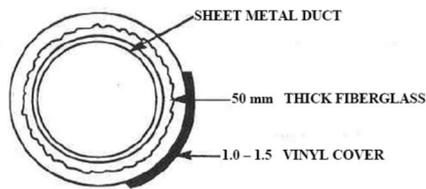


Figura 51: Regia: Breakout canale

La riduzione del rumore per gli attraversamenti (canali dell'aria) viene attuata incrementando l'isolamento acustico del canale: tale riduzione è possibile incrementando la massa complessiva ad un valore superiore a 10 Kg/m², in pratica è possibile attuare uno delle alternative seguenti:

1. cambio spessore lamiera con canali rettangolari aventi massa complessiva maggiore di 10 kg/m² (es. lamiera 12/10)
2. coibentazione canali con pannello che avvolge la lamiera avente attenuazione maggiore di 30 dB alla frequenza di 1000 Hz (pannello in lana minerale maggiore di 25 mm e chiusura di pannello con materiale ad alta densità Figura 52 immagine a sinistra)
3. coibentazione canali con chiusura avente massa complessiva maggiore di 10 kg/m² (ad esempio lo strato è composto da cartongesso 13 mm e lana minerale 50 Kg/m³ e spessore maggiore di 40 mm- sul lato rivolto verso la macchina- come indicato nell'immagine a destra di Figura 52)

Canale acusticamente isolato (Ahri 881:2011)



Canale acusticamente isolato (Ashrae)

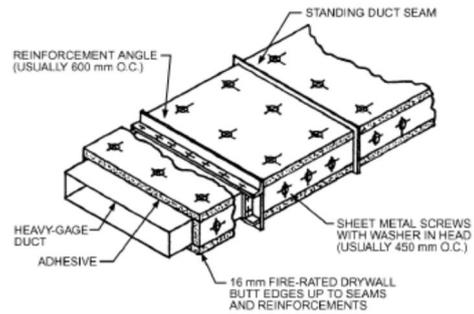


Fig. 26 Drywall Lagging for Duct Rumble

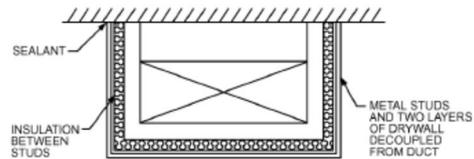


Fig. 27 Decoupled Drywall Enclosure for Duct Rumble

Figura 52: Esempi di coibentazione dei canali

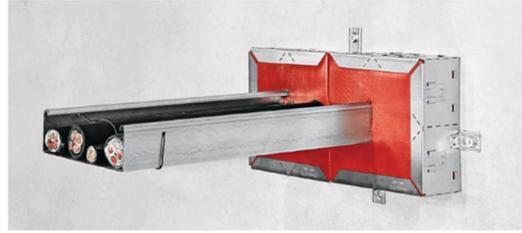
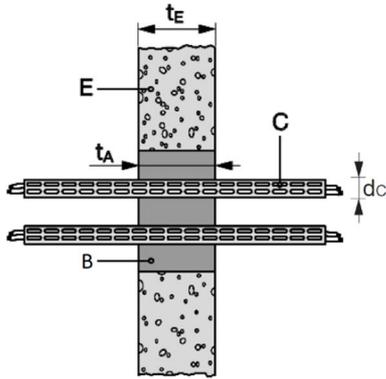
ATTRAVERSAMENTI DI CONDOTTE, TUBAZIONI E CANALINE

In relazione ai canali, alle tubazioni che attraversano le partizioni si raccomanda che siano attuate le indicazioni riportate nella Figura 53 (esempi di ripristino del potere fonoisolante negli attraversamenti mediante sigillante acrilico, sia a parete, sia per i solai).

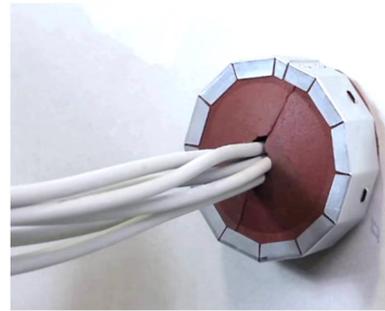
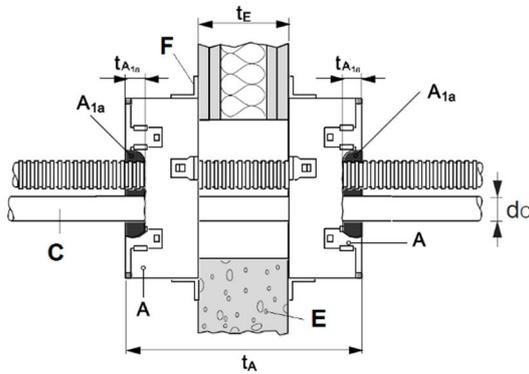
Il potere fonoisolante minimo della sola compartimentazione ha un valore minimo pari a $R_w = 35$ dB, in grado di garantire il potere fonoisolante complessivo della partizione (murature e /o solai).

Per i dettagli ci si riferisce alle specifiche impiantistiche (tavole %BAN_00_PE_IM_Z_0201_PNT_IAE+, %BAN_01_PE_IM_Z_0203_PNT_IAE+ e %BARTICOLARI ACUSTICI+).

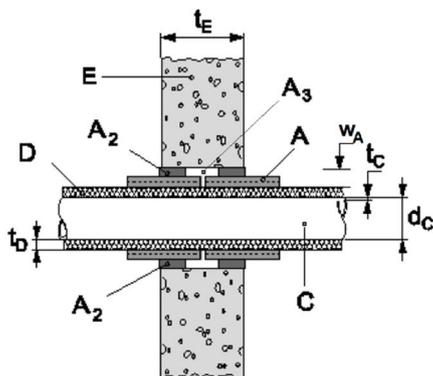
Parete: canalina portacavi



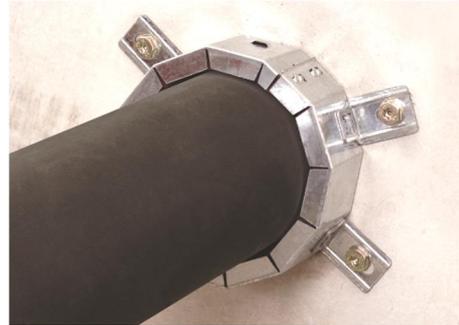
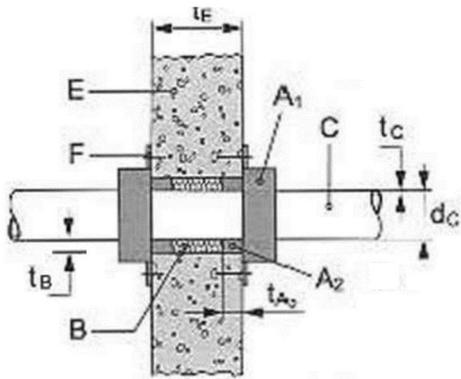
Parete: cavi, tubi elettrici



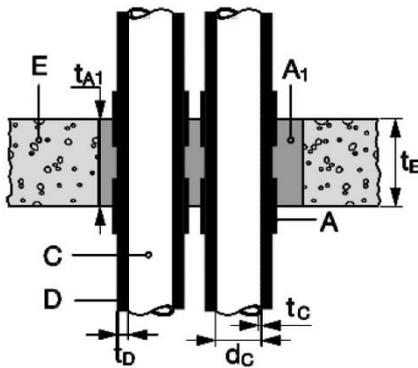
Parete: tubi meccanici in acciaio con elastomero



Parete: tubi meccanici in plastica



Solaio: tubi meccanici in acciaio con elastomero



Solaio: tubi meccanici in plastica

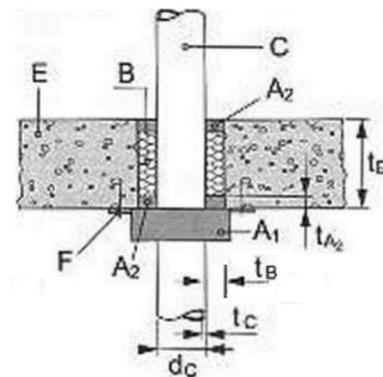


Figura 53: Ripristino del potere fonoisolante in corrispondenza degli attraversamenti

12.3.3 Adiacenze critiche: locale tecnico su regia

La sala regia è posizionata nel piano primo sopra l'ingresso ed adiacente ad un locale tecnico in cui vi può essere un livello di rumore significativo (Figura 54): la presenza di tali impianti determina le necessarie soluzioni tecniche atte a rendere trascurabile il rumore e le vibrazioni che fuoriescono dal locale verso la regia, che proprio per il suo utilizzo è un ambiente particolarmente sensibile alla presenza di rumori, che non siano quelli provenienti dall'attività dell'auditorium.

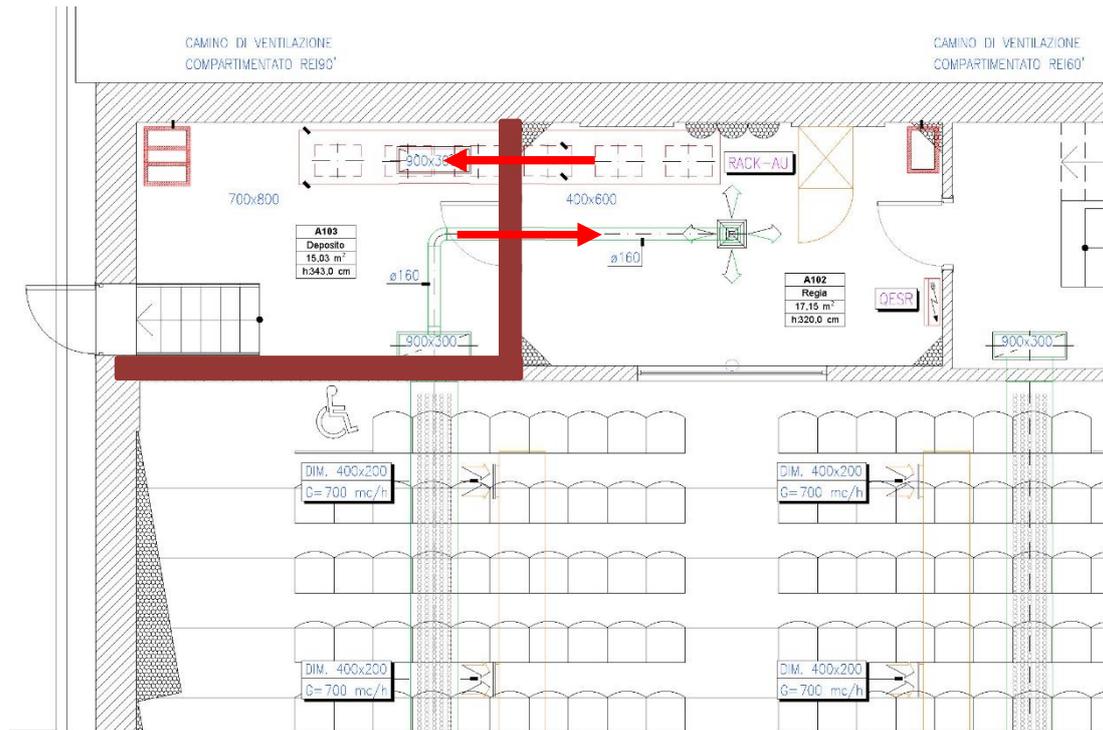


Figura 54: Pareti e solaio che definisce l'adiacenza critica verso l'auditorium e verso la sala regia

Il rumore esistente nel locale tecnico può essere trasmesso ai locali adiacenti attraverso le pareti ed attraverso il pavimento, inoltre le canalizzazioni che attraversano tali partizioni costituiscono un ulteriore indebolimento del potere fonoisolante di detti elementi (cfr Figura 54, indicato dalle frecce rosse).

Risulta quindi necessario determinare un potere fonoisolante minimo che garantisca l'attenuazione del rumore verso la regia e verso l'auditorium. Ipotizzando un livello di rumore non superiore a 70 dB(A) analogo al livello prodotto dagli impianti presenti nella centrale tecnologica annessa alla palestra - deve essere incrementato l'isolamento acustico delle partizioni verticali, trattando le superfici evidenziate in rosso nella Figura 54 è possibile rendere trascurabile il rumore che fuoriesce dal locale se l'indice del potere fono isolante delle partizioni indicate è pari a $R_w = 56$ dB.

- a) La parete sarà quindi realizzata come descritto nei paragrafi precedenti $8R_w=56$ dB)
- b) Per il solaio del locale, anche in questo caso dovrà essere garantito un potere fonoisolante minimo pari 53 dB così come verificato.

Infine, se si definisce un trattamento fonoassorbente a soffitto con pannelli tipo Tipo Rockfon TH 80 avente spessore 75 mm e densità 70 Kg/m^2 , come indicato nella Figura 55. La riduzione minima del livello di rumore presente all'interno dell'ambiente è pari a 3 dB.

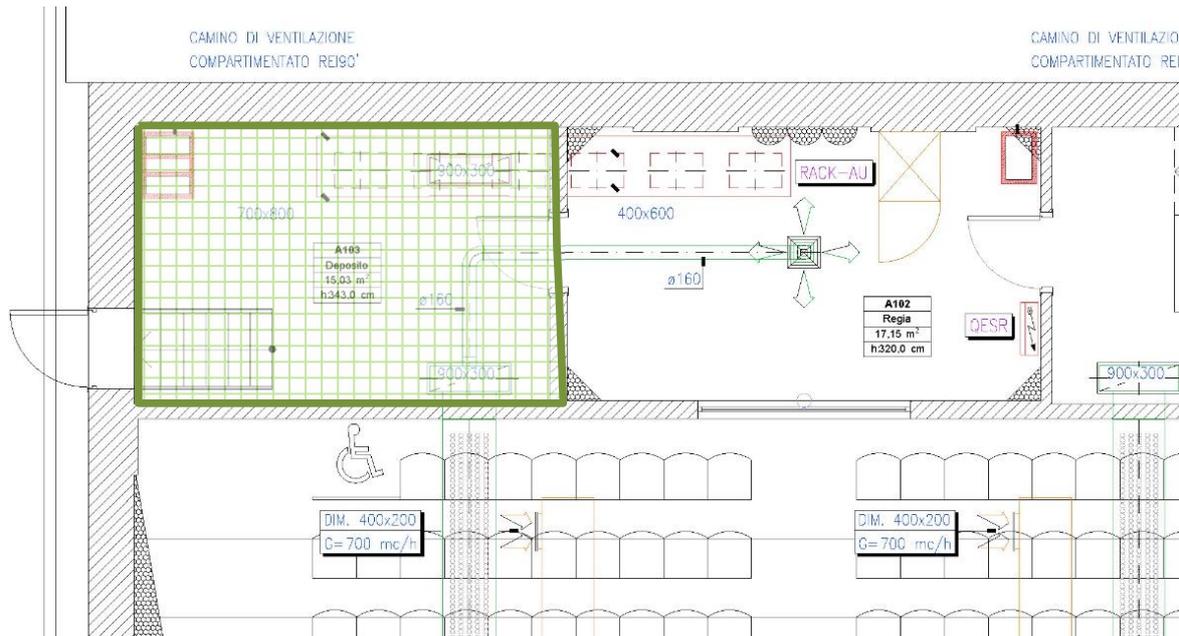


Figura 55: Trattamento a soffitto del locale tecnico

13 CALCOLO DEL RUMORE COMPLESSIVO NEGLI AMBIENTI DELL'AUDITORIUM

Il calcolo del livello di rumore si basa sui metodi di calcolo e la valutazione deve rispettare

- i limiti imposti di cui alla Tabella B del DPCM del 5 dicembre 1997
- i limiti imposti nell'appendice A della norma UNI 11367
- dei requisiti imposti dalla certificazione LEED

Nel presente capitolo, dopo aver richiamato le ipotesi alla base della stima del rumore e illustrato il metodo di calcolo, si valutano gli ambienti della scuola secondo i requisiti normativi imposti.

Ricordando che il descrittore acustico indicato dal DPCM 5/12/1997 e dalla certificazione LEED è, per gli impianti a funzionamento continuo, il livello equivalente di rumore pesato L_{Aeq} e, per gli impianti a funzionamento discontinuo, il livello massimo di rumore con costante di tempo SLOW.

La valutazione secondo il metodo contenuto nella norma UNI 11367 si basa sul livello sonoro massimo corretto immesso da impianti a funzionamento continuo, in ambienti diversi da quelli di installazione L_{ic} , è dato dalla formula

$$L_{ic} = L_{Aeq} + K_1 + K_2$$

Dove

L_{Aeq} è il livello continuo equivalente del rumore ambientale indotto dall'impianto in funzione in dB(A)

K_1 è il termine di correzione del rumore residuo

K_2 $-10\lg(T/T_0)$, è il termine di normalizzazione rispetto al tempo di riverberazione

Si precisa che il termine K_1 è, ai fini della presente stima, assunto uguale a 0 dB e K_2 è calcolato dal volume e dal tempo di riverberazione.

Il livello di rumore corretto indotto dagli impianti a funzionamento discontinuo L_{id} è dato dalla formula

$$L_{id} = L_{ASmax} + K_2$$

Dove

L_{ASmax} è il livello massimo di pressione sonora del rumore ambientale rilevato con pesatura temporale %LOW+, indotto dall'impianto in funzione in dB(A)

K_2 $-10\lg(T/T_0)$, è il termine di normalizzazione rispetto al tempo di riverberazione

13.1 VALUTAZIONE DEL LIVELLO DI RUMORE INDOTTO DAGLI IMPIANTI A FUNZIONAMENTO DISCONTINUO

La norma UNI 11367 (APPENDICE A) per un ambiente con %prestazione superiore+definisce un livello di pressione sonora $L_{id} < 34\text{dB(A)}$ ovvero per il DPCM 5/12/97 $L_{ASmax} < 35\text{dB(A)}$: **il livello di rumore corretto indotto dagli impianti a funzionamento discontinuo L_{id} è, ai fini della presente stima e a seguito dell'adozione delle prescrizioni generali di cui al capitolo specifico, assunto come trascurabile.**

13.2 VALUTAZIONE DEL LIVELLO DI RUMORE INDOTTO DAGLI IMPIANTI A FUNZIONAMENTO CONTINUO

Il DPCM del 5 dicembre 1997 assume come riferimento il limite di 35 dB(A), che deve essere misurato in ambienti diversi da quello in cui il rumore viene generato.

La certificazione LEED impone, per gli ambienti %core learning+(apprendimento frontale quali aule, laboratori) un limite massimo pari a 35 dB(A) e per gli ambienti %ancillary+(accessori) un limite massimo pari a 40 dB(A). Per la palestra è ammesso un limite massimo pari a 50 dB(A).

Premesso che si considerano attuate tutte le prescrizioni specifiche da attuare per le seguenti macchine (sorgenti di rumore per via aerea e strutturale)

1. unità di trattamento aria CTA_TA05
2. estrattore d'aria VE7

Tenuto conto delle prescrizioni generali da adottare in relazione ai seguenti

- Componenti del circuito aeraulico (griglie, diffusori, serrande)
- Componenti dell'impianto fluido-meccanico (collettori, servizi igienici etc)

Tenuto conto del potere fonoisolante garantito dal requisito richiesto delle partizioni orizzontali e verticali del fabbricato.

Tenuto conto che devono essere attuate tutte le prescrizioni in termini di potenza sonora massima che le macchine devono garantire a valle o a monte dei silenziatori così come definito in dettaglio nei paragrafi specifici.

Si considerano, al fine della stima del rumore presente negli ambienti dell'auditorium, la planimetria relativa al circuito di aria primaria a servizio della sala dell'auditorium (palco e platea) e della sala regia riportata nella Figura 39.

In merito al livello di pressione sonora immesso dall'impianto di ventilazione, i risultati in ogni ambiente sono riportati nella tabella e valutati in rapporto al requisito richiesto:

Elenco degli ambienti

Livello indotto dagli impianti a funzionamento continuo (cert.LEED)

Piano	Ambiente	Ambiente	LAeq	Tipologia	Limite ammesso
	nome	codice	dB(A)		dB(A)
Terra	Auditorium	A001	29.6	tab 1 ashrae 2011*	30
Primo	Regia	A102	24.6	-	-

*tab 1 ashrae: school - large lecture room w/o speech amplification

Elenco degli ambienti

Livello indotto dagli impianti a funzionamento continuo (DPCM 9/12/97)

Piano	Ambiente	Ambiente	LAeq	Limite ammesso
	nome	codice	dB(A)	dB(A)
Terra	Auditorium	A001	29.6	35
Primo	Regia	A102	24.6	35

14 PRESCRIZIONI GENERALI

Il presente capitolo riporta le prescrizioni da adottare per ridurre il rumore e le vibrazioni che il funzionamento delle macchine produce negli ambienti dei fabbricati.

14.1 DIMENSIONAMENTO E POSIZIONAMENTO DEGLI ELEMENTI SMORZANTI/ANTIVIBRANTI

I ventilatori delle unità di trattamento aria UTA e di estrazione aria VE producono, durante il funzionamento, vibrazioni e quindi del rumore trasmesso per via solida che possono raggiungere livelli significativi quando le macchine sono alla massima potenzialità, si descrivono gli accorgimenti integrativi che devono essere attuati per garantire la riduzione dei livelli indotti negli ambienti di vita prossimi.

Come riportato dal capitolato, è indicata la presenza di un antivibrante (generalmente in elastomero di neoprene sugli appoggi della macchina), **si evidenzia l'importanza della presenza di una base antivibrante per eliminare le vibrazioni** che dal telaio della macchina si trasmettono al pavimento. Tale dispositivo è generalmente fornito dal produttore dell'impianto ed è generalmente costituito da profilati a C adattati alle dimensioni della macchina e fissati a pavimento mediante strati di materiali gommosi correttamente

dimensionati in funzione del peso della macchina ed in funzione dello spettro di emissione della stessa. (Figura 56)

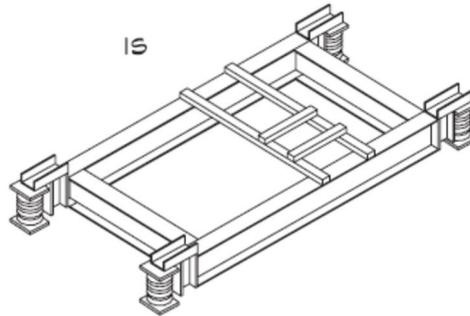


Figura 56: Base antivibrante per macchine

La riduzione delle vibrazioni può altrimenti essere ridotta posizionando piedinature o strisce elastiche alla base della macchina, anche se opportunamente dimensionate in funzione delle caratteristiche dell'impianto (Figura 57). Si applicano, quindi, i giunti antivibranti alla base delle guide di supporto del ventilatore.

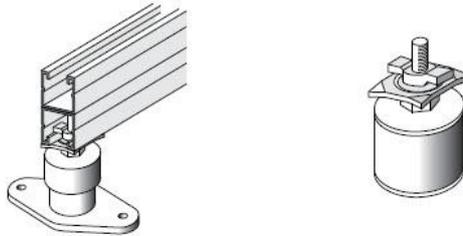


Figura 57: piedinature antivibranti alla base del telaio dei ventilatori

Per evitare la propagazione delle vibrazioni e dei colpi provocati dai ventilatori in accensione nel normale funzionamento, **i canali della macchina devono essere fissati mediante giunti formati da flange di connessione disaccoppiate rispetto ai canali ed al corpo della macchina**. Il disaccoppiamento deve essere realizzato mediante materiale elastico antivibrante (esempio di giunto flessibile commerciale è raffigurato in Figura 58))



Figura 58: esempio di giunto flessibile commerciale

Infine, si ricorda che **i canali dell'aria qualora dovessero essere appesi al solaio o fissati alle pareti è necessario considerare supporti e giunti antivibranti**.

14.2 CLIMATIZZAZIONE

Per ridurre i livelli di rumorosità presenti all'interno dei singoli ambienti attribuibili al funzionamento degli impianti tecnologici, si prescrivono alcuni accorgimenti al fine di minimizzare i livelli sonori prodotti negli ambienti. Sarà pertanto necessario trattare acusticamente gli impianti in maniera tale da diminuire i livelli sonori e aumentare il comfort per le persone presenti.

14.2.1 La velocità dell'aria

La velocità dell'aria è parametro fondamentale nei circuiti aeraulici (canalizzazioni) che costituiscono l'impianto di ventilazione, in particolare i componenti più suscettibili di produrre turbolenze e quindi rumore verso i diffusori (rumore "autogenerato" dai componenti) sono le serrande, gli adattatori che riducono la sezione, i gomiti e le stesse griglie/diffusori.

Si riportano i vincoli relativi alle massime velocità dell'aria nei condotti e ai diffusori in ambiente per garantire il rispetto dei requisiti acustici.

La compatibilità secondo il criterio RC (*Room Criteria*) orientato agli ambienti nei quali sono presenti impianti di ventilazione è infatti assicurata mediante la limitazione della velocità dell'aria nei componenti dell'impianto in modo tale da garantire le prestazioni termiche e allo stesso tempo, minimizzare le turbolenze dell'aria (causa del rumore che fuoriesce dai condotti).

In relazione ai condotti dell'aria valgono i seguenti limiti, riportati per le condotte circolari e rettangolari.

Massima velocità dell'aria nei condotti per il rispetto del criterio RC in m/s

Posizione del condotto	RC(N) di progetto	Condotto rettangolare	Condotto circolare
Dietro cavedio o muri a secco	25	8,6	12,7
Sopra controsoffitti	25	7,0	10,2
In spazi occupati (a vista)	25	4,8	8,6

La velocità nei seguenti elementi dovrebbe essere ridotta in ragione di

- riduzione del 80% velocità indicata per diramazioni
- riduzione del 50% velocità indicata per i tratti finali verso i diffusori

In particolare, la velocità massima in prossimità dei diffusori / griglie deve essere la seguente:

Massima velocità dell'aria nei diffusori /griglie per il rispetto del criterio RC in m/s

Tipo apertura	RC(N) di progetto	Velocità del flusso d'aria apertura "libera"
Mandata	25	2,0
Ripresa	25	2,5

14.2.2 Prescrizione su bocchette dell'aria È rumore autogenerato

tutte le bocchette di immissione ed estrazione aria dovranno garantire un livello di pressione sonora del rumore autogenerato non superiore ai 20 dB(A) alla velocità nominale di funzionamento (carico nominale di progetto). Tale livello massimo ammissibile è garantito tenendo conto anche del rumore indotto dalla relativa unità di trattamento aria di alimentazione e dal rumore generato dalle serrande e dispositivi installati lungo il condotto.

14.2.3 Prescrizioni da adottare per ridurre il rumore di breakin/breakout dei canali

In generale i canali in lamiera che transitano nei locali se non opportunamente isolati (ovvero coibentati con materiali fonoisolanti) non costituiscono ostacolo sufficiente al rumore che può così fuoriuscire dal canale verso gli ambienti (breakout prodotto dalle macchine) e dagli ambienti verso altri ambienti (break-in ossia persone che parlano in un locale "possono" venire percepite in ambienti molto silenziosi)

Per ridurre il contributo al rumore complessivo dovuto al fenomeno del break-out, si adottano le seguenti misure:

ISOLAMENTO ACUSTICO DELLE PARTIZIONI: se il condotto passa in locali tecnici / cavedio è necessario **incrementare il potere fonoisolante delle partizioni verticali e orizzontali a valori adeguati**, con partizioni e controsoffitti descritti in relazione apposite.

COIBENTAZIONE CANALI: se il condotto passa in controsoffitto "leggero" (esempio quadrotti forati con retrostante materiale poroso con funzione fonoassorbente) oppure a vista è necessario coibentare il condotto con strati di materiale tipo lana minerale con spessore minimo 25 mm e carta Kraft (lo strato deve avere una massa superficiale, comprensiva della lamiera, maggiore di 10 Kg/m²). In figura si riporta un esempio nella figura sottostante

SISTEMA DI COIBENTAZIONE FONOISOLANTE

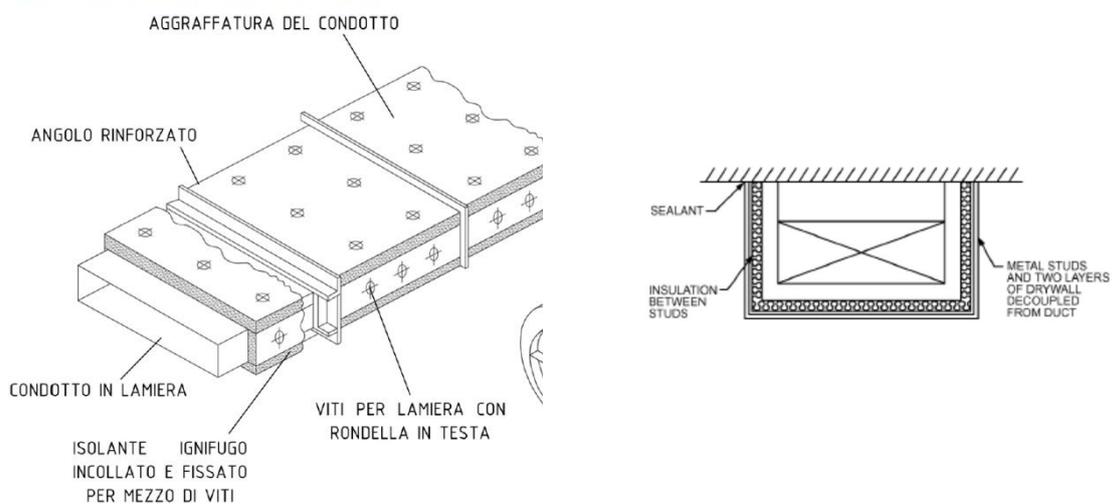


Figura 59: schema di principio della tipologia di intervento da effettuare sul canale di espulsione per i canali di mandata e ripresa che attraversano gli ambienti

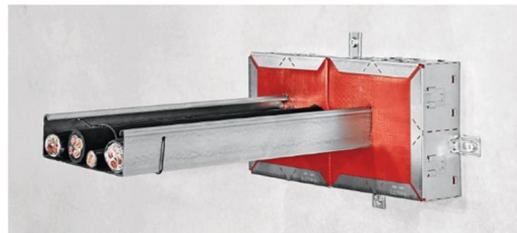
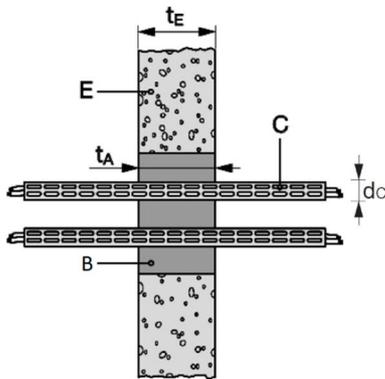
PENETRAZIONI E ATTRAVERSAMENTI DEI CANALI:

In relazione ai canali, alle tubazioni che attraversano le partizioni si raccomanda che siano attuate le indicazioni riportate nella figura 60 (esempi di ripristino del potere fonoisolante negli attraversamenti mediante sigillante acrilico, sia a parete, sia per i solai).

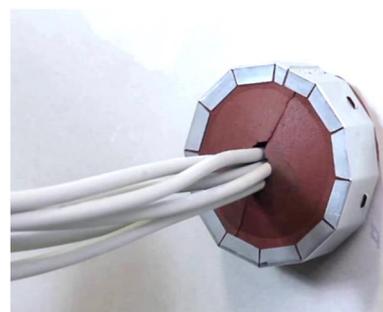
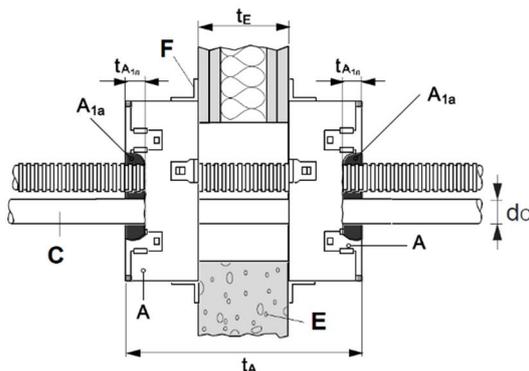
Il potere fonoisolante minimo della sola compartimentazione ha un valore minimo pari a $R_w = 35$ dB, in grado di garantire il potere fonoisolante complessivo della partizione (murature e /o solai).

Per i dettagli ci si riferisce alle specifiche impiantistiche (tavole %BAN_00_PE_IM_Z_0201_PNT_IAE+ e %BAN_01_PE_IM_Z_0203_PNT_IAE+ e %BARTICOLARI ACUSTICI+)

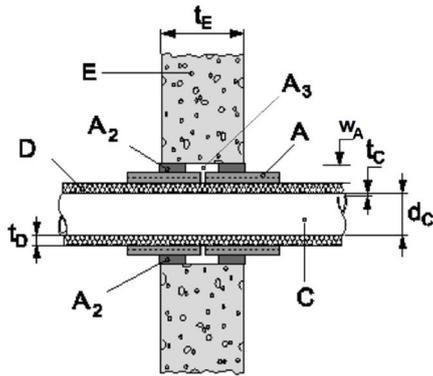
Parete: canalina portacavi



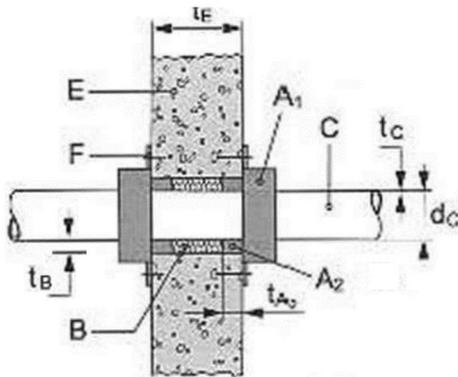
Parete: cavi, tubi elettrici



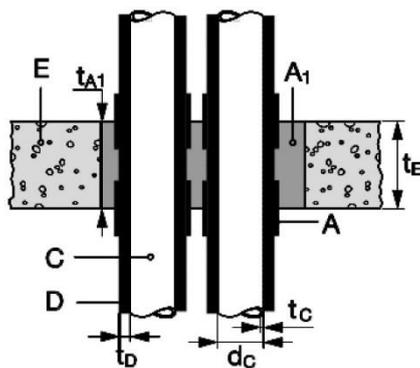
Parete: tubi meccanici in acciaio con elastomero



Parete: tubi meccanici in plastica



Solaio: tubi meccanici in acciaio con elastomero



Solaio: tubi meccanici in plastica

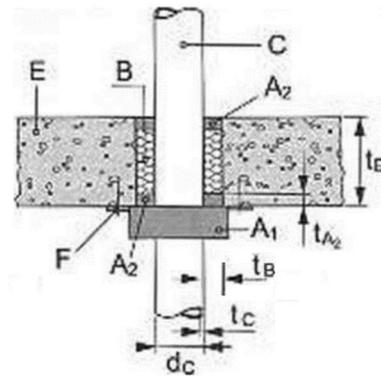


Figura 60: Attraversamenti di partizioni: interventi per il mantenimento dell'isolamento acustico

14.2.4 Indicazioni di corretta posa degli impianti idrico sanitari

In relazione alle elettropompe EP, esse non costituiscono di fatto una significativa fonte di rumore, in quanto il livello di pressione sonora nominale è trascurabile, tuttavia le vibrazioni che la macchina può indurre sulle strutture può determinare emissioni sonore critiche.

Di seguito si indicano, quindi, gli accorgimenti che devono essere attuati per garantire la riduzione delle vibrazioni e quindi del rumore trasmesso per via solida che le pompe potrebbero produrre durante il funzionamento:

- **Deve essere posizionata una base antivibrante** per eliminare le vibrazioni che dalla macchina si trasmettono al pavimento. Tale dispositivo è abitualmente fornito dal produttore ed è generalmente costituita da strati di materiali gommosi correttamente dimensionati in funzione del peso della macchina, ed in funzione dello spettro di emissione della stessa.
- ovvero è necessaria la **desolidarizzazione da parete se la pompa viene fissata a parete**, la flangia metallica di collegamento deve essere desolidarizzata mediante appositi smorzatori (tipo gomme, elastomeri)
- **Giunti elastici**: i tubi non devono essere rigidamente collegati alle pompe, quindi deve essere interposto materiale smorzante tra le flange di attacco metalliche
- **supporti smorzanti**: se i tubi devono essere sospesi al soffitto del locale è consigliabile utilizzare apposite sospensioni che prevedono elementi smorzanti (pendini con smorzatori oppure con anelli smorzanti)

I rumori causati all'interno di una tubazione di scarico, sia per caduta o scorrimento, sia per urto dell'acqua sulle pareti della tubazione stessa, possono trasmettersi sia per via indiretta che per via diretta tramite il fissaggio della tubazione (vedi Figura 61).

Nella Figura 62 si riportano i livelli di attenuazione acustica garantita dall'utilizzo di differenti materiali presenti in commercio.

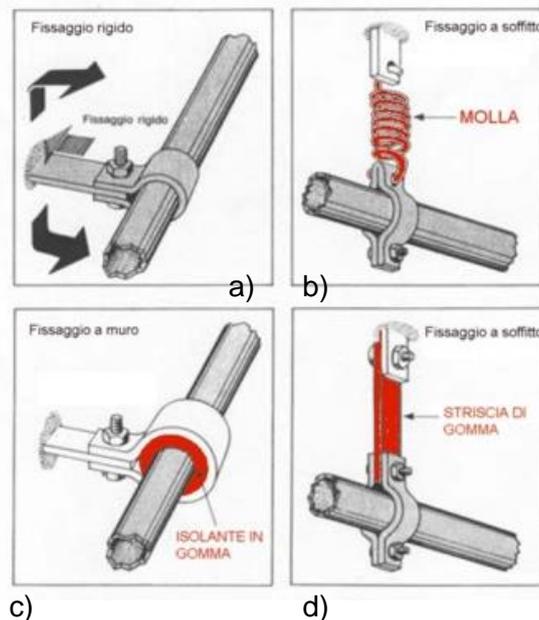


Figura 61: Tipologie di fissaggio delle tubazioni: a) fissaggio rigido (scorretto); b) c) d) fissaggi corretti con materiale disaccoppiamento

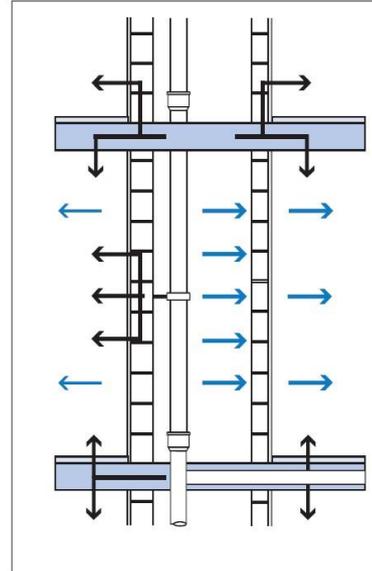
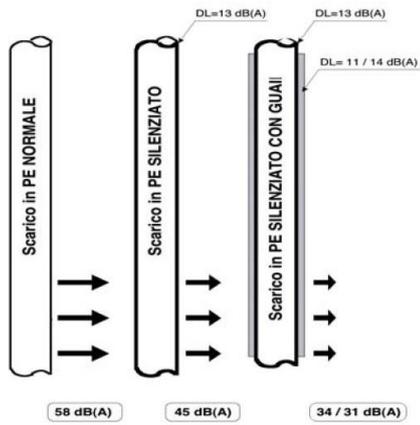


Figura 62: Trasmissione dei rumori attraverso l'impianto di scarico; b) confronto prestazionale fra i diversi materiali in commercio (tubazioni di scarico)7

14.2.5 Prescrizioni di montaggio degli impianti

Alla luce di quanto indicato nelle prescrizioni a capitolato dovranno essere isolate acusticamente tutte le tubazioni impiantistiche, sia per via aerea sia per via strutturale, mediante l'utilizzo di specifici accorgimenti e materiali, ed interponendo degli elementi resilienti ad elevato fattore di smorzamento.

Si prescrive inoltre l'utilizzo di tubi e raccordi insonorizzati tipo Geberit Silent, tipo Blu Phon (Faraplan) o tipo Raupiano Plus (Rehau).

Al fine di limitare il disturbo presso gli ambienti adiacenti, determinato dal funzionamento degli apparecchi sanitari, occorrerà dimensionare lo spessore delle pareti, in considerazione del fatto di dover integrare i passaggi impiantistici nelle murature (impianti idraulici, scatole di derivazione etc.).

Occorrerà inoltre prevedere, in fase di montaggio dei sanitari, la messa in opera di elementi antivibranti in gomma o materiali equivalenti. Le eventuali cassette di scarico per WC incassate nei muri dei bagni, andranno invece isolate mediante il posizionamento di feltro in lana di vetro tipo ISOVER PAR 45 tra la cassetta ed il paramento murario retrostante.

Torino, 27 marzo 2020

Arch. Chiara Devecchi



(Tecnico competente in acustica ambientale Regione Piemonte Determina Dirigenziale n. 222/DB 10,04 del 14 luglio 2011)

Chiara Devecchi

Ing. Paolo Onali

(Tecnico competente in acustica ambientale Regione Piemonte Determina Dirigenziale n. 143/DB 10,13 del 15 aprile 2014)



Scuola Media E. Panzacchi
Ozzano dell'Emilia - Viale Il giugno, 47

ALLEGATO A

Dati tecnici delle macchine

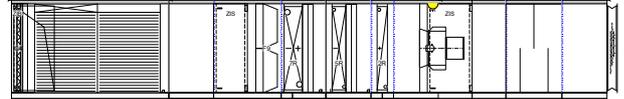


euroclima[®]
We care for better air



Nome PL_ZHK Data 21/01/2019 - 12:44

Offerta 18.438**_finale
Posizione 05
Progetto CTA TA05 - auditorium
 A-04-18 SCUOLA OZZANO
 Nuova Scuola Media Panzacchi
Disegno 1 1
Data 17/01/2019
Cliente Comune di Ozzano dell'Emilia (BO)
Via
Richiesta cliente n°
Revision



Esecuzione/m	Unità da esterno
Peso [kg]	2.774
Potenza specifica ventilatore [W/m3/s]	2202
EU 1253/2014 compliance	2018 OK

DATI TECNICI

ZHK Inova DG

Aria di mandata	Grandezza:15/12	Peso:2085 [kg]	Superficie: 49,4 [m2]	Velocità: 1,64 [m/s]
Forma	PTDF-UM-TF-K-K-H-VF-L-S-A		Dimensioni [mm]	L: 8.082,5 W: 1.625 H: 1.350
Portata aria [m³/h]	11.000		Pannello interno	50 [mm] zincato 1,00 mm
pressione utile [Pa]	350		Pannello int.fondo	zincato
Pressione totale [Pa]	1001		guide	zincato
Potenza specifica ventilatore [w/m3/s]	1.318		Pannello esterno	Bianco A47SME 0,70 mm
Aria espulsa	Grandezza:15/12	Peso:689 [kg]	Superficie: 19,5 [m2]	Velocità: 1,64 [m/s]
Forma	A-FH-S-L-VF-UM-PTDF		Dimension: [mm]	L: 5.795,0 W: 1.625 H: 1.350
Portata aria [m³/h]	11.000		Pannello interno	50 [mm] zincato 1,00 mm
pressione utile [Pa]	300		Pannello int.fondo	zincato
Pressione totale [Pa]	689		guide	zincato
Potenza specifica ventilatore [w/m3/s]	884		Pannello esterno	Bianco A47SME 0,70 mm

Aria di mandata

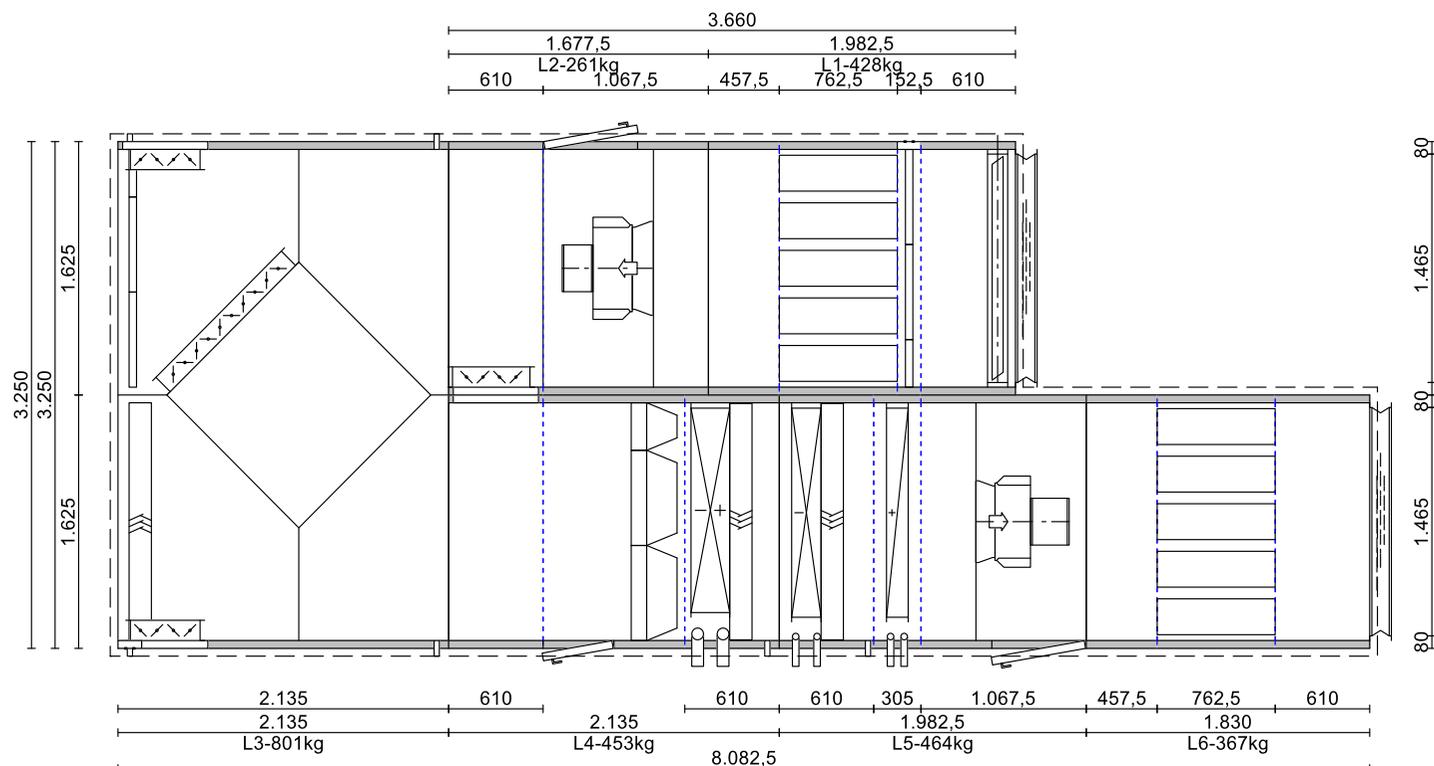
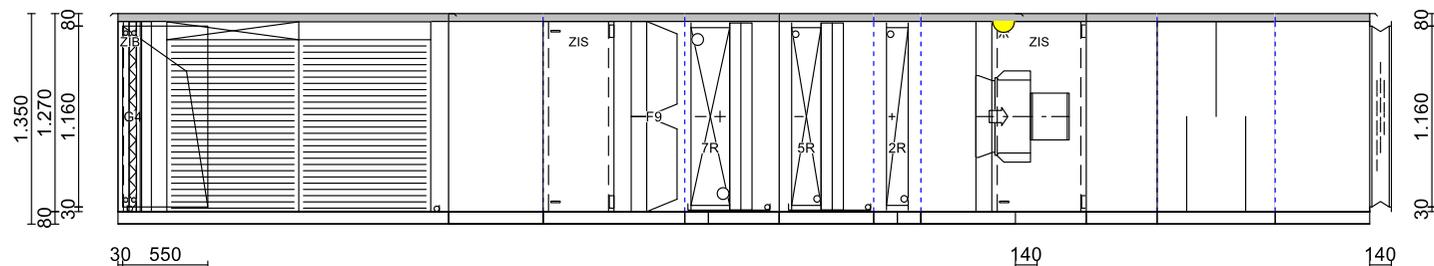
Offerta 18.438**_finale
Disegno 1 Pezzi 1
Posizione 05 Rev. Nr.
Impianto CTA TA05 - auditorium Data revisione

H	Batteria riscaldamento	305,0 [mm]	1,68 [m2]	86,00 [kg]	19 [Pa]
Portata aria [m³/h]	11.000 Densità [kg/m³] 1,19	Tipo fluido Acqua		Quantità media [l/s]	1,0600 Contenuto 14,3 l
Velocità batteria [m/s]	2	Velocità media [m/s]		1,11	
Entrata aria [°C]	20,00	Entrata media [°C]		50,00	
Uscita aria [°C]	26,00	Uscita media [°C]		45,00	
Perdita di carico aria [Pa]	19	Perdita di carico media [kPa]		18,74	
Potenza [kW]	21,96				
60x30-AC/2,5pa/2R-19T-1341L-5N/V1/CU-GW-1 1/4"/CU-AL-FeZn					
Numero ranghi	2 Press. mass. [bar] 21	lato attacchi Destra			
Numero circuiti	5	Alette AL			
Passo alette [mm]	2,5	Tubi CU			
Attacco entrata	1 1/4" filetto	Collettore CU			
Attacco uscita	1 1/4" filetto	Telaio ZN			
VF	Aria di mandata-Ventilatore a girante libera	1.067,5 [mm]	5,86 [m2]	178,00 [kg]	7 [Pa]
Ventilator	ebmpapst/K3G500-PB33-01 - 3x400V	motore EC		M3G150IF	
Portata aria [m³/h] (densità: [kg/m³] 1,19)	1 x 11.000,00	Protezione		IP55	
Pressione esterna [Pa]	350	Classe d'isolazione		F	
Pressione dinamica [Pa]	76	Potenza nominale [kW]		5,700	
Pressione totale [Pa]	1.001	Velocità % [1/min]		2.250	
Giri [1/min]	2.046	Corrente [A]		9,00	
Potenza sonora [db(A)]	93,3	Tensione [V]		3x400 / 50/60 Hz	
Rendimento [%]	66,2	campo tensione d'impiego [V]		380 ... 480	
Giri mas. nom. [1/min]	2.250	Potenza el. assorbita [kW]		4,27	
Fattore di calibrazione [m²s/h]	218	classe di efficienza motore		IEC60034: IE 4	
Controllo giri:	giri variabili	Tensione d. controllo [V]		8,0	
Potenza all'asse [kW]	3,87	Connection diagram		M3	
Potenza sonora del ventilatore in banda d'ottava L _{okt} / dB		Connessione ventilatore :		Neoprene	
Frq. [Hz]	63 125 250 500 1000 2000 4000 8000	aumento temp. Sez. Ventilante [°C]		1,20	
Aspirazion	67,3 81,2 79,7 74,2 76,4 76,9 85 73,2	Inverter non necessario!			
Uscita	72,4 82 80 81,9 88,1 83,1 86 77,2				
(53)	1 Set Passacavi per motore 1 x M20				
(47)	Set Motore precablato				
Porta standard	ZIS lato d'ispezione: destra	Dimensioni [mm]		610,0 x 1.220,0 -[R]	
(300)	1 Pz. Serratura per porta				
illuminazione	Protezione IP44	Tensione [V]		230	
Tipo Lampada stagna Plast.	Con cablaggio	Potenza [W]		46	
L	Plenum	457,5 [mm]	2,51 [m2]	59,00 [kg]	0 [Pa]
S	Silenziatore	762,5 [mm]	4,18 [m2]	233,00 [kg]	18 [Pa]
Tipo setto fonoasso	Standard	Frequenz 63 125 250 500 1000 2000 4000 8000			
Esecuzione/modello	230 LF 11.000 [m³/h]	De [dB] 6,5 11,4 21,0 23,2 25,9 19,6 16,6 16,9			
Materiale telaio	zincato				
A	Sezione aspirazione/mandata	610,0 [mm]	3,35 [m2]	75,00 [kg]	2 [Pa]
Apertura:	7 front. pieno	Dimensioni [mm]		1.465,0 x 1.160,0	
(25)	Giunto antivibrante ZN Temp. [°C] 80,00	Dimensioni [mm]		1.465,0 x 1.160,0 x 140,0 2 [Pa]	
(22)	1 Pz. Cavo di compensazione potenziale 6 mm²				

Aria espulsa

Offerta	18.438**_finale		
Disegno	1	Pezzi	1
Posizione	05	Rev. Nr.	
Impianto	CTA TA05 - auditorium	Data revisione	

A	Sezione aspirazione/mandata	610,0 [mm]	3,35 [m2]	100,00 [kg]	4 [Pa]
	Apertura: 7 front. pieno	Dimensioni [mm]		1.465,0 x 1.160,0	
(23)	Serranda	Telaio ZN	Guarnizione	No	2 [Pa]
		Alette ZN	azionamento alette	ruote dentate , PPGF	
	Asse 1	Coppia [Nm] 12,1	Trasmissione tipo	motorizzabile	
(25)	Giunto antivibrante	ZN	Temp. [°C] 80,00	Dimensioni [mm] 1.465,0 x 1.160,0 x 140,0	2 [Pa]
(22)	1 Pz.	Cavo di compensazione potenziale 6 mm²			
FH	Filtro piano	152,5 [mm]	0,83 [m2]	36,00 [kg]	66 [Pa]
	Produttore General Filter	N° per dimensioni [mm]		4 x 592,0 x 592,0	
	Tipo CFW40-048 tmax.=70°C			2 x 592,0 x 287,0	
	Classe ISO 16890 Coarse 60%				
	Init.-Dim.-Fin. press. drop [Pa] 41-66-91				
	Portata aria [m³/h] 11.000	Guida zincata (estraibile laterale)			
	Larghezza [mm] 48,0				
	Superficie filtro [m2] 2,98	Final pressure drop acc. EN 13053-2018			
	Pannello smontabile ZIB	lato d'ispezione: destra	Dimensioni [mm]	152,5 x 1.220,0	
(170)	1 Pz.	Manometro a tubo U Airflow FL4 0...1000 Pa			
(178)	1 Set	Nipples di misurazione montate			
S	Silenziatore	762,5 [mm]	4,18 [m2]	233,00 [kg]	18 [Pa]
	Tipo setto fonoasso Standard	Frequenz 63 125 250 500 1000 2000 4000 8000			
	Esecuzione/modello 230 LF	De [dB] 6,5 11,4 21,0 23,2 25,9 19,6 16,6 16,9			
	Materiale telaio zincato				
L	Plenum	457,5 [mm]	2,51 [m2]	59,00 [kg]	0 [Pa]
VF	Aria espulsa-Ventilatore a girante libera	1.067,5 [mm]	5,86 [m2]	186,00 [kg]	13 [Pa]
	Ventilator ebmpapst/K3G560-PB31-71 - 3x400V	motore EC		M3G150IF	
	Portata aria [m³/h] (densità: [kg/m³] 1,19) 1 x 11.000,00	Protezione		IP55	
	Pressione esterna [Pa] 300	Classe d'isolazione		F	
	Pressione dinamica [Pa] 48	Potenza nominale [kW]		3,300	
	Pressione totale [Pa] 689	Velocità % [1/min]		1.540	
	Giri [1/min] 1.459	Corrente [A]		5,10	
	Potenza sonora [db(A)] 85,4	Tensione [V]		3x400 / 50/60 Hz	
	Rendimento [%] 67,0	campo tensione d'impiego [V]		380 ... 480	
	Giri mas. nom. [1/min] 1.540	Potenza el. assorbita [kW]		2,92	
	Fattore di calibrazione [m²s/h] 270	classe di efficienza motore		IEC60034: IE 4	
	Controllo giri: giri variabili	Tensione d. controllo [V]		9,0	
	Potenza all'asse [kW] 2,64	Connection diagram		M5	
	Potenza sonora del ventilatore in banda d'ottava L _{okt} / dB	Connessione ventilatore :		Neoprene	
	Frq. [Hz] 63 125 250 500 1000 2000 4000 8000	aumento temp. Sez. Ventilante [°C]		0,80	
	Aspirazion 65,5 76,6 74,1 69,5 73,3 71,1 76,5 65,7	Inverter non necessario!			
	Uscita 69,9 78,8 76,1 77,7 78,1 75,4 78,4 69,7				
(53)	1 Set	Passacavi per motore 1 x M20			
(47)	Set	Motore precablato			
	Porta standard ZIS	lato d'ispezione: destra	Dimensioni [mm]	610,0 x 1.220,0 -[R]	
(300)	1 Pz.	Serratura per porta			
	Illuminazione	Protezione IP44	Tensione [V]	230	
	Tipo Lampada stagna Plast.	Con cablaggio	Potenza [W]	46	



Aria di mandata			Aria espulsa			a				Cliente:			Offerta		Nr. disegno
Portata aria	m ³ /h	11.000	Portata aria	m ³ /h	11.000	b				Comune di Ozzano dell'Emilia (BO)			18.438** finale		1
Pressione utile	Pa	350	Pressione utile	Pa	300	c				Progetto :			Modello: ZHK Inova DG		Pezzi:
Pressione totale	Pa	1.001	Pressione totale	Pa	689	d				A-04-18 SCUOLA OZZANO			ZL 15/12 - AL 15/12		1
Potenza motore	kW	1 x 5,700 //	Potenza motore	kW	1 x 3,300 //	e				lato d'ispezione:		Data:		Nr. posizione	
Tensione		3x400 V - 50 Hz	Tensione		3x400 V - 50 Hz	f				vedi disegno		21/01/2019		05	
PHW-heating	kW	21,96				g				lato attacchi:		Nome :		Impianto:	
CHW-raffreddamento	kW	30,00				Nr. Modifica Data Nome			vedi disegno		PL_ZHK		CTA TA05 - auditorium		
CHW-raffreddamento	kW	95,42							Sezioni di fornitura:		controllato:				
									6						
									Peso totale ca.:		Scala:				
									2.776 kg		1:50				

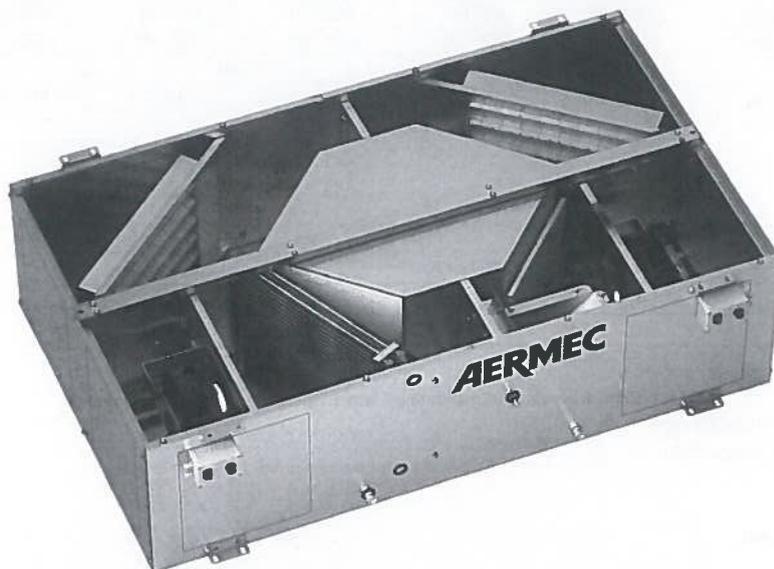


euroclima®

02/12/1981
RECEPTEUR

* FLUSSI INCROCIATI
 PER FACILITARE
 L'ASPIRAZIONE

Unità di recupero calore a flussi in controcorrente con motore Inverter



- **FACILITÀ E RAPIDITÀ D'INSTALLAZIONE**
- **VENTILATORI CON MOTORE INVERTER EC**
- **VERSIONI CON BATTERIA AD ACQUA O ELETTRICA PER IL POST RISCALDAMENTO**

Caratteristiche

I recuperatori di calore RPLI, per installazione interna orizzontale, permettono di coniugare il massimo confort ambientale con un sicuro risparmio energetico.

Sempre più nell'impiantistica moderna è necessario creare una ventilazione forzata, che comporta però l'espulsione anche dell'aria climatizzata, determinando in questo modo un maggior consumo energetico.

L'unità è dotata di un recuperatore con flussi in controcorrente, permette un efficace scambio termico fra il flusso d'aria d'espulsione e quello di rinnovo che viene preriscaldata o preraffreddata, a seconda della stagione, risparmiando così l'energia che altrimenti verrebbe persa con l'aria viziata espulsa.

Possano essere integrati in impianti ad espansione diretta ed idronici sia nel funzionamento invernale che estivo.

Versione per installazione Orizzontale:

RPLI (L o P): L bassa pressione statica utile, H alta pressione statica utile

Con orientamento ventilatori tipologia 1 (vedi esempio a lato).

RPLI_W: Con batteria ad acqua Refrigerata / Calda per le taglie 030 - 100 Calda per le taglie 140 - 400

RPLI_E: Con batteria di riscaldamento elettrica

- Ventilatori radiali plug-fan con motori EC
- **Recuperatore di calore a piastre in alluminio a flussi in controcorrente** con efficienza termica conforme al regolamento europeo n. 1253, alloggiato in vasca di raccolta condensa.
- **By-pass aeraulico** del flusso d'aria esterna dotato di serranda interna con funzione di free-cooling e anche di antigelo.
- **Filtro sintetico classe M5** secondo EN779 posizionato sull'aspirazione dell'aria espulsa

- **Filtro sintetico classe F7** secondo EN779 posizionato sulla presa d'aria esterna
- Pressostati sporcamento filtri montati
- Pannelli sandwich autoportanti in lamiera zincata con isolamento in poliuretano iniettato densità 45 kg/mc e spessore di 25 mm. Il poliuretano è conforme alla normativa UL 94 classe HBF e il pannello alla normativa NF P 512:1986 in classe M1.
- Vasca di raccolta condensa in acciaio zincato
- Ventilatori facilmente accessibili, dal basso per le taglie 030-100, lateralmente per le taglie 140-400
- Filtri accessibili, dall'alto e dal basso per le taglie 030-100, lateralmente per le taglie 140-400
- Il ventilatore, può essere comandato con un controllore 0-10 Vdc, accessorio RVC o RVCL.

Accessori

- **M4F_:** Modulo esterno dotato di pre-filtri classe G4 (secondo EN779) da posizionarsi sulla presa d'aria esterna.
- **MBF_:** Modulo esterno con batteria di raffreddamento ad acqua e vasca raccolta condensa (solo per taglie 140-400).
- **MBF_X:** Modulo esterno con batteria di raffreddamento ad acqua e vasca raccolta condensa

damento ad acqua e vasca raccolta condensa (solo per taglie 140X-400X)

- **MBP_:** Modulo con batteria di post-riscaldamento ad acqua.
- **MBE_:** Modulo con batteria elettrica (funzione antigelo e/o post-riscaldamento).
- **MSU_:** Modulo dotato di setti silenziosi.

L'accessorio è fornito in 1 pezzo.

- **FGC_:** Flange circolari. L'accessorio è fornito in 1 pezzo.
- **RVC_ e RVCL:** Regolatori di velocità, fornito in 2 pezzi.

Dati tecnici

RPLI L		030	050	070	100	140	200	300	400	
	V/ph/Hz	230V~50	230V~50	230V~50	230V~50	230V~50	230V~50	400V/3/50	400V/3/50	
Tipologia unità di ventilazione	*	UVNR (unità di Ventilazione Non Residenziale)								
Recuperatore		statico a flussi controcorrente / 1								
Tipologia sistema di recupero calore	* tipo/n°									
Efficienza termica a secco	*(1) %	81,1	78,1	76,8	75,3	76	76,3	75,5	75,6	
Potenza termica recuperata (EN308)	(2) kW	1,6	2,4	3,6	4,8	7,1	10,0	14,9	19,7	
Portata aria nominale mandata/ripresa	* m³/s	0,08	0,13	0,19	0,26	0,39	0,54	0,82	1,08	
	m³/h	300	450	700	950	1400	1950	2950	3900	
Portata aria minima	m³/h	200	250	400	550	800	1150	1750	2300	
Ventilatori		Segnale analogico su ventilatore EC (0-10Vdc)								
Azionamento	*									
Ventilatori	tipo/n°	EC/2	EC/2	EC/2	EC/2	EC/4	EC/2	EC/2	EC/2	
Potenza elettrica assorbita mandata	kW	0,065	0,088	0,142	0,208	0,333	0,449	0,472	0,734	
Potenza elettrica assorbita ripresa	kW	0,064	0,085	0,139	0,203	0,307	0,412	0,436	0,686	
Potenza elettrica assorbita totale	* kW	0,129	0,173	0,2811	0,410	0,640	0,860	0,907	1,420	
SFP int	* W/(m³/s)	820	953	907	1120	1132	1103	748	928	
SFP int_lim 2018	W/(m³/s)	1329	1234	1185	1131	1132	1118	1053	1015	
Velocità frontale filtri	* m/s	0,8	1,2	1	1,4	2,2	2,2	1,9	2,5	
Pressione esterna nominale Δp	(5) Pa	100	100	110	110	110	110	110	110	
Pressione statica utile max. mandata	(5) Pa	323	401	191	143	112	110	132	196	
Pressione statica utile max. ripresa	(5) Pa	328	416	198	161	154	149	164	242	
Caduta di pressione interna mandata Δp	* Pa	115	228	189	293	268	270	245	290	
Caduta di pressione interna ripresa Δp	* Pa	110	213	182	274	228	230	213	244	
Efficienza statica ventilatori	*(3) %	35,8%	57,0%	57,0%	59,7%	57,0%	49,2%	67,2%	66,9%	
Trafilamento esterno / interno	(4)	<3% / 3,9%								
Filtri		M5/1								
Filtro aria espulsa	tipo/n°	F7/1								
Filtro aria esterna	tipo/n°	A richiesta								
Classificazione energetica filtri (mandata e ripresa)		A richiesta								

RPLI P		030	050	070	100	140	200	300	400	
	V/ph/Hz	230V~50	230V~50	230V~50	230V~50	230V~50	230V~50	400V/3/50	400V/3/50	
Tipologia unità di ventilazione	*	UVNR (unità di Ventilazione Non Residenziale)								
Recuperatore		statico a flussi controcorrente / 1								
Tipologia sistema di recupero calore	* tipo/n°									
Efficienza termica a secco	*(1) %	81,1	78,1	76,8	75,3	76	76,3	75,5	75,6	
Potenza termica recuperata (EN308)	(2) kW	1,6	2,4	3,6	4,8	7,1	10,0	14,9	19,7	
Portata aria nominale mandata/ripresa	* m³/s	0,08	0,13	0,19	0,26	0,39	0,54	0,82	1,08	
	m³/h	300	450	700	950	1400	1950	2950	3900	
Portata aria minima	m³/h	200	250	400	550	800	1150	1750	2300	
Ventilatori		Segnale analogico su ventilatore EC (0-10Vdc)								
Azionamento	*									
Ventilatori	tipo/n°	EC/2	EC/2	EC/2	EC/2	EC/2	EC/4	EC/4	EC/2	
Potenza elettrica assorbita mandata	kW	0,043	0,084	0,113	0,215	0,347	0,410	0,546	0,872	
Potenza elettrica assorbita ripresa	kW	0,042	0,080	0,113	0,209	0,328	0,376	0,498	0,818	
Potenza elettrica assorbita totale	* kW	0,085	0,164	0,226	0,424	0,675	0,786	1,044	1,690	
SFP int	* W/(m³/s)	543	903	694	1116	1095	918	770	999	
SFP int_lim 2018	W/(m³/s)	1329	1234	1185	1131	1132	1118	1053	1015	
Velocità frontale filtri	* m/s	0,8	1,2	1,0	1,4	2,2	2,2	1,9	2,5	
Pressione esterna nominale Δp	(5) Pa	100	100	125	125	145	145	150	150	
Pressione statica utile max. mandata	(5) Pa	506	338	279	638	412	469	462	303	
Pressione statica utile max. ripresa	(5) Pa	511	353	285	656	452	509	493	349	
Caduta di pressione interna mandata Δp	* Pa	115	228	189	293	268	270	245	290	
Caduta di pressione interna ripresa Δp	* Pa	110	213	182	274	228	230	213	244	
Efficienza statica ventilatori	*(3) %	61,7	61,7	61,7	57,2	57,2	61,8	66,9	62,7	
Trafilamento esterno / interno	(4)	<3% / 3,9%								
Filtri		M5/1								
Filtro aria espulsa	tipo/n°	F7/1								
Filtro aria esterna	tipo/n°	A richiesta								
Classificazione energetica filtri (mandata e ripresa)		A richiesta								
Dati sonori										
Livello di potenza sonora	* db(A)	56	58	56	61	56	62	62	68	

* Informazioni secondo quanto previsto dall'Allegato V del Regolamento EU n. 1253/2014

SFP Specific Fan Power

(1) rapporto tra il guadagno termico dell'aria di immissione e la perdita termica dell'aria di espulsione, entrambi riferiti alla temperatura esterna, misurati in condizioni di riferimento asciutte, con flusso di massa bilanciato e una differenza termica dell'aria interna/esterna di 20K, escluso il guadagno termico generato dai motori dei ventilatori e dal trafilamento interno.

(2) Aria espulsa: Tbs=25°C; Tbu<14°C. Aria rinnovo: Tbs=5°C

(3) come da Regolamento EU 327/2011;

(4) prova di trafilamento esterno eseguita a +400 Pa e -400 Pa; prova di trafilamento interno eseguita a 250 Pa

(5) Prestazioni riferite a filtri puliti

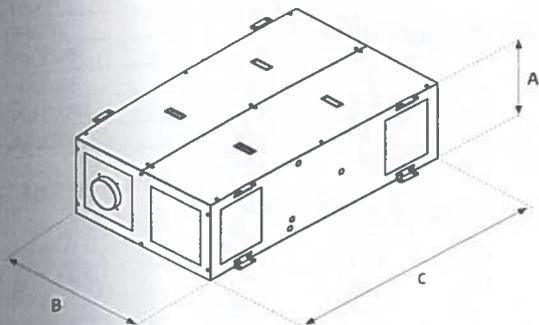
UR011

si preleva
ricca espulsa

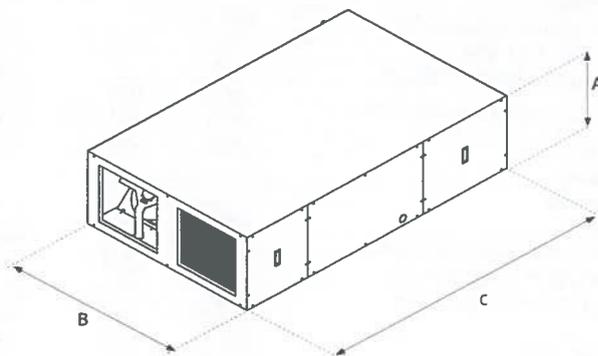
UR021

rischio acustico //

Dati dimensionali (mm)



030 - 100

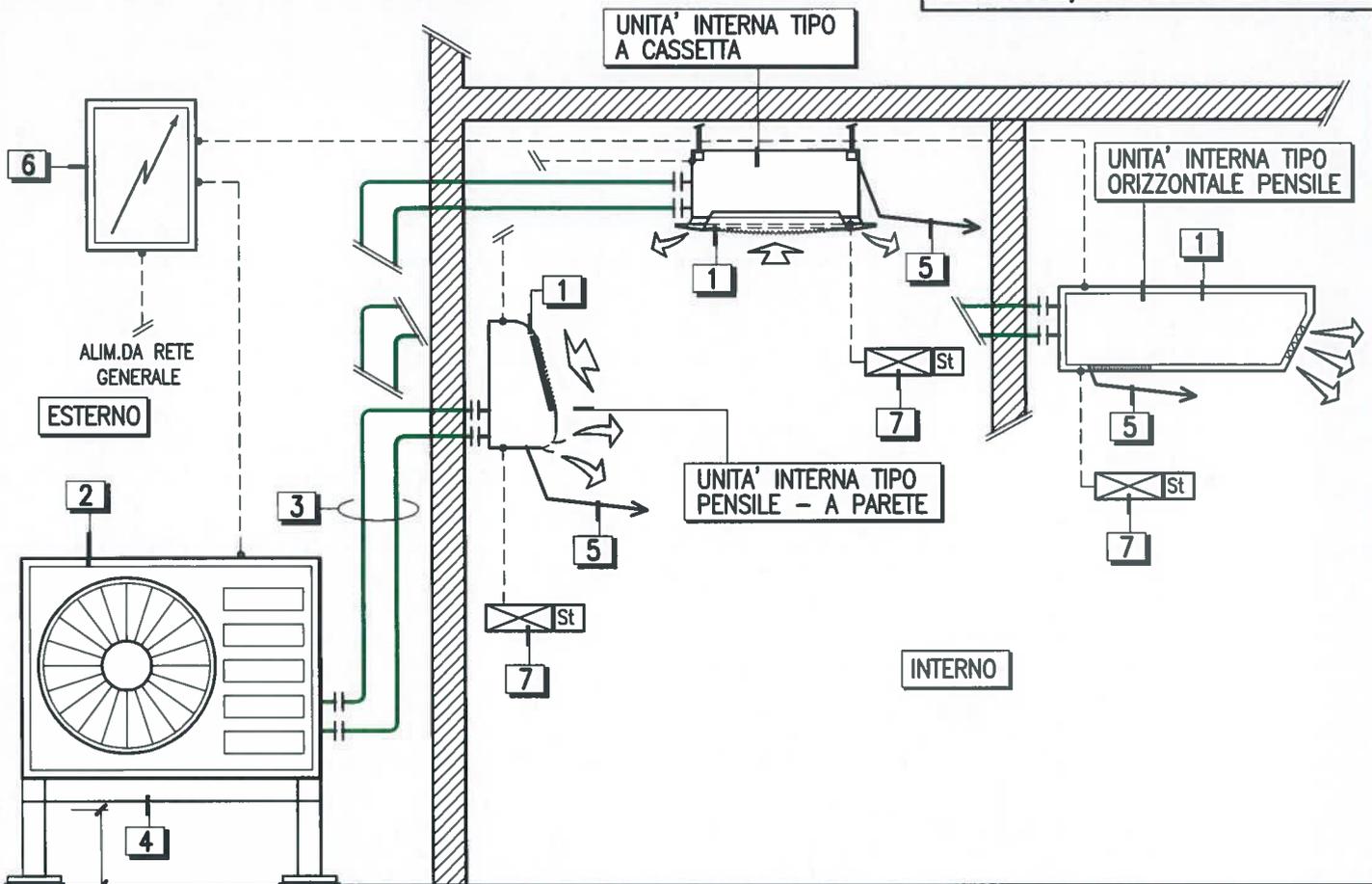


140 - 400

RPLI		030	050	070	100	140	200	300	400
A	mm	400	400	435	435	460	460	600	600
B	mm	800	800	945	945	1100	1600	1700	2050
C	mm	1300	1300	1600	1600	1800	1800	2350	2350
RPLI L	kg	89	105	150	150	154	234	374	451
RPLI P	kg	91	107	153	153	157	238	379	456

Uno!
500 mg/h

Uno!
1400 mg/h



H=>300 mm

CARATTERISTICHE DI FUNZIONAMENTO

- Temperatura esterna minima	-10 °C				
- Temperatura esterna massima	43 °C				
Prestazioni valutate alla terza velocita':					
Condizione Estiva	T interna: 24°C T esterna: 35°C				
Condizione Invernale	T interna: 20°C T esterna: 7°C				
Grandezza	Portata aria unita' interna mc/h	Resa frigorifera kW	Resa termica (*) kW	Rumorosita' unita' interna dB (A)	Rumorosita' unita' esterna dB (A)
A	390	2,0	2,5	34	52
B	430	3,0	4,0	37	52
C	700	4,0	5,0	42	56
D	780	5,0	6,0	42	56

LEGENDA

1	UNITA' INTERNA COMPLETA DI: * VENTILATORE A QUATTRO VELOCITA' * BATTERIA CON TUBI IN RAME ED ALETTE IN ALLUMINIO * FILTRO LAVABILE AI CARBONI ATTIVI * REGOLAZIONE A MICROPROCESSORE	4	BASAMENTO DI APPOGGIO IN ACCIAIO ZINCATO A CALDO
2	UNITA' MOTOCONDENSANTE ESTERNA, DI TIPO SILENZIATO, CON: * VENTILATORE ASSIALE * COMPRESSORE ROTATIVO CON INVERTER * BATTERIA CON TUBI IN RAME ED ALETTE IN ALLUMINIO * GRIGLIA PROTEZIONE VENTILATORI * FREON R410A OD ECOLOGICO	5	TUBAZIONE SCARICO CONDENZA IN PVC Ø1" (DA RACCORDARE ALLO SCARICO PIU' VICINO)
3	TUBAZIONI IN RAME COLLEGAMENTO UNITA', COIBENTATE, MAX 25 m	6	QUADRO ELETTRICO DI ALIMENTAZIONE
		7	SONDA DI TEMPERATURA AMBIENTE E TELECOMANDO A RAGGI INFRAROSSI CON DISPLAY DIGITALE
		8	GOMMA SEMIRIGIDA ANTIVIBRANTE

N.B. PREVEDERE UNITA' IN POMPA DI CALORE, CON INVERTER CLASSE DI EFFICIENZA ENERGETICA "A"

(*) CON T esterna: -8°C RESA INVERNALE 50%

OTTIANO
E STRADON
CASINAT

MUB



Cassonetti insonorizzati per interno e per esterno

Descrizione:

cassa di contenimento con intelaiatura in profilati di alluminio, insonorizzazione interna con 20 mm lana minerale fonoassorbente, girante centrifuga a pale curve rovesce costruita in poliammide fino al modello 355, in alluminio per i restanti modelli.

Motore a rotore esterno fino al modello 450, e di tipo standard IEC per i restanti modelli.

Alimentazione elettrica:

Modello MUB...E: 230/1/50
Modello MUB...D: 400/3/50

Accessori:

giunto flessibile, adattatore conico flessibile, tettuccio parapigioggia, serrande di sovrappressione, rete di protezione, regolatori di velocità

A richiesta:

Versione con lamiera forata interna per migliore insonorizzazione
Versione per aspirazione cappe da cucina. Motore esterno al flusso d'aria. Max temperatura aria trattata: 130°C

Installazione:

In qualsiasi posizione, il lato aspirazione è quello con la bocca circolare

Prerogative:

livelli sonori particolarmente contenuti e compattezza

Utilizzo:

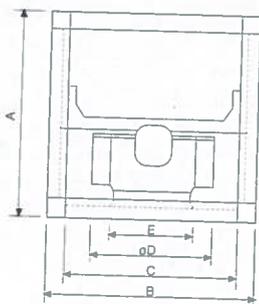
impianti di ventilazione civili e industriali. Può essere utilizzato come estrattore in alternativa al tornio, oppure come immissore.

PREZZI

Modello	€	No. poli	Potenza assorbita (kW)	Corrente assorbita	Rumorosità max dB(A) a 3m	Grado di protezione	Classe Isolamento	Regolatori di velocità trasfor. 5 posiz.	Regol. Continuo
MUB 025 355E4-A2	1336	4	0,26	1,19	36	IP44	B	RE1,5	REE2
MUB 025 355DV-A2	1384	4	0,24	0,54	36	IP44	A	RTRD7	KV-FC 20 022
MUB 042 400E4-A2	1580	4	0,47	2,13	39	IP54	F	RE3	REE4
MUB 042 400DV-A2	1623	4	0,43	0,83	39	IP54	F	RTRD2	KV-FC 20 022
MUB 042 450E4-A2	1815	4	0,76	3,33	42	IP54	F	RE5	REE4
MUB 042 450DV-A2	1700	4	0,73	1,32	42	IP54	F	RTRD2	KV-FC 20 022
MUB 042 499E4-A2	2265	4	1,023	4,72	38	IP54	F	RE5	REE 050TRO
MUB 042 499DV-A2	1896	4	1,457	1,64	38	IP54	F	RTRD2	KV-FC 20 022
MUB 042 500E4-A2	2437	4	1,30	5,78	56	IP54	F	RE7	REE 100TRO
MUB 042 500D4-A2 IE2	1913	4	1,356	3,39	55	IP55	F	-	KV-FC 20 037
MUB 062 560D4-A2 IE2	2408	4	2,437	4,64	56	IP55	F	-	KV-FC 20 072
MUB 062 560D6-A2 IE2	2233	6	0,77	1,98	47	IP55	F	-	KV-FC 20 022
MUB 062 630D4-A2 IE2	2657	4	4,411	8,12	68	IP55	F	-	KV-FC 20 090
MUB 062 630D6-A2 IE2	2696	6	1,407	3,61	53	IP55	F	-	KV-FC 20 037
MUB 062 630DV-B2	3974	4	3,89	6,4	59	IP54	F	RTRD 7	KV-FC 20 072
MUB 100 630D4-L IE2	4317	4	5,477	9,54	74	IP55	F	-	KV-FC 20 120
MUB 100 710D6-A2 IE2	3758	6	2,44	5,1	59	IP55	F	-	KV-FC 20 053

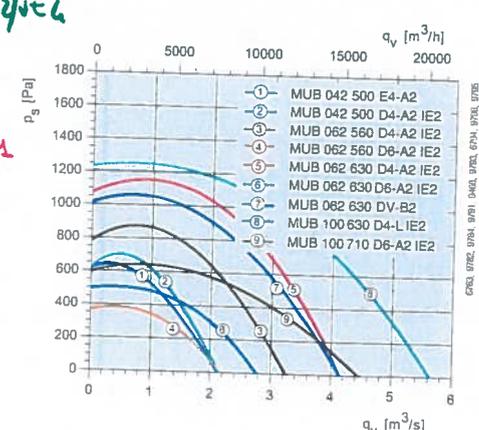
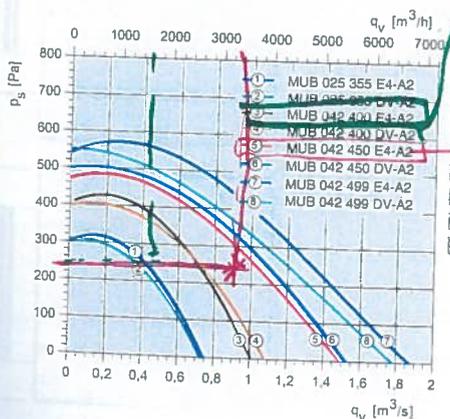
DIMENSIONI (mm)

Grandezza	A	B	C	ØD	E	Peso kg
MUB 355	500	500	420	355	224	37
MUB 400	670	670	590	404	253	58
MUB 450	670	670	590	454	286	62
MUB 499/500	670	670	590	504	321	70
MUB 560	800	800	720	570	361	130
MUB 630	800	800	720	635	407	145
MUB 710	1000	1000	920	715	460	160



SELEZIONE RAPIDA

Flusso d'aria 90°



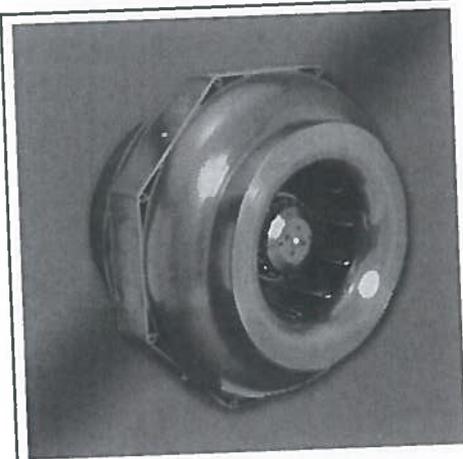
DIAMANO

08/01/2019

VENTILATORI CENTRIFUGHI IN LINEA

SERIE ILC - ESPADA

- Diametro girante da 100 a 315 mm
- Portate d'aria fino a 1.700 m³/h
- Pressioni statiche fino a 700 Pa
- Temperatura di esercizio da +45°C a +70°C a seconda dei modelli
- Motori a rotore esterno regolabili



Ventilatori centrifughi in linea per condotti circolari, per installazione in qualsiasi posizione.
 Cassa di forma ottagonale in resina poliammidica rinforzata con fibra di vetro, autoestinguente, antistatica, resistente agli urti e agli agenti corrosivi, con alette postraddrizzatrici e morsettiera esterna. Girante centrifuga a pale rovesce in resina (modello 315 in lamiera di acciaio zincato). Motore a rotore esterno regolabile, direttamente accoppiato, classe B, IP44.
 Protezione termica incorporata.
 Gruppo motore-girante bilanciato dinamicamente secondo ISO 1940.
 Alimentazione elettrica: Monofase 230V 50Hz

- Accessori:
- Fascette di fissaggio (coppia)
- Cassette filtranti
- Regolatori di velocità
- Serrande a sovrappressione
- Silenziatori circolari

VE07

Caratteristiche tecniche

Modello	Diametro mm.	Giri/min.	Potenza assorbita W	Corrente nomin. A	Regolatore		Temperatura max esercizio °C	LPS* dB(A)
					Electron.	Autotrasf.		
ILC 100	100	2480	65	0,3	EEID 2	TEID 1,5	70	44/55
ILC 125	125	2415	65	0,3	EEID 2	TEID 1,5	70	44/56
ILC 150	150	2400	70	0,3	EEID 2	TEID 1,5	70	42/54
ILC 160	160	2400	70	0,3	EEID 2	TEID 1,5	70	42/54
ILC 200	200	2400	115	0,5	EEID 2	TEID 1,5	60	45/59
ILC 250	250	2560	160	0,65	EEID 2	TEID 1,5	55	44/58
ILC 315	315	2390	300	1,3	EEID 2	TEID 1,5	45	44/53

* Livelli di pressione sonora irradiata/aspirazione misurati a 1 metro in campo libero.

VE05 VE06

Tabella di selezione rapida

Modello	Portata (m ³ /h) in funzione della pressione statica (Pa)								
	50	100	150	200	250	300	350	400	500
ILC 100	200	155	115	80					
ILC 125	320	280	230	180	115				
ILC 150	415	360	310	260	200				
ILC 200	750	660	560	475	380	280			
ILC 250	910	820	730	610	500	415	325	200	
ILC 315	1700	1580	1450	1350	1220	1130	940	850	590

VE07

VE05

VE06

VE05

VE06

Scuola Media E. Panzacchi
Ozzano dell'Emilia - Viale Il giugno, 47

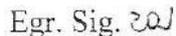
ALLEGATO B

Determina dirigenziale
TECNICO COMPETENTE IN ACUSTICA AMBIENTALE

Data 15 LUG. 2011

Protocollo 12833 /DB10.04

Classificazione 13.90.20

Egr. Sig. 

DEVECCHI Chiara

Via Michelangelo Buonarroti 62

10088 - VOLPIANO (TO)

Oggetto: L. 447/1995 - Attività di tecnico competente in acustica ambientale.

Si comunica che con determinazione dirigenziale n. 222/DB10.04 del 14/7/2011 allegata, la domanda da Lei presentata ai sensi dell'art.2, comma 7, della L. 26/10/1995 n. 447 è stata accolta. Detta determinazione sarà pubblicata sul Bollettino Ufficiale della Regione Piemonte unitamente al cinquantottesimo elenco di Tecnici riconosciuti.

Come previsto dall'art. 16, comma 2, della legge regionale 20 ottobre 2000, n. 52, i dati personali utili al fine del Suo reperimento, da Lei forniti in allegato alla domanda (cognome, nome, comune, numero di telefono fisso, numero di cellulare e indirizzo e-mail), saranno inseriti nell'elenco dei tecnici riconosciuti da questa Regione. Le eventuali comunicazioni di aggiornamento di tali dati possono essere comunicate a questa Direzione Ambiente, via Principe Amedeo 17 - 10123 TORINO anche via FAX al numero 011 432 3665.

Distinti saluti.

Il Dirigente del Settore

(ing. Carla CONTARDI)



referente:
Baudino/Rosso
Tel. 011/4324678-4479

Lettera accoglimento domanda tecnico competente in acustica

Data ...23 APR. 2014

Protocollo ...5653 /DB10.13

Classificazione 13.90.20/TC/9/2014A

Egr. Sig.
ONALI Paolo
Via Garibaldi 31
10122 - TORINO (TO)

Oggetto: L. 447/1995 - Attività di tecnico competente in acustica ambientale.

Si comunica che con determinazione dirigenziale n. 143/DB10.13 del 15/4/2014 allegata, la domanda da Lei presentata ai sensi dell'art.2, comma 7, della L. 26/10/1995 n. 447 è stata accolta. Detta determinazione sarà pubblicata sul Bollettino Ufficiale della Regione Piemonte unitamente al sessantanovesimo elenco di Tecnici riconosciuti.

Come previsto dall'art. 16, comma 2, della legge regionale 20 ottobre 2000, n. 52, i dati personali utili al fine del Suo reperimento, da Lei forniti in allegato alla domanda (cognome, nome, comune, numero di telefono fisso, numero di cellulare e indirizzo e-mail), saranno inseriti nell'elenco dei tecnici riconosciuti da questa Regione. Le eventuali comunicazioni di aggiornamento di tali dati possono essere comunicate a questa Direzione Ambiente, via Principe Amedeo 17 - 10123 TORINO anche via FAX al numero 011 432 3665.

Distinti saluti.

Il Dirigente del Settore
(*arch. Graziano VOLPE*)



referente:
Roberta BAUDINO/Carla ROSSO
Tel. 011/4324679-0114324479

Lettera accoglimento domanda tecnici competenti in acustica ambientale