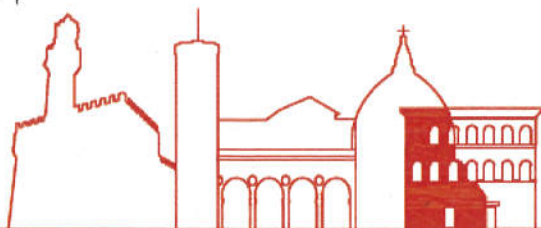




COMUNE DI
FIRENZE



DIREZIONE SERVIZI TECNICI
SERVIZIO SUPPORTO TECNICO AI QUARTIERI ED IMPIANTI SPORTIVI

Prog. n. L0175/2016
rev. Febbraio 2018

**SCUOLA GUICCIARDINI
LAVORI DI COMPLETAMENTO AUDITORIUM
C.O. 170292**

PROGETTO ESECUTIVO

R.U.P.:

Ing. Michele Mazzoni 

Supporto al R.U.P.:

Vie en.ro.se. Ingegneria srl - Arch. Lucia Busa
Ing. Alessandro Meschi

Architettonico

Progettisti:

Geom. Bruno Ulivi
Ing. Samuele Cappelli
Geom. Marco Noferi
Geom. Tamara Paoli



Strutturale

Progettista:

Ing. Claudio Brunori 

Coord. Progettazione Impianti:


Ing. Filippo Cioni 

Impianti Meccanici

Progettisti:

Ing. Simone Ferroni
P.I. Lorenzo Cappugi
P.I. David Cionini
P.I. Sandro Faggi

Collaboratori:

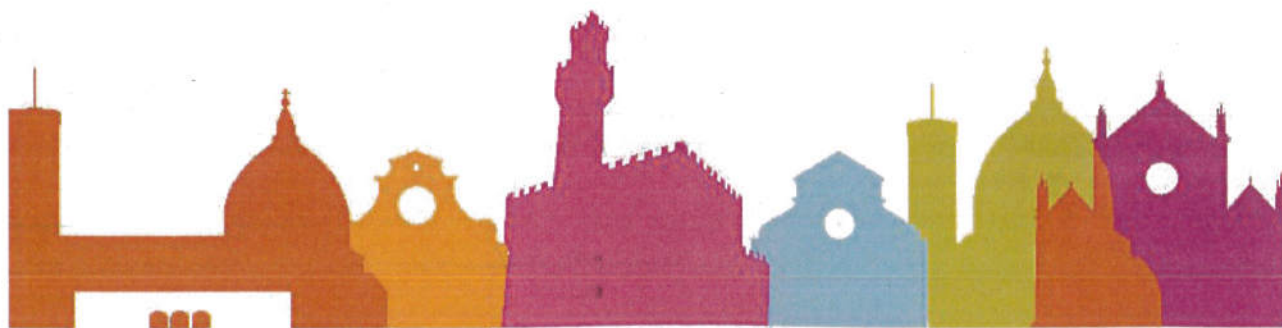
Add. Tecn. Albano Parisi 
Add. Tecn. Claudio Pollastrini 

Impianti Elettrici

Progettisti:

P.I. Valter Masini 
P.I. Nicola Riccarelli

RELAZIONE ACUSTICA	NOME FILE	DATA	ELABORAZIONE
	SPAC01	Febbraio 2018	



INDICE

1. NATURA E DESCRIZIONE DELL'INCARICO	4
1.1 Descrizione dell'intervento edilizio.....	4
2. QUADRO DI RIFERIMENTO NORMATIVO	7
2.1 Leggi di riferimento.....	7
2.2 Legislazione regionale e comunale vigente:	7
2.3 Norme tecniche.....	7
PARTE 1	8
3. DEFINIZIONE DELLE GRANDEZZE CHE CARATTERIZZANO IL COMFORT ACUSTICO E VALORI OTTIMALI DI PROGETTO	9
3.1 Premessa	9
3.2 La destinazione d'uso della sala.....	10
3.3 Il tempo di riverberazione.....	10
3.4 Bass Ratio (BR)	13
3.5 Tempo di ritardo iniziale (ITDG).....	13
3.7 Chiarezza (C_{80} e C_{50}).....	14
3.8 Definizione (D_{50}).....	14
3.8 Tempo baricentrico (t_s)	14
3.9 Rinforzo del suono (G)	14
3.10 Speech Transmission Index (STI).....	15
4. VERIFICHE GEOMETRICHE DELLA SALA E INDICAZIONE DEI SISTEMI E MATERIALI ACUSTICI	16
4.1 Forma e dimensioni della sala.....	16
4.2 Profilo del controsoffitto acustico della sala	18
4.3 Profilo delle contropareti acustiche.....	21
4.4 Rivestimento fonoassorbente della parete di fondo.....	23
4.5 Zona della balconata	25
4.6 Altri materiali	26
5. SIMULAZIONI CON IL SOFTWARE RAMSETE	27
5.1 Descrizione del modello di calcolo.....	27
5.2 Risultati delle simulazioni acustiche preliminari.....	29
5.3 Risultati delle simulazioni acustiche per la configurazione di progetto	30
6. REQUISITI ACUSTICI PASSIVI DEGLI ELEMENTI COSTRUTTIVI	36
6.1 Introduzione.....	36
6.2 Requisiti passivi degli elementi costruttivi	36
PARTE 2	39
7. VALUTAZIONE PREVISIONALE DI IMPATTO ACUSTICO DELL'AUDITORIUM ESTERNO	40
7.1 Introduzione.....	40

7.2 Descrizione dello scenario di emissione sonora	40
7.3 Descrizione delle sorgenti	41
7.4 Descrizione dello scenario di immissione sonora	41
7.5 Valori limite di riferimento.....	44
7.6 Costruzione del modello di simulazione acustica	45
7.7 Rumore residuo.....	46
7.8 Livelli sorgente prodotti dalle attività dell’auditorium esterno	49
7.9 Verifica dei limiti di emissione	56
7.10 Verifica dei limiti di immissione	56
7.11 Verifica del criterio differenziale di immissione	56
PARTE 3	59
8. VALUTAZIONE PREVISIONALE DI IMPATTO ACUSTICO DEGLI IMPIANTI TECNOLOGICI SUI RICETTORI ESTERNI	60
8.1 Introduzione.....	60
8.2 Descrizione dello scenario di emissione sonora	60
8.3 Descrizione delle sorgenti	61
8.4 Descrizione dello scenario di immissione sonora	64
8.5 Valori limite di riferimento.....	64
8.6 Costruzione del modello di simulazione acustica	64
8.7 Rumore residuo.....	65
8.8 Livelli sorgente prodotti dagli impianti tecnici	65
8.9 Verifica dei limiti di emissione	69
8.10 Verifica dei limiti di immissione	70
8.11 Verifica del criterio differenziale di immissione	70
PARTE 4	72
9. VALUTAZIONE PREVISIONALE DEI LIVELLI DI RUMOROSITÀ PRODOTTI DAGLI IMPIANTI MECCANICI ALL’INTERNO DELL’AUDITORIUM	73
9.1 Introduzione.....	73
9.2 Valori limite di riferimento.....	73
9.3 Descrizione delle sorgenti	74
9.4 Risultati delle verifiche acustiche.....	76
9.5 Indicazioni di posa circa la mitigazione del rumore impiantistico.....	78
10. CONCLUSIONI	80
10.1 Comfort acustico interno all’auditorium	80
10.2 Valutazione previsionale di impatto acustico dell’auditorium esterno sui ricettori esterni.	80
10.3 Valutazione previsionale di impatto acustico degli impianti tecnologici sui ricettori esterni	80
10.4 Valutazione previsionale dei livelli di rumorosità prodotti dagli impianti meccanici nell’auditorium.....	81

1. NATURA E DESCRIZIONE DELL'INCARICO

La Direzione Servizi Tecnici del Comune di Firenze ha affidato alla società Vie en.ro.se. Ingegneria l'incarico relativo alle prestazioni finalizzate al progetto acustico dell'Auditorium della Scuola Guicciardini, nell'ambito dei lavori di completamento del suddetto Auditorium.

Il presente report, relativo al Progetto Esecutivo dell'intervento in esame, è stato suddiviso in quattro parti differenti aventi i seguenti contenuti:

- Parte 1: Ottimizzazione acustica della sala principale con riferimento ai parametri oggettivi ottimali che definiscono la qualità acustica degli ambienti destinati all'ascolto della musica.
- Parte 2: Valutazione previsionale di impatto acustico dell'auditorium esterno.
- Parte 3: Valutazione previsionale di impatto acustico degli impianti tecnologici sui ricettori esterni.
- Parte 4: Valutazione previsionale dei livelli di rumorosità prodotti dagli impianti meccanici all'interno dell'Auditorium.

L'incarico è stato assolto per VIE EN.RO.SE. Ingegneria da:

- Arch. PhD Lucia Busa, tecnico competente in acustica ambientale della Regione Calabria (atto n. 297 del 24-01-07).

1.1 Descrizione dell'intervento edilizio

L'intervento edilizio in esame riguarda nello specifico i lavori di completamento dell'Auditorium di pertinenza della Scuola Guicciardini di Firenze, edificio già parzialmente realizzato, ma attualmente privo di serramenti esterni e di qualunque tipo di finitura interna.

La sala principale dell'Auditorium è collegata alla Scuola mediante un corridoio di passaggio, mentre non ha nessuna partizione direttamente in comune con gli ambienti scolastici. I volumi accessori saranno realizzati in adiacenza all'Auditorium mediante strutture tipo container disposti su tre dei quattro lati della sala.

L'auditorium è costituito da una sala disposta su unico livello, avente un volume pari a circa 2700 m³ su cui sono presenti circa 348 posti a sedere, 28 dei quali collocati al di sotto della sala regia.

Figura 1 – Planimetria dell'Auditorium inserita nel contesto

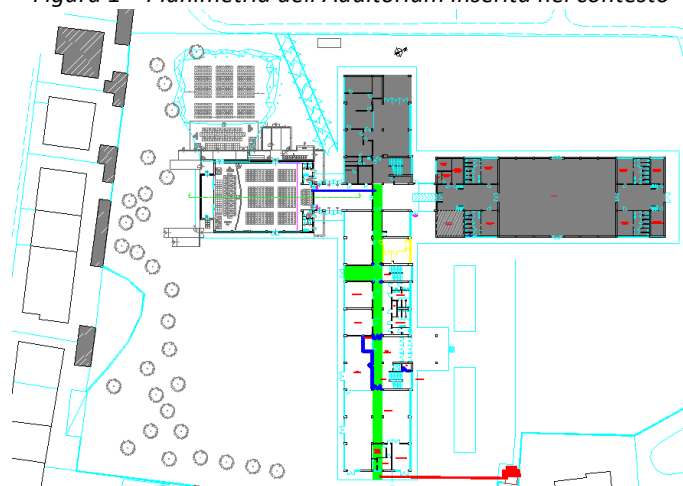


Figura 2 – Pianta della sala principale dell'Auditorium (livello platea)

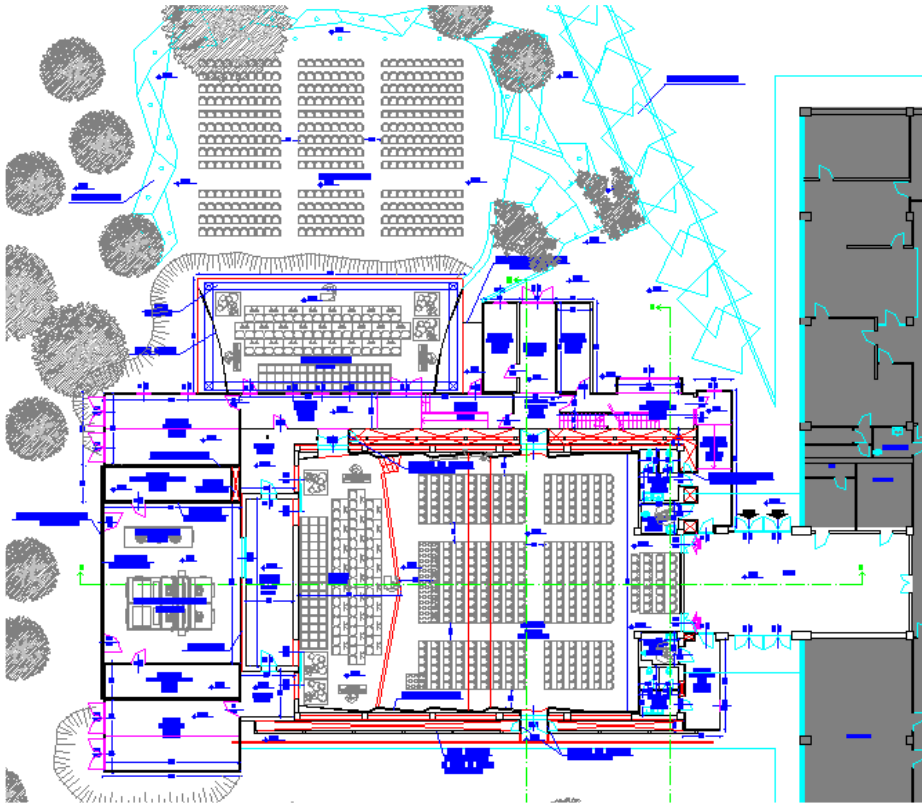


Figura 3 – Pianta della sala principale dell'Auditorium (livello sala regia)

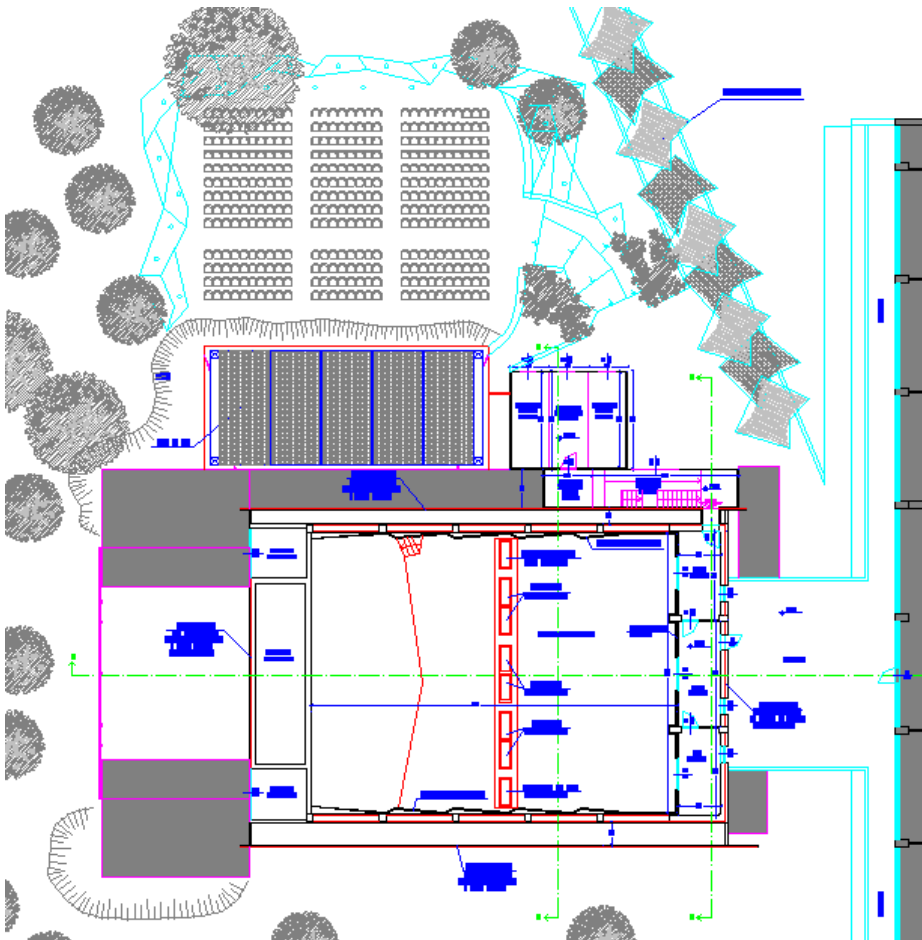


Figura 4 – Sezione dell'Auditorium

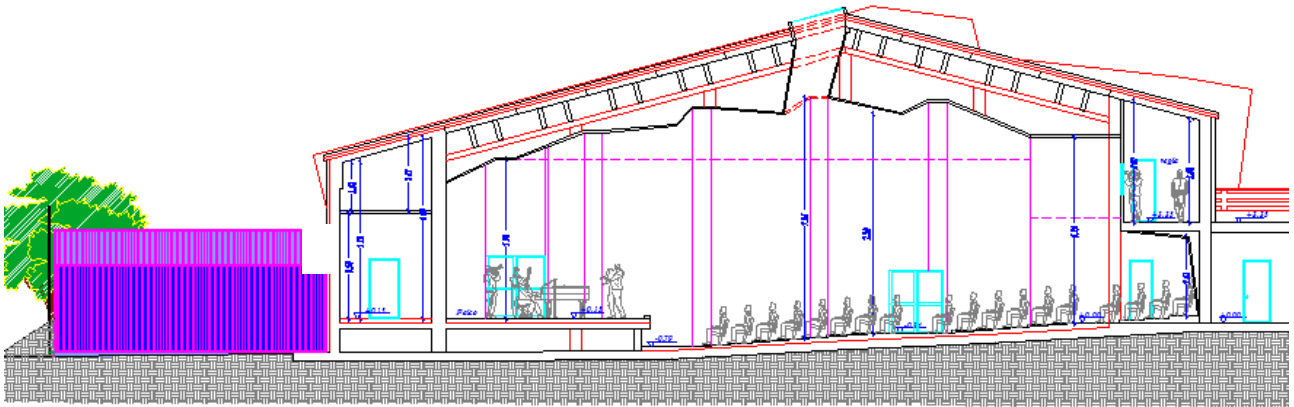
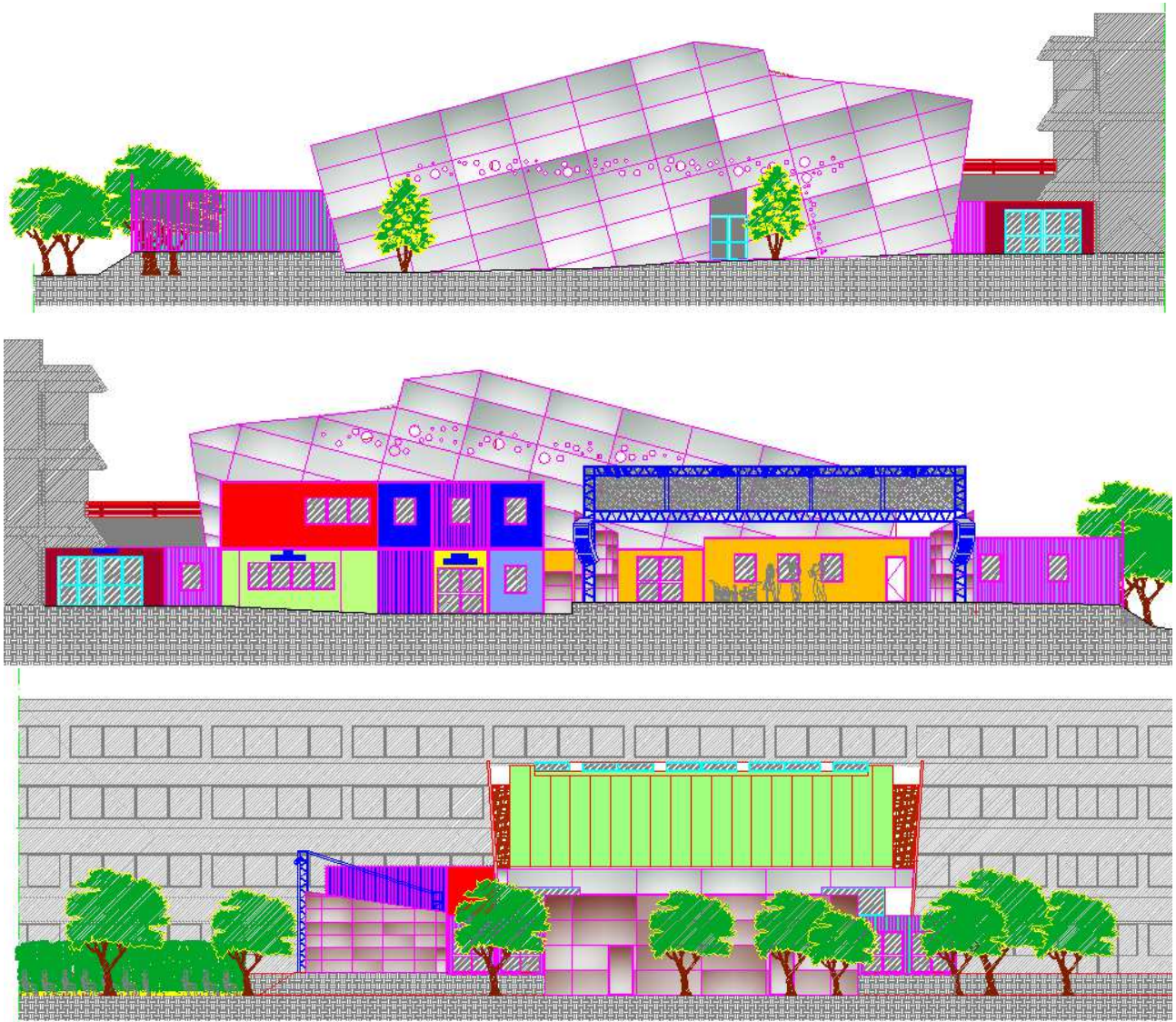


Figura 5 – Prospetti dell'Auditorium



2. QUADRO DI RIFERIMENTO NORMATIVO

2.1 Leggi di riferimento

- Legge 26 ottobre 1995 n. 447 “Legge Quadro sull’inquinamento acustico”;
- D.P.C.M. 14 novembre 1997 “Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore”;
- D.M. 16 marzo 1998 “Tecniche di rilevamento e misurazione dell’inquinamento da rumore”;
- D.P.R. 30 marzo 2004, n. 142 "Disposizioni per il contenimento e la prevenzione dell'inquinamento acustico derivante dal traffico veicolare, a norma dell'articolo 11 della legge 26 ottobre 1995, n. 447”;
- D.Lgs. 19 agosto 2005 n. 194 “Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale”.

2.2 Legislazione regionale e comunale vigente:

- Legge Regionale Toscana 01/12/1998, n. 89 “Norme in materia di inquinamento acustico” e s.m.i.;
- Deliberazione Giunta Regionale Toscana n. 857 del 21 ottobre 2013 "Definizione dei criteri per la redazione della documentazione di impatto acustico e della relazione previsionale di clima acustico ai sensi dell'art. 12, comma 2 e 3 della Legge Regionale n. 89/98”;
- Decreto del Presidente della Giunta Regionale Toscana n. 2/R del 8 gennaio 2014 “Regolamento regionale di attuazione ai sensi dell’articolo 2, comma 1, della legge regionale 89/1998” e s.m.i.;
- Piano Comunale di Classificazione Acustica del Comune di Firenze.

2.3 Norme tecniche

- UNI 11367 (ed. 2010) “*Classificazione acustica delle unità immobiliari*”.
- UNI 11532 (ed. 2014) “*Acustica in edilizia - Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinati*”.
- UNI EN 12354-6 (ed. 2006) “*Acustica in edilizia – Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti. Assorbimento acustico in ambienti chiusi*”.
- UNI EN ISO 3382-1 (ed. 2009) “*Acustica - Misurazione dei parametri acustici degli ambienti – Parte 1: sale da spettacolo*”.
- UNI EN ISO 354 (ed. 2003) “*Acustica - Misura dell'assorbimento acustico in camera riverberante*”.
- UNI 8199 (ed. 2016) “*Acustica in edilizia - Collaudo acustico di impianti a servizio di unità immobiliari - Linee guida contrattuali e modalità di misurazione all'interno degli ambienti serviti*”.
- UNI ISO 9613-2:2006 “*Acustica - Attenuazione sonora nella propagazione all'aperto - Parte 2: Metodo generale di calcolo*”.
- UNI 9884:1997 “*Caratterizzazione acustica del territorio mediante la descrizione del rumore ambientale*”.

PARTE 1

Progetto dell'ottimizzazione acustica dell'Auditorium

3. DEFINIZIONE DELLE GRANDEZZE CHE CARATTERIZZANO IL COMFORT ACUSTICO E VALORI OTTIMALI DI PROGETTO

3.1 Premessa

Per la verifica della qualità acustica degli ambienti interni si fa riferimento a diversi parametri, di cui il più importante e conosciuto risulta essere il tempo di riverberazione (TR). Questo rappresenta il tempo necessario affinché un livello sonoro stazionario presente nell'ambiente decada di 60 dB, ovvero diventi impercettibile per le persone¹ ed influenzi in maniera sensibile la qualità percettiva della voce e della musica.

Valori elevati del tempo di riverberazione causano fastidiosi incrementi del livello di rumorosità prodotto all'interno dell'ambiente stesso o proveniente da ambienti adiacenti, viceversa valori eccessivamente bassi determinano condizioni di "ambiente sordo". In generale, il valore ottimale di questo parametro dipende dal volume dell'ambiente, dalla frequenza del suono e dalla tipologia di attività (sala conferenze, attività musicale, ecc.).

Nel parlato l'interesse di un ascoltatore sta nel percepire ogni fonema con la massima chiarezza e quindi non mascherato da un suono di riverberazione. Nel caso della musica, invece, è auspicabile la presenza di un certo grado di riverberazione, variabile a seconda del genere musicale, indispensabile per ottenere certi effetti benefici quali il mescolamento dei suoni (amalgama) ed il legamento delle note. In relazione alla discontinuità del messaggio sonoro, assume poi particolare importanza il potere di risoluzione temporale dell'udito, ossia la capacità di udire due suoni come distinti al ridursi dell'intervallo temporale che li separa.

Dalla psicoacustica è infatti noto come l'udito, mentre riesce a percepire due suoni diversi nello stesso istante, tende invece a confondere due suoni uguali (di uguale frequenza) percepiti fino a qualche centesimo di secondo l'uno dall'altro; ciò dipende dal fatto che suoni di diversa frequenza vanno ad interessare terminazioni diverse del nervo acustico, per cui le sensazioni prodotte sono mantenute distinte. In pratica l'apparato uditivo umano si comporta, frequenza per frequenza, come un filtro integratore.

Ai fini dell'ascolto si può quindi ritenere interamente utile solo quella parte della riverberazione di un segnale che viene percepita con un ritardo, rispetto all'onda diretta, non superiore a qualche decina di millisecondi.

Per ritardi maggiori (di 35 ms circa), il suono di riverberazione è integrato solo parzialmente all'onda diretta e per una frazione che decresce progressivamente all'aumentare del ritardo fino a risultare completamente disturbante quando il ritardo supera il centinaio di millisecondi.

Si comprende ora l'importanza che assume in ogni punto di una sala la distribuzione temporale dell'energia dovuta al campo riverberante; una volta definita la natura del messaggio sonoro, il contributo della riverberazione può ritenersi utile, se non in certi casi indispensabile, unicamente se è ridotto il ritardo con il quale viene percepito rispetto al contributo diretto della sorgente.

In maniera molto sintetica le condizioni necessarie per ottenere una buona risposta acustica, oltre al tempo di riverberazione ottimale, in una sala sono le seguenti:

- Forma geometrica e dimensioni opportune;
- Livello sonoro sufficiente per tutti i punti di ascolto;
- Assenza di rumori disturbanti (elevato rapporto segnale/disturbo).

¹ La diminuzione di 60 dB corrisponde alla riduzione ad un milionesimo del quadrato della pressione sonora.

Per quanto riguarda la forma della sala occorre evitare difetti acustici tali da provocare la focalizzazione del suono o fenomeni di eco. Alcune forme delle pareti di confine della sala conducono a concentrazioni localizzate di energia sonora, per contro altri punti non ricevono abbastanza energia riflessa e il livello sonoro diviene insufficiente. Per ridurre fenomeni di questo tipo occorre evitare quanto più possibile le superfici concave.

Fra le caratteristiche geometriche della sala si deve includere la posizione reciproca della sorgente sonora e degli ascoltatori. La disposizione dei posti degli spettatori, come nel caso in esame su un piano inclinato (a livello della platea) consente una buona visione e, contemporaneamente, consente di evitare l'attenuazione acustica del suono diretto che si produce per assorbimento del suono radente sugli spettatori.

Per quanto riguarda il livello sonoro sufficiente per tutti i punti di ascolto, per assicurare una buona intelligibilità della parola occorre che questo sia almeno di 55 dB. Esistono in letteratura² delle tabelle che riportano il valore limite del volume superato il quale, a seconda del tipo di sorgente sonora, è necessario ricorrere ad un impianto di amplificazione (v. **tabella 1**).

Tabella 1 - Valori limite del volume oltre i quali è necessario ricorrere ad un impianto di amplificazione

Sorgente sonora	Volume (m ³)
Oratore	3000
Oratore addestrato (es. attore)	6000
Cantante o solista strumentale	10000
Orchestra sinfonica	20000

3.2 La destinazione d'uso della sala

Al fine di definire i valori ottimali dei parametri oggettivi di una sala occorre precisare la sua destinazione d'uso. Nel caso in esame la destinazione d'uso fissata dalla Committenza è quella relativa all'ascolto della musica. La sala verrà infatti prevalentemente usata per far suonare e cantare gli allievi della scuola, anche se non si esclude l'utilizzo da parte di enti diversi per altre finalità.

I valori dunque che hanno guidato la progettazione acustica sono quelli relativi all'ascolto della musica in condizioni di acustica naturale.

Di seguito si elenca il significato dei principali parametri oggettivi che determinano la qualità acustica di una sala e i relativi valori ottimali presi come riferimento per il progetto acustico in esame.

3.3 Il tempo di riverberazione

Il comportamento acustico degli ambienti chiusi è caratterizzato dalla presenza della riverberazione, ossia dalle conseguenze prodotte dei successivi rinvii dell'energia sonora da parte delle pareti di confine e degli eventuali oggetti presenti all'interno dell'ambiente.

Il campo sonoro risulta perciò costituito dalla sovrapposizione del campo sonoro diretto, dovuto alle onde sonore irradiate direttamente dalla sorgente, e del campo riverberato, prodotto dall'insieme dell'energia sonora rinviata.

² Moncada Lo Giudice G., Santoboni S., "Acustica", Casa Editrice Ambrosiana, Milano, 2000.

In acustica il parametro caratteristico utilizzato per determinare quantitativamente la rapidità di estinzione del campo sonoro riverberato è il *tempo di riverberazione*, TR, denominato anche durata convenzionale della coda sonora³.

Questo è definito come il tempo necessario perché a partire dall'istante di inizio del transitorio di estinzione la densità sonora nell'ambiente discenda di 60 dB.

Il valore del tempo di riverberazione T_{60} in base a numerose indagini sperimentali condotte da Sabine, risulta direttamente proporzionale al volume della sala e inversamente proporzionale ad un parametro A che prende il nome di *unità assorbenti totali* della superficie di confine della sala, secondo l'espressione:

$$T_{60} = 0.16 \frac{V}{\sum_i \alpha_i S_i}$$

dove:

T_{60} o TR = tempo di riverberazione (s);

V = volume dell'ambiente (m^3);

α_i = coefficiente di assorbimento della superficie i-esima;

S_i = area della superficie i-esima.

Il fenomeno della riverberazione in un ambiente chiuso presenta degli aspetti positivi e degli aspetti negativi. Se da una parte la presenza del campo sonoro riverberato è utile ai fini dell'ascolto, perché il suo contributo innalza il valore della densità di energia sonora in regime permanente e fornisce "condizioni naturali" di ascolto (quindi non deve essere eliminato del tutto), da un altro lato un valore eccessivo della sua durata peggiora la qualità dell'ascolto con perdita dell'intelligibilità e "impastamento" del segnale sonoro.

Alla luce di quanto appena detto il tempo di riverberazione, T_{60} , deve assumere, a seconda delle condizioni di ascolto, un valore ottimale in modo da offrire il miglior compromesso per l'influenza del campo sonoro riverberato sulla qualità dell'ascolto.

In linea generale si può dire che per sale destinate all'ascolto del parlato si richiedono valori di T_{60} più brevi, a parità di altre condizioni, che per le sale destinate allo svolgimento di programmi musicali. I valori più brevi di T_{60} si verificano nelle sale in cui il suono diretto viene privilegiato rispetto a quello riverberato, come avviene per le sale cinematografiche e, in generale, quando sia presente un sistema elettroacustico di diffusione sonora.

Nei calcoli riportati nei capitoli seguenti è stato considerato il T_{30} in quanto è più realistico del T_{60} , che si riferisce al decadimento completo del suono, che raramente occorre durante la sonorizzazione mediante musica o parlato.

Il valore del TR ottimale di un ambiente chiuso dipende, oltre che dalla destinazione d'uso, dallo spettro di emissione della sorgente e dal tipo di messaggio sonoro che verrà prodotto, anche dal volume della sala secondo i valori contenuti nella tabella che segue.

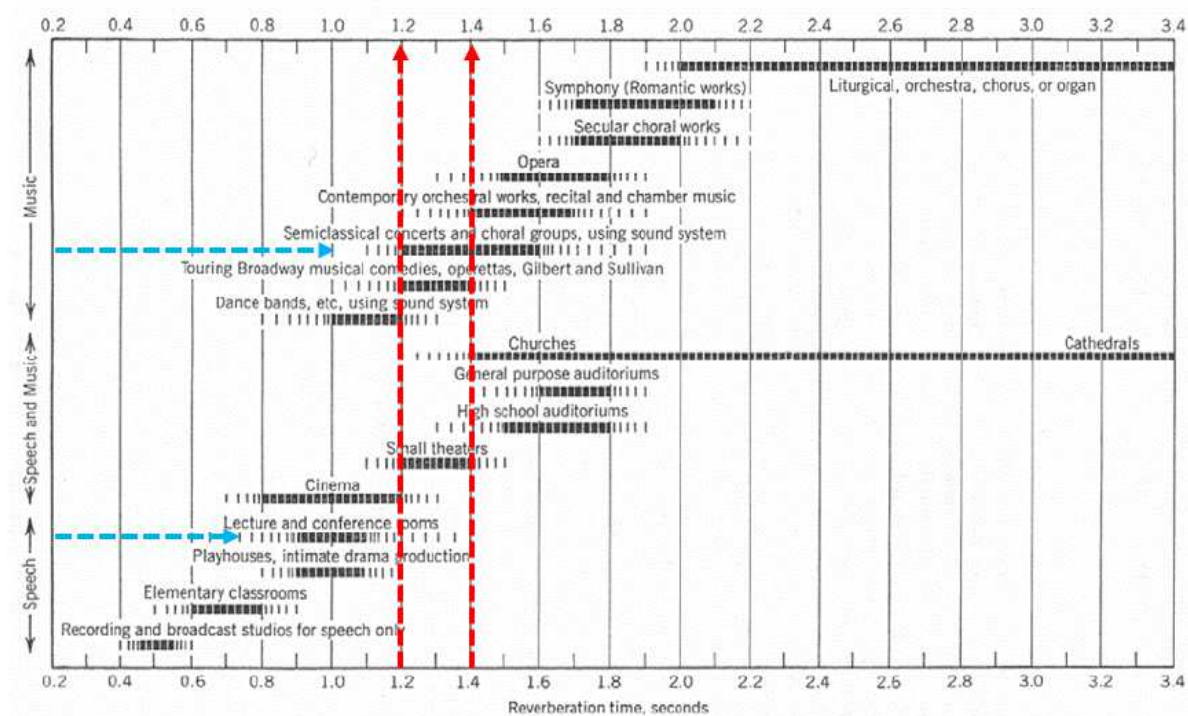
³ La normativa di riferimento per la misura del tempo di riverbero è la UNI EN ISO 3382-1

Tabella 2 - Tempi di riverberazione ottimali per la musica e la parola al variare del volume per la frequenza di 500 Hz

Volume (m ³)	Tempo di riverberazione TR (s)	
	Musica	Parola
1000	0,99÷1,25	0.75÷0.92
2500	1.1÷1.45	0.83÷1.02
5000	1.25÷1.65	0.92÷1.12
10000	1.4÷1.85	0.99÷1.21
15000	1.5÷2	1.04÷1.27
20000	1.55÷2.1	1.08÷1.32
25000	1.6÷2.15	1.12÷1.38

Come si vede nel grafico della figura seguente, il tempo di riverberazione medio assunto come riferimento di progetto alle frequenze medio-alte (500-2000 Hz) è pari a circa **1.2-1.4 secondi** al fine di poter garantire una certa versatilità di utilizzo della sala e consentire in maniera ottimale l'ascolto di diversi programmi musicali: recital, formazioni da camera, orchestre, ecc.

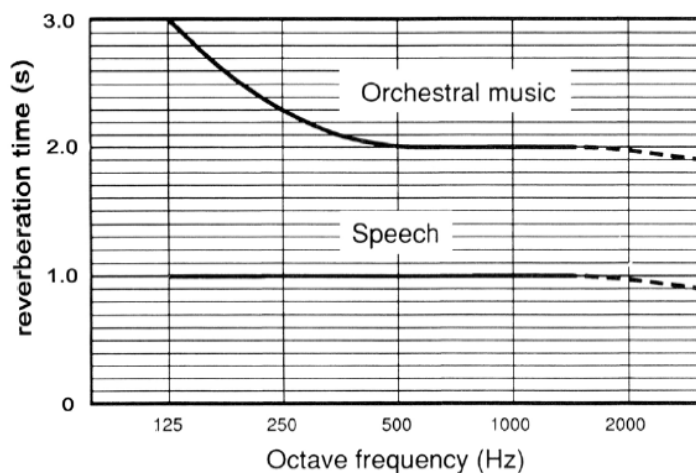
Figura 6 - Valori ottimali del tempo di riverberazione in funzione del volume della sala e della destinazione d'uso della sala, alle frequenze medie



Optimum reverberation (500–1000 Hz) for auditoriums and similar facilities. (Courtesy of Russell Johnson and Bolt Beranek and Newman, Inc.)

Oltre al valore medio del tempo di riverberazione è importante anche la distribuzione in frequenza per una ottimale percezione dei suoni. Secondo molti studiosi una riverberazione adeguata alle basse frequenze conferisce alla musica “pienezza delle note” e “vivezza”, mentre per il parlato è preferibile una risposta piatta.

Figura 7 – Andamenti in frequenza del tempo di riverbero ritenuti ottimali dagli studiosi in funzione del tipo di utilizzo della sala



Nella tabella che segue si riporta l'andamento in frequenza ottimale che è stato preso come riferimento per il progetto acustico del teatro in oggetto.

Tabella 3 – Range di valori ottimali di progetto del tempo di riverbero in frequenza

	Frequenza (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
TR ottimale minimo (s)	1.50	1.40	1.25	1.20	1.15	1.10
TR ottimale massimo (s)	1.70	1.60	1.46	1.40	1.34	1.29

3.4 Bass Ratio (BR)

Il Bass Ratio, BR, è il parametro che indica il calore del suono e della pienezza dei toni gravi. È il rapporto tra la somma del TR alle frequenze di 125 e 250 Hz con la somma del TR alle frequenze di 500 e 1000 Hz.

Le sale migliori si collocano nell'intervallo:

$$1.15 < BR < 1.25$$

3.5 Tempo di ritardo iniziale (ITDG)

Il tempo di ritardo iniziale, ITDG (ms), rappresenta il ritardo in millisecondi (ms) tra l'arrivo del suono diretto e la prima riflessione importante. È correlato alla sensazione di intimità e prossimità acustica del pubblico rispetto alla sorgente sonora.

Come si vedrà dalle verifiche che seguono, tale parametro si può calcolare sulla base della geometria della sala.

Il valore ottimale per la parola è:

$$ITDG \leq 25 \text{ ms}$$

mentre per la musica l'ITDG è accettabile fino a:

$$ITDG \leq 80 \text{ ms}$$

3.7 Chiarezza (C_{80} e C_{50})

La chiarezza, C_{80} e C_{50} (dB), è il rapporto logaritmico tra l'energia ricevuta rispettivamente entro 80 ms e 50 ms e tutta l'energia che segue.

Sono parametri che rappresentano il grado di distinguibilità del suono, ovvero quanto i singoli suoni sono distinguibili l'uno dall'altro all'interno di una emissione complessa. Una sala con un basso livello di chiarezza corrisponde a una bassa qualità acustica. Di contro, un livello troppo alto di questo parametro produce, nel caso delle performances musicali una resa sonora troppo "precisa" e priva di armonia.

I valori ottimali per una sala vuota alle frequenze medie (500-1000 Hz) sono i seguenti:

MUSICA

- 4 < C_{80} < 2 dB BUONO

C_{80} > 2 dB BUONO ma il suono tende ad essere percepito come "secco"

PARLATO

0 < C_{50} < 2 dB DISCRETO

C_{50} > +3 dB BUONO

3.8 Definizione (D_{50})

La definizione, D_{50} (%), è un parametro simile alla chiarezza, ma si relaziona alla distinguibilità e intellegibilità del parlato, piuttosto che alla chiarezza delle componenti di brani musicali. È dato dal rapporto tra l'energia sonora che arriva nei primi 50 ms e l'energia totale, pertanto rappresenta un valore percentuale.

Per il parlato il valore ottimale è:

$D_{50} \geq 50\%$

Per la musica il valore ottimale è:

$D_{50} \leq 50\%$

3.8 Tempo baricentrico (t_s)

Il tempo baricentrico, t_s (ms), è il tempo in cui arriverebbe l'energia se fosse "impacchettata" in una singola riflessione.

Il valore ottimale per la musica è:

50 < t_s < 250 ms

Il valore ottimale per il parlato è:

0 < t_s < 50 ms

3.9 Rinforzo del suono (G)

La qualità dell'ascolto è legata anche alla risposta dinamica della sala. Il parametro Rinforzo del suono rappresenta la valutazione della percezione quantitativa del suono, della sua "robustezza", secondo la definizione della Norma ISO 3382. Su questa caratteristica hanno influenza sia l'energia sonora generata sia le caratteristiche acustiche della sala.

Più alto è il valore che assume G, più forte e “robusto” è il suono rappresentato. Tale valore dipende dalla distanza fra sorgente e ricettore. Da qui si capisce perché questo valore sia alto in prossimità del palcoscenico e si riduca progressivamente, allontanandosi da esso.

A sala vuota il valore ottimale di G alle medie frequenze (500-1000 Hz) è:

G ≥ -4 dB (orchestra sinfonica)

G ≥ 1 dB (orchestra da camera, cantanti, solisti)

G ≥ 6 dB (oratore allenato, attore allenato)

G ≥ 11 dB (oratore, strumenti deboli)

3.10 Speech Transmission Index (STI)

Un metodo oggettivo per stabilire la qualità del parlato e quanto sia correttamente e chiaramente ascoltabile è basato sullo Speech Transmission Index (STI).

Lo STI è un parametro utile per la progettazione di un ambiente dedicato all’ascolto della parola dal momento che tiene conto degli effetti del rumore di fondo e della riverberazione sulla intellegibilità del parlato stesso.

Negli ambienti oggetto della presente relazione si è tenuto conto del rumore di fondo definito dalla curva NC25 che ha in frequenza i seguenti livelli sonori:

Tabella 4 – Qualificazione del rumore di fondo secondo la curva NC25

	125	250	500	1000	2000	4000	8000
NC25	44	37	31	27	24	22	21

I valori ottimali sono di seguito riportati:

0.45 < STI < 0.6 QUALIFICAZIONE INTELLEGIBILITÀ SUFFICIENTE

0.6 < STI < 0.75 QUALIFICAZIONE INTELLEGIBILITÀ BUONA

STI > 0.75 QUALIFICAZIONE INTELLEGIBILITÀ ECCELLENTE

4. VERIFICHE GEOMETRICHE DELLA SALA E INDICAZIONE DEI SISTEMI E MATERIALI ACUSTICI

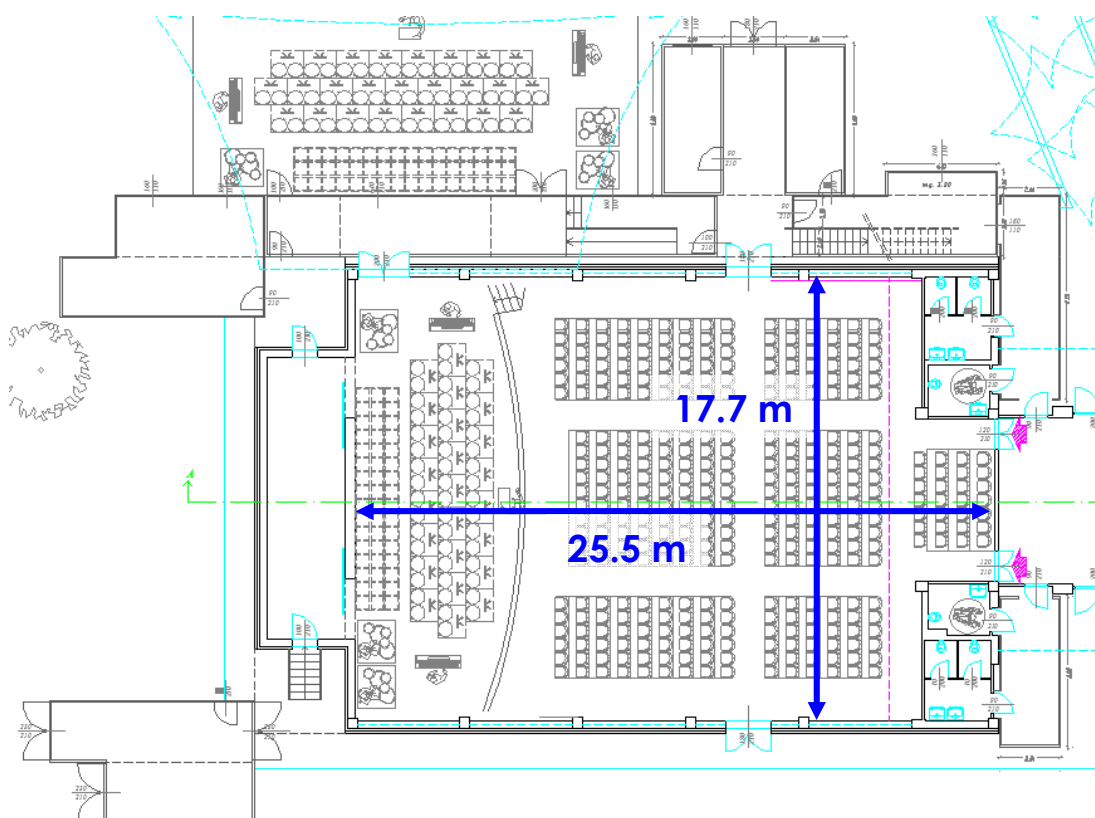
Le verifiche geometriche della sala hanno lo scopo di costruire la geometria degli elementi di finitura interni di progetto al fine di ottimizzare l'ascolto nelle varie zone della sala.

In particolare, gli elementi oggetto di verifica sono stati: controsoffitto acustico e contropareti della sala, parete di fondo e profilo del controsoffitto della zona al di sotto della balconata.

4.1 Forma e dimensioni della sala

La sala in esame ha forma rettangolare, volumetria complessiva della sala pari a circa 2700 m³ e il numero di posti è pari a 348, di cui 28 posizionati sotto la Sala Regia.

Figura 8 – Verifica delle dimensioni massime della sala



È stata fatta una prima verifica sulla geometria della sala (lunghezza e larghezza massima, massimo volume per il numero di posti, rapporti proporzionali, altezza massima del soffitto, ecc.) al fine di ottenere un corretto ascolto in tutti i suoi punti.

Considerando il livello di potenza sonora della voce di un oratore ed un livello di rumore di fondo di circa 25 dB(A), tipico dei teatri, affinché la voce sia udita anche alle ultime file senza che sia necessario l'impiego di un impianto elettro-acustico, occorre che la profondità della sala non sia maggiore di 25 m. Tale valore arriva a circa 40 m per le sale per la musica in cui le potenze sonore sono più elevate. Nel caso in esame la massima distanza sorgente –

ricevitore è di circa 25 m (v. **Figura 8**), pertanto idonea sia per l'ascolto del parlato che della musica in condizione di acustica naturale.

Affinché ci sia un ascolto ottimale è inoltre necessario che il livello sonoro nelle posizioni più lontane sia sufficientemente elevato da superare il rumore di fondo eventualmente esistente, ovvero che siano garantiti valori del rapporto Segnale/Rumore (S/N) elevati. Per garantire la massima intelligibilità dei suoni in condizioni naturali occorre non andare oltre un certo rapporto volume/numero di posti (V/N).

Nella sala in esame tale rapporto è pari a:

$$V/N = 7.8 \text{ m}^3$$

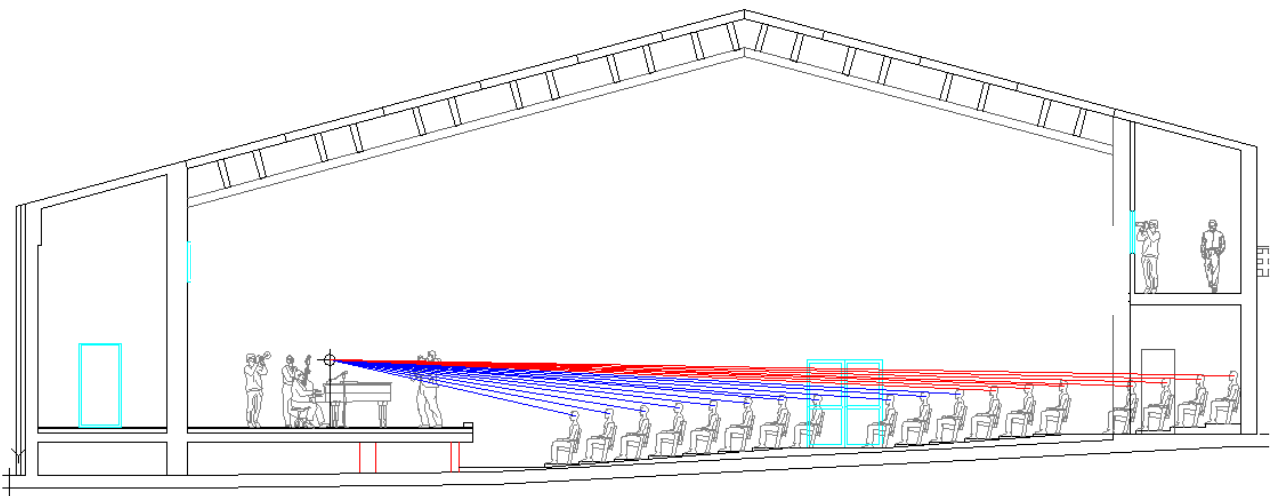
Dal confronto con i valori ottimali di questo parametro per le diverse destinazioni d'uso:

- $V/N \leq 6-7 \text{ m}^3$ **Musica da camera**
- $V/N \leq 8-10 \text{ m}^3$ **Musica sinfonica**
- $V/N \leq 4-5 \text{ m}^3$ **Parlato**

Si può desumere come questa sala per le sue caratteristiche di volume e numero di posti sia più adatta all'ascolto di musica che del parlato.

Nella figura che segue sono state costruite graficamente le onde sonore dirette per la posizione centrale della sorgente al fine di verificare che queste non siano schermate dalla testa degli spettatori che si trovano nella fila anteriore.

Figura 9 – Costruzione delle onde sonore dirette



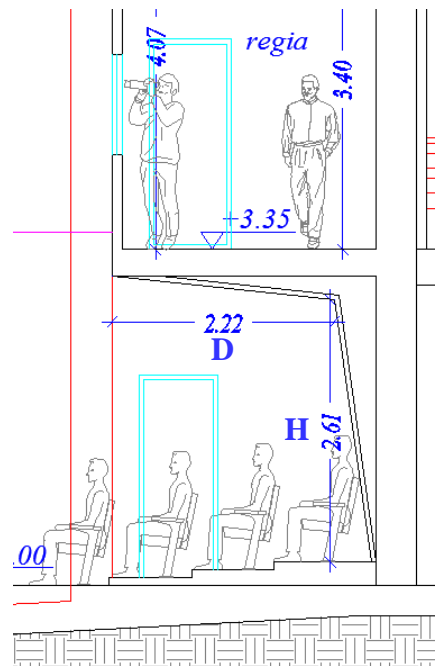
Dalla suddetta verifica emerge qualche problema di parziale schermatura dell'onda sonora diretta per le ultime sette file della platea. Tale problema, soprattutto nella parte centrale della platea potrebbe essere parzialmente attenuato disponendo le sedute in posizione sfalsata.

È stata inoltre effettuata una verifica geometrica sulle dimensioni della zona al di sotto della sala regia al fine di non avere difetti acustici quali echi o zone d'ombra. Affinché questi difetti siano evitati occorre che siano verificati i seguenti rapporti dimensionali:

$$D \leq H \text{ (auditorium)}$$

Nel caso in esame il rapporto dimensionale risulta essere rispettato (v. **Figura 10**).

Figura 10 – Verifica geometrica della zona al di sotto della Sala Regia



4.2 Profilo del controsoffitto acustico della sala

Attraverso la tecnica di verifica basata sul principio dell'acustica geometrica che consiste nel tracciamento di raggi sonori a partire dall'ipotetico centro di emissione sonora posizionato sul palco, è stato possibile ottimizzare acusticamente il profilo del controsoffitto acustico al fine di garantire che tutti i punti della sala siano raggiunti dalle prime riflessioni sonore utili, ovvero quelle che arrivano con un ritardo rispetto all'onda sonora diretta entro 80 ms per la musica e 35 ms per il parlato (v. **Allegato 4**). Tale tecnica inoltre permette di determinare graficamente eventuali fenomeni di "focalizzazione sonora". Il controsoffitto deve essere caratterizzato da un materiale fortemente riflettente, ovvero caratterizzato da una massa superficiale adeguata: $M' \geq 20 \text{ kg/m}^2$. Inoltre al fine di evitare risonanze di cavità, è necessario che al di sopra di questo siano posizionati pannelli fonoassorbenti tipo fibra di poliestere, spessore 80 mm e densità 40 kg/m^3 o prodotti similari.

Figura 11 – Zone della sala raggiunte dalle prime riflessioni sonore utili prodotte dal controsoffitto acustico per la sorgente in posizione centrale

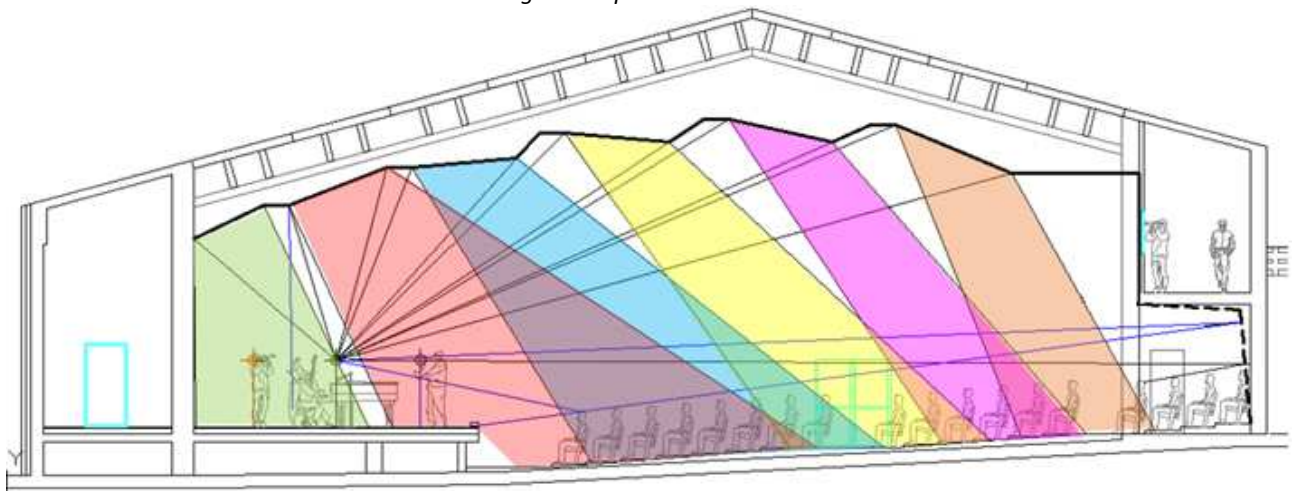


Figura 12 – Zone della sala raggiunte dalle prime riflessioni sonore utili prodotte dal controsoffitto acustico per la sorgente in posizione arretrata (es. posizione coro)

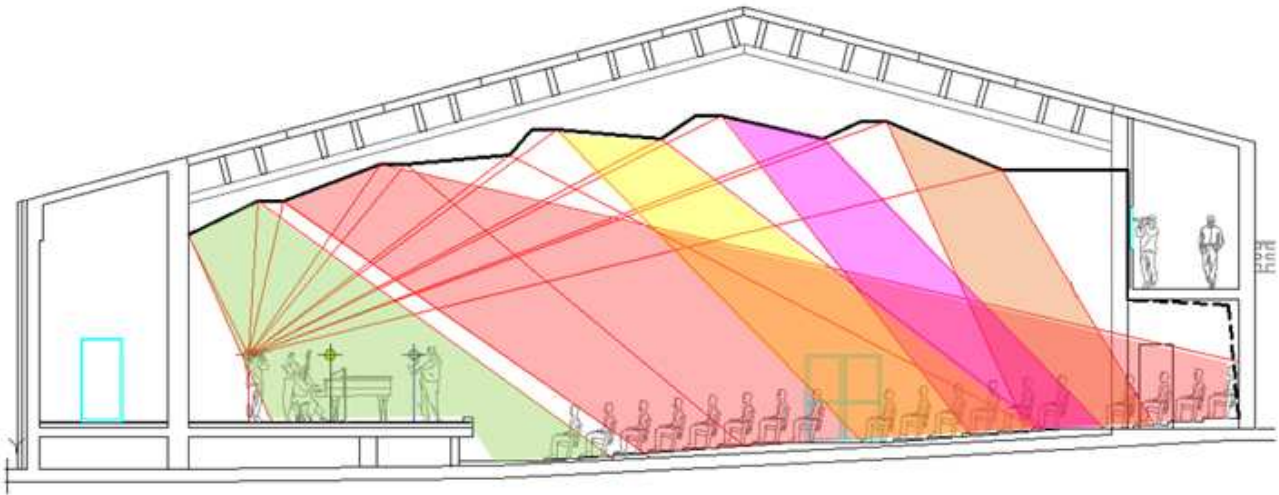
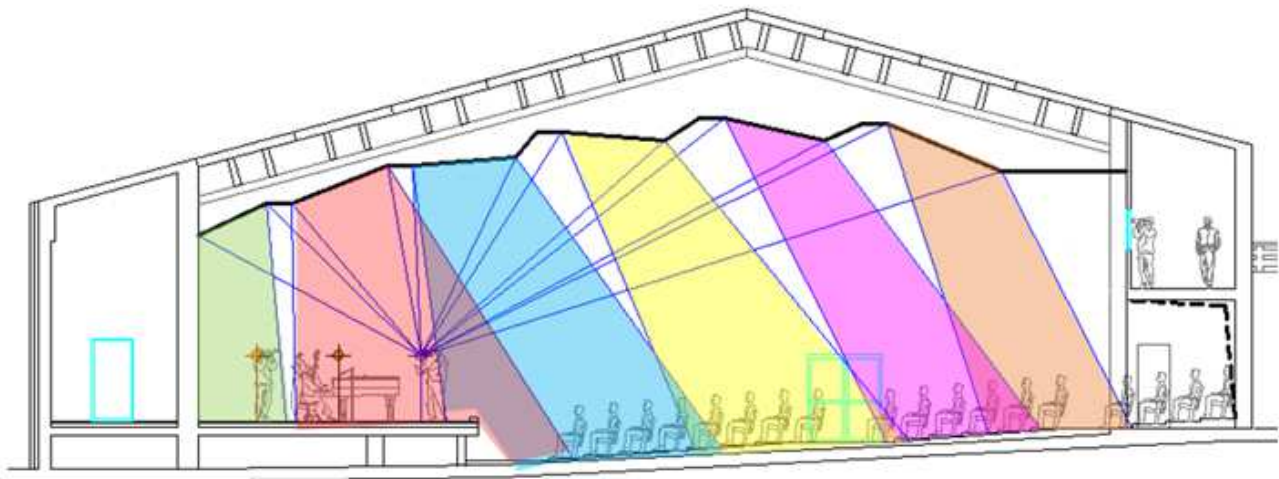


Figura 13 – Zone della sala raggiunte dalle prime riflessioni sonore utili prodotte dal controsoffitto acustico per la sorgente in posizione avanzata



Dalle costruzioni grafiche sopra riportate si può osservare come per le posizioni arretrate della sorgente (es. zona in cui è prevista la collocazione di un eventuale coro), il controsoffitto acustico produca riflessioni anche nella zona al di sotto della balconata.

L'altezza del controsoffitto è stata inoltre determinata al fine di rispettare le seguenti condizioni, necessarie per garantire riflessioni veramente utili sulla platea:

$$H \leq 3/3 r$$

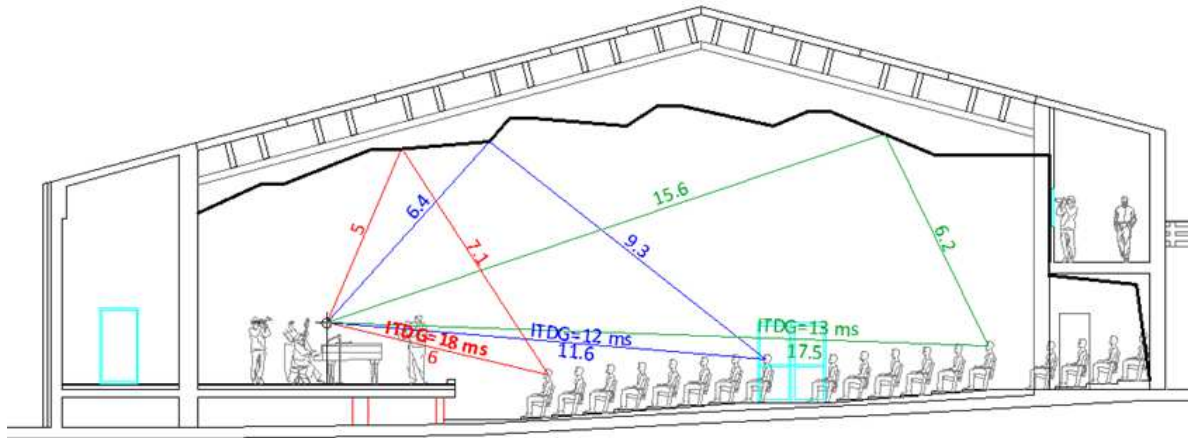
$$H \leq (8.5 \times (7+8.5))^{0.5}$$

Dove:

- H è l'altezza del triangolo avente come vertici la sorgente, il ricevitore e il punto di riflessione sul controsoffitto;
- r è la distanza sorgente/ricevitore.

Di seguito si riporta la verifica del parametro ITDG riferito alle prime riflessioni del soffitto.

Figura 14 - Verifica del tempo di ritardo iniziale (ITDG) delle riflessioni provenienti dal controsoffitto acustico



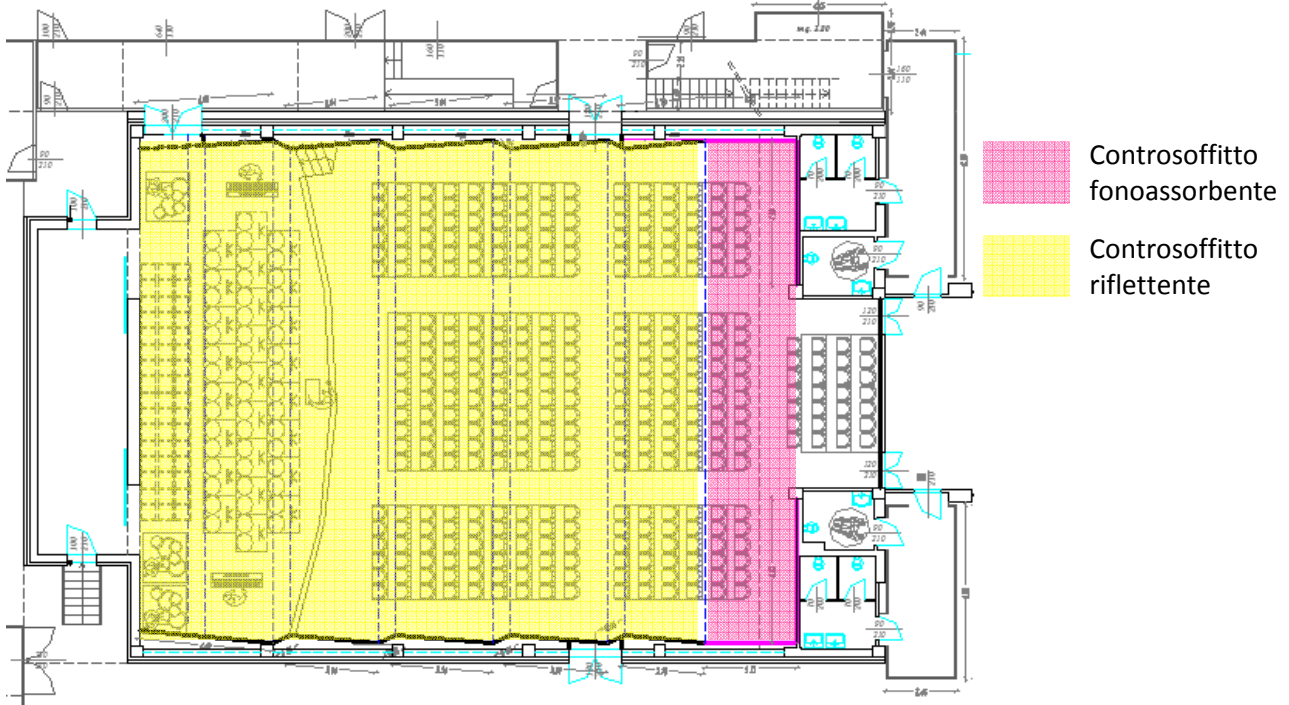
Nella configurazione studiata il tempo di ritardo delle prime riflessioni del soffitto (ITDG = 18 ms nella prima fila) risulta soddisfacente, poiché inferiore a 35 ms.

L’ultima parte del controsoffitto della sala (indicata con il tratteggio nelle precedenti sezioni e in magenta nella figura seguente) dovrà essere realizzato con materiale fonoassorbente tipo Rockfon Monoacoustic spessore 40 mm o prodotti similari, avente i seguenti coefficienti di assorbimento acustico α_p .

Tabella 5 – Coefficienti di assorbimento acustico α_p del controsoffitto fonoassorbente della sala

Coefficients di assorbimento acustico α_p	Frequenza (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Controsoffitto fonoassorbente Rockfon Monoacoustic	0.40	0.65	0.80	1.0	1.0	1.0

Figura 15 – Individuazione dei due sistemi con cui verrà realizzato il controsoffitto della sala



4.3 Profilo delle contropareti acustiche

Per incrementare le onde sonore riflesse sulle sedute e, allo stesso tempo, evitare l'insorgere di onde stazionarie dovute al parallelismo di ampie superfici riflettenti quali sono le pareti laterali, è opportuno creare dei piani inclinati anche sulle pareti, in analogia a quanto fatto per il controsoffitto. In aggiunta a ciò si sottolinea il fatto che le riflessioni laterali sono particolarmente importanti perché contribuiscono alla percezione della spazialità del campo. Maggiore sarà l'angolo di inclinazione della riflessione della parete e maggiore sarà l'impressione spaziale perché, contrariamente a quanto avviene per il soffitto, le riflessioni delle pareti non sono percepite allo stesso modo dalle orecchie.

Figura 16 – Zone della sala raggiunte dalle prime riflessioni sonore utili prodotte dalle contropareti acustiche per la sorgente in posizione centrale

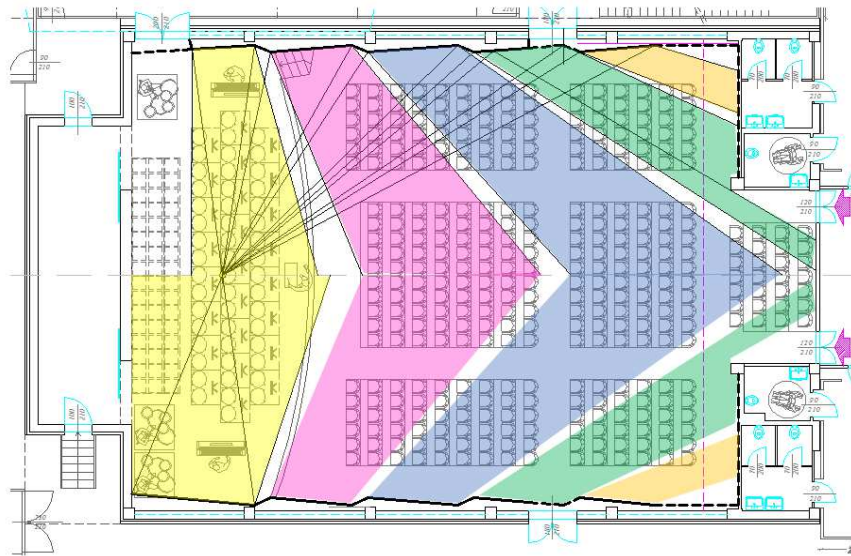


Figura 17 – Zone della sala raggiunte dalle prime riflessioni sonore utili prodotte dalle contropareti acustiche per la sorgente in posizione arretrata

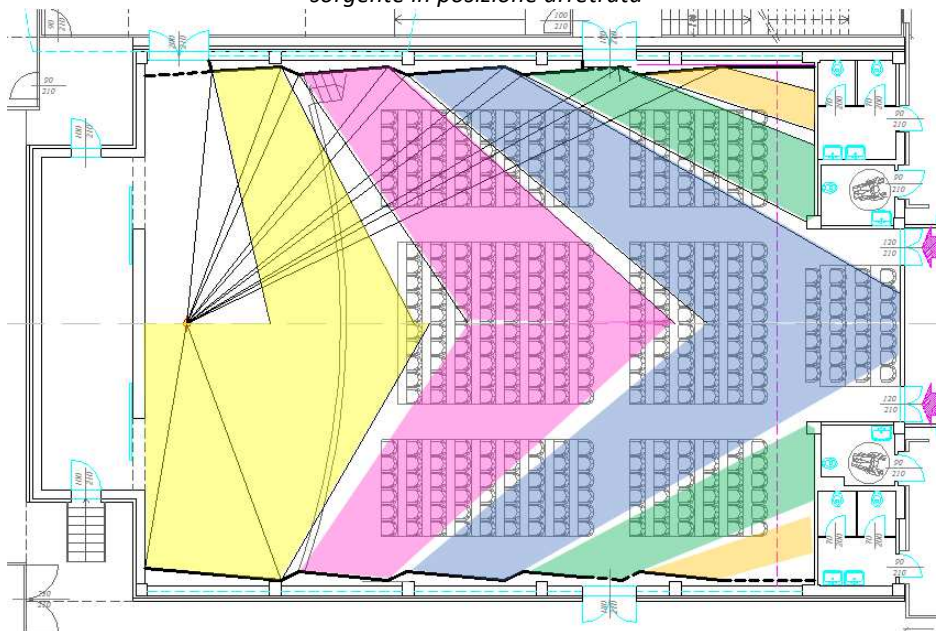
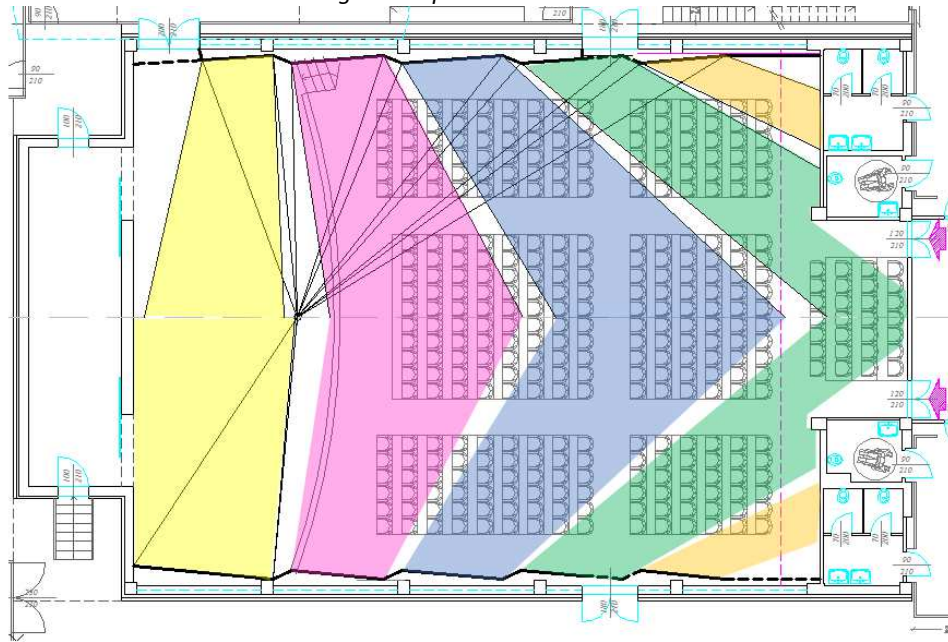
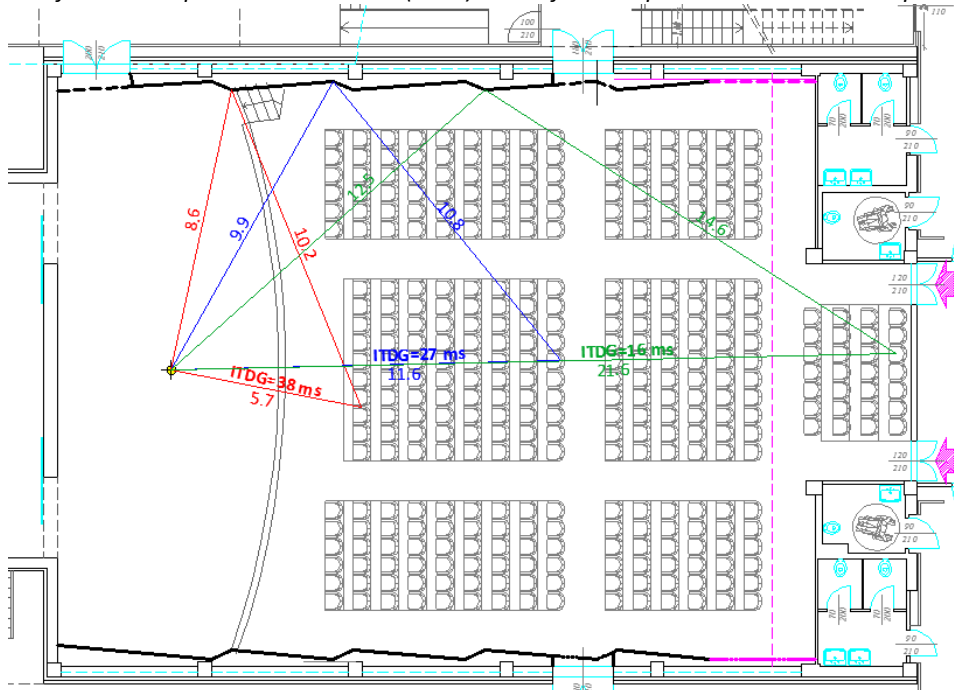


Figura 18 – Zone della sala raggiunte dalle prime riflessioni sonore utili prodotte dalle contropareti acustiche per la sorgente in posizione avanzata



Affinché tale rivestimento sia effettivamente riflettente anche alle basse frequenze è opportuno che sia caratterizzato da una massa superficiale opportuna: $M' \geq 20 \text{ Kg/m}^2$. È consigliabile inoltre inserire un materiale fonoassorbente nella retrostante intercapedine (es. fibra di poliestere spessore 50 mm e densità 40 kg/m^3 o prodotti simili).

Figura 19 - Verifica del tempo di ritardo iniziale (ITDG) delle riflessioni provenienti dalle contropareti acustiche

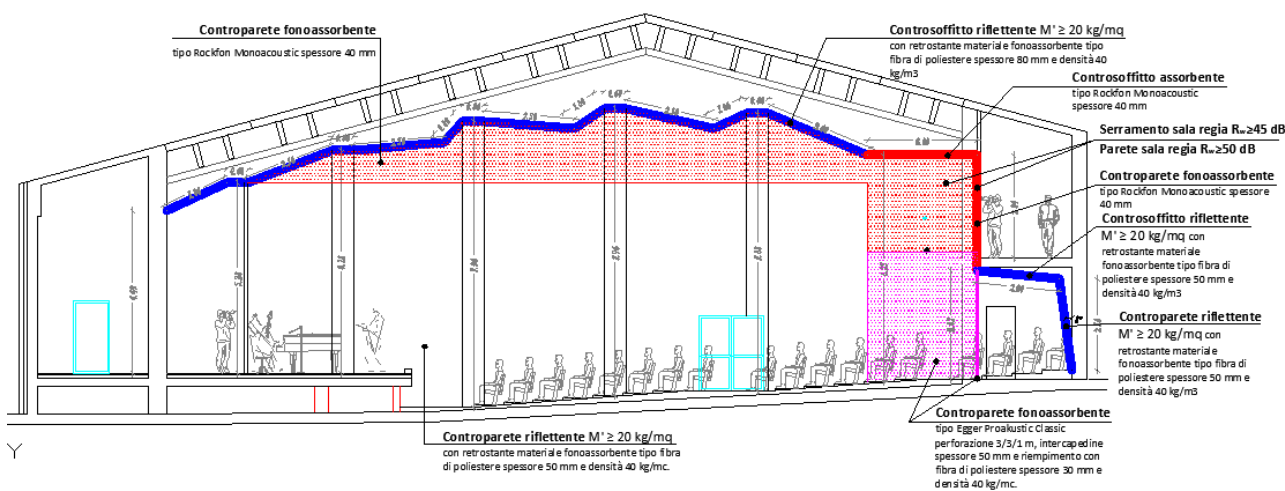


Nella configurazione studiata il tempo di ritardo delle prime riflessioni delle pareti (ITDG = 38 ms nella prima fila) risulta soddisfacente, poiché prossimo al valore ottimale di 35 ms.

Si prevede di rivestire la porzione delle pareti laterali più lontana con un sistema fonoassorbente tipo in pannelli di MDF forati o fessurati rivestito con lamina melamminica tipo Egger Proakustik Classic perforazione 3/3/1, posati con un'intercapedine pari a 50 mm, riempita parzialmente con un pannello in fibra di poliestere di spessore 30 mm e densità 30 kg/m^3 ;

Si prevede di rivestire la parte superiore delle pareti laterali della sala, in corrispondenza degli elementi di controsoffitto, mediante un sistema fonoassorbente tipo Rockfon Monoacoustic spessore 40 mm o prodotti similari (indicazione in rosso nella figura seguente).

Figura 20 – Individuazione in rosso delle porzioni di parete rivestite mediante un sistema fonoassorbente tipo Rockfon Monoacoustic



4.4 Rivestimento fonoassorbente della parete di fondo

La parete di fondo di una sala può essere una potenziale causa di echi. Il fenomeno, se presente, è particolarmente evidente nelle prime posizioni della sala dove la differenza di percorso tra raggio riflesso e diretto è maggiore.

A tal fine è opportuno trattare tutta la parete di fondo della sala, con eccezione della parete della zona sotto la balconata descritta al paragrafo seguente, con materiale fonoassorbente a banda larga.

Sono stati individuati due rivestimenti differenti a seconda che il materiale sia posto ad altezza uomo, quindi potenzialmente danneggiabile, o in aree non raggiungibili dalle persone, se non ai fini manutentivi. In particolare:

- **Rivestimento tipo 1 della parte bassa della parete di fondo** è stato previsto un sistema in pannelli di MDF forati o fessurati rivestito con lamina melamminica tipo Egger Proakustik Classic perforazione 3/3/1, posati con un'intercapedine pari a 50 mm, riempita parzialmente con un pannello in fibra di poliestere di spessore 30 mm e densità 30 kg/m^3 ;
- **Rivestimento tipo 2 della parte alta della parete di fondo** è stato previsto un sistema tipo Rockfon Monoacoustic in fibra minerale rivestita con una pittura acustica di spessore 40 mm.

Le caratteristiche acustiche dei sistemi analizzati nel presente studio sono quelle riportate nella **Tabella 6**.

Tabella 6 – Coefficienti di assorbimento acustico α_p dei rivestimenti fonoassorbenti della parete di fondo

Coefficients di assorbimento acustico α_p	Frequenza (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Rivestimento tipo 1 Egger Proakustik Classic perforazione 3/3/1	0.35	0.65	0.9	0.85	0.7	0.55
Rivestimento tipo 2 Rockfon Monoacoustic	0.35	0.65	0.85	0.95	1.0	1.0

Figura 21 – Indicazione in magenta del rivestimento tipo 1 della parete di fondo della sala (livello platea)

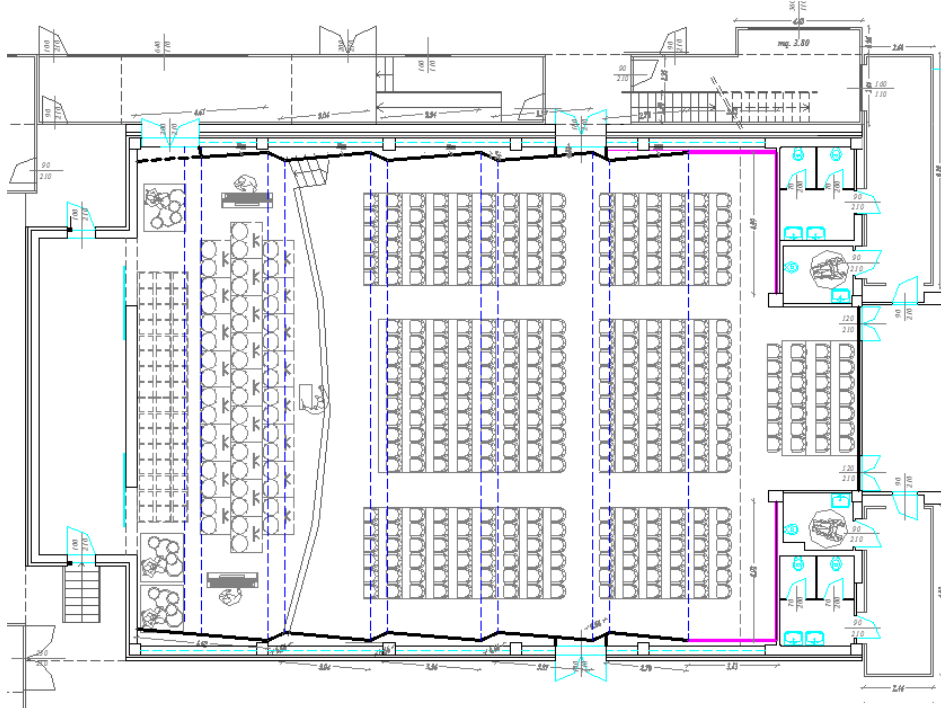
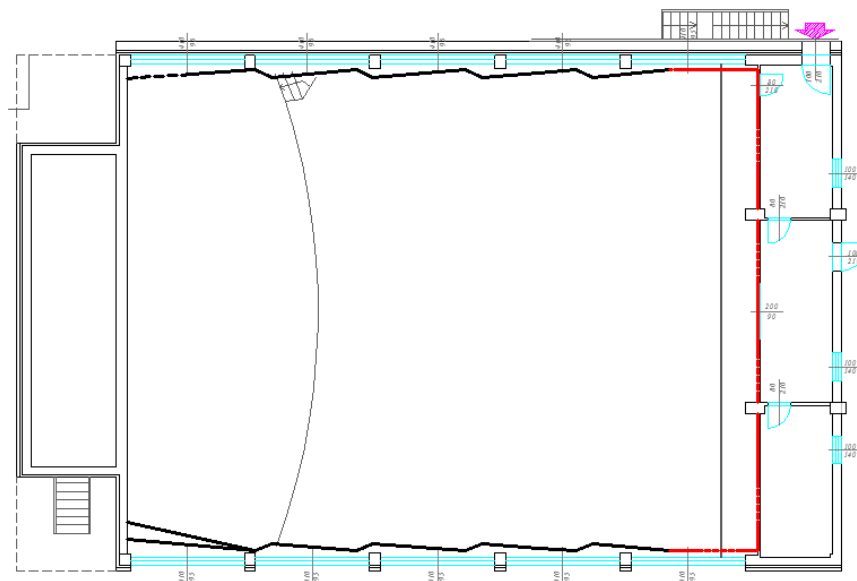


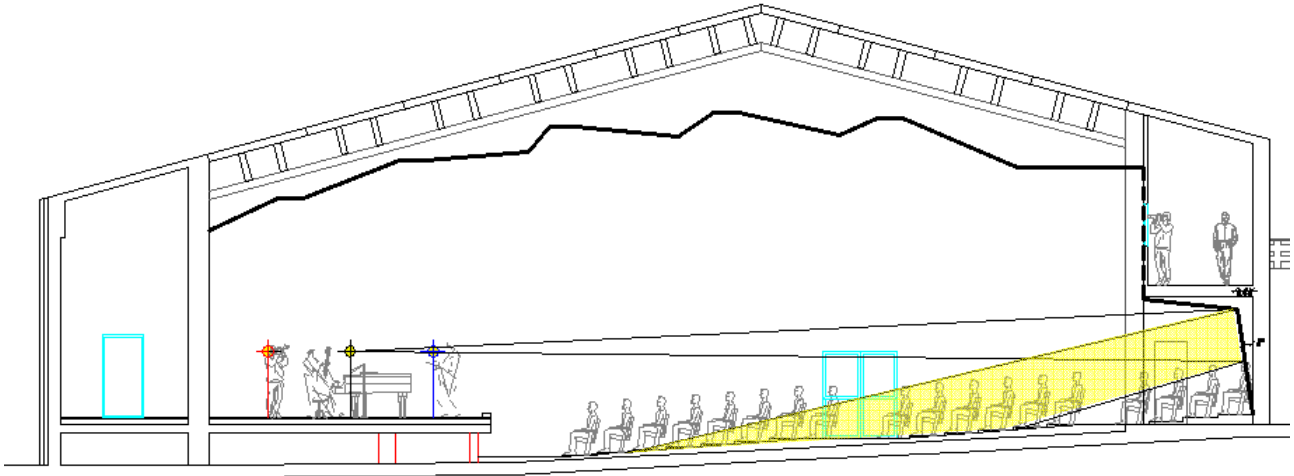
Figura 22 – Indicazione in rosso del rivestimento tipo 2 della parete di fondo della sala (livello sala regia)



4.5 Zona della balconata

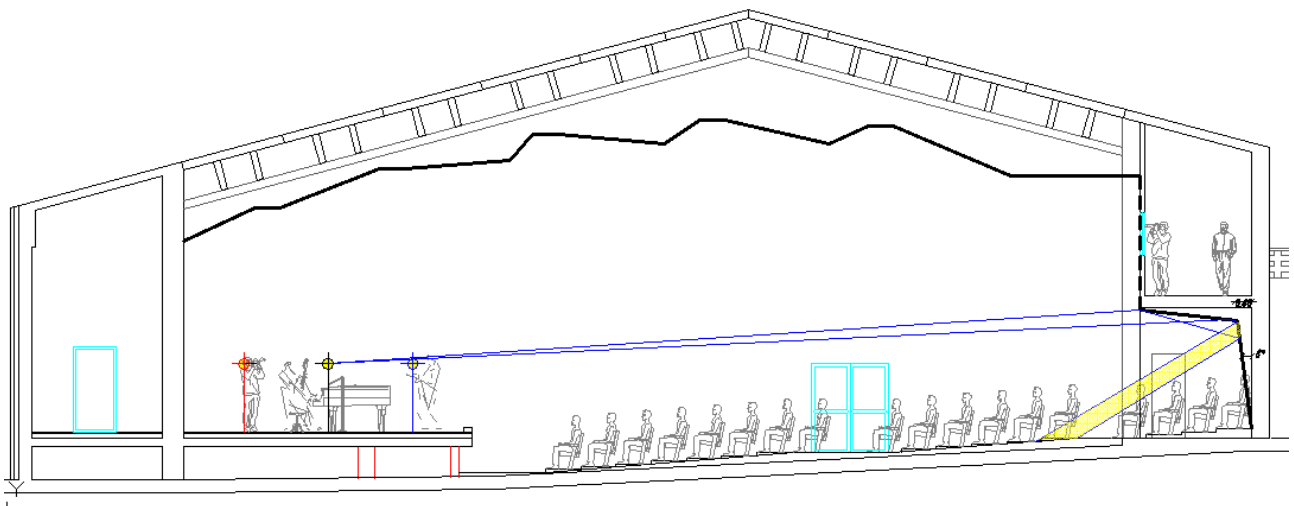
Al fine di non compromettere ulteriormente l'ascolto di questa zona già penalizzata dalla sua configurazione, si prevede di rivestire le tre pareti con materiali riflettenti, tipo quelle delle pareti perimetrali della sala, e di inclinare verso la sala di 8° la parete ove sono presenti i due accessi principali della sala. Ciò consente di evitare possibili fenomeni di eco verso le prime file della sala e verso il palco e di determinare le prime riflessioni utili su tutte le sedute più lontane dal palco, così come mostra la figura che segue.

Figura 23 – Riflessioni sonore utili prodotte dalla parte di parete di fondo inclinata e riflettente



Il controsoffitto della zona al di sotto della balconata sarà realizzato mediante materiale riflettente e avrà un'inclinazione di 6° rispetto al piano del pavimento della balconata, anche questo nell'ottica di massimizzare le riflessioni verso le ultime file della platea.

Figura 24 – Riflessioni sonore utili prodotte dal controsoffitto della zona della balconata



4.6 Altri materiali

L'auditorium nella configurazione di progetto, ottenuta attraverso le verifiche geometriche descritte al capitolo precedente e numerose simulazioni acustiche di studio per determinare i coefficienti di assorbimento acustico ottimali, che qui per brevità non vengono riportate, presenta le seguenti caratteristiche:

- Pavimento della sala in piastrelle stuccate;
- Palco in legno $M' \geq 20 \text{ kg/m}^2$;
- Parte centrale delle pareti laterali e pareti del palco intonacate.
- Sedute non imbottite.

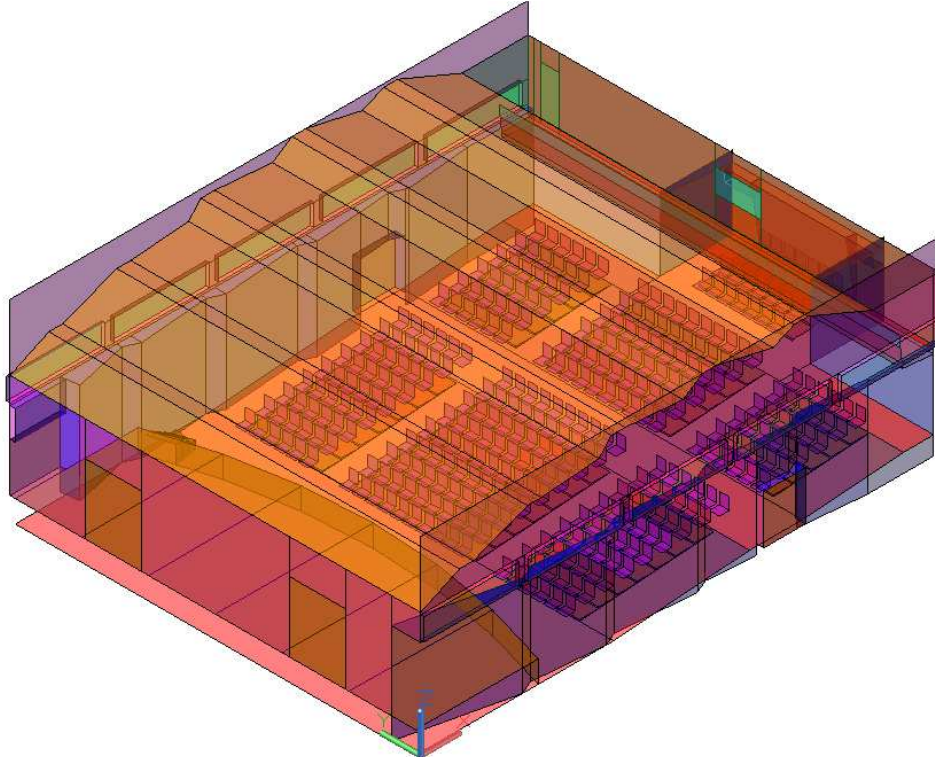
5. SIMULAZIONI CON IL SOFTWARE RAMSETE

5.1 Descrizione del modello di calcolo

Per ricavare i parametri descrittivi della qualità acustica della sala è stato utilizzato il software di simulazione acustica denominato “Ramsete”, validato a livello internazionale e basato sulla tecnica del “pyramid tracing”.

Il software richiede la costruzione del modello tridimensionale (v. **Figura 25**) e fornisce la risposta impulsiva della sala in specifici punti dell’ambiente in cui viene effettuato il calcolo.

Figura 25 – Modello tridimensionale dell’Auditorium

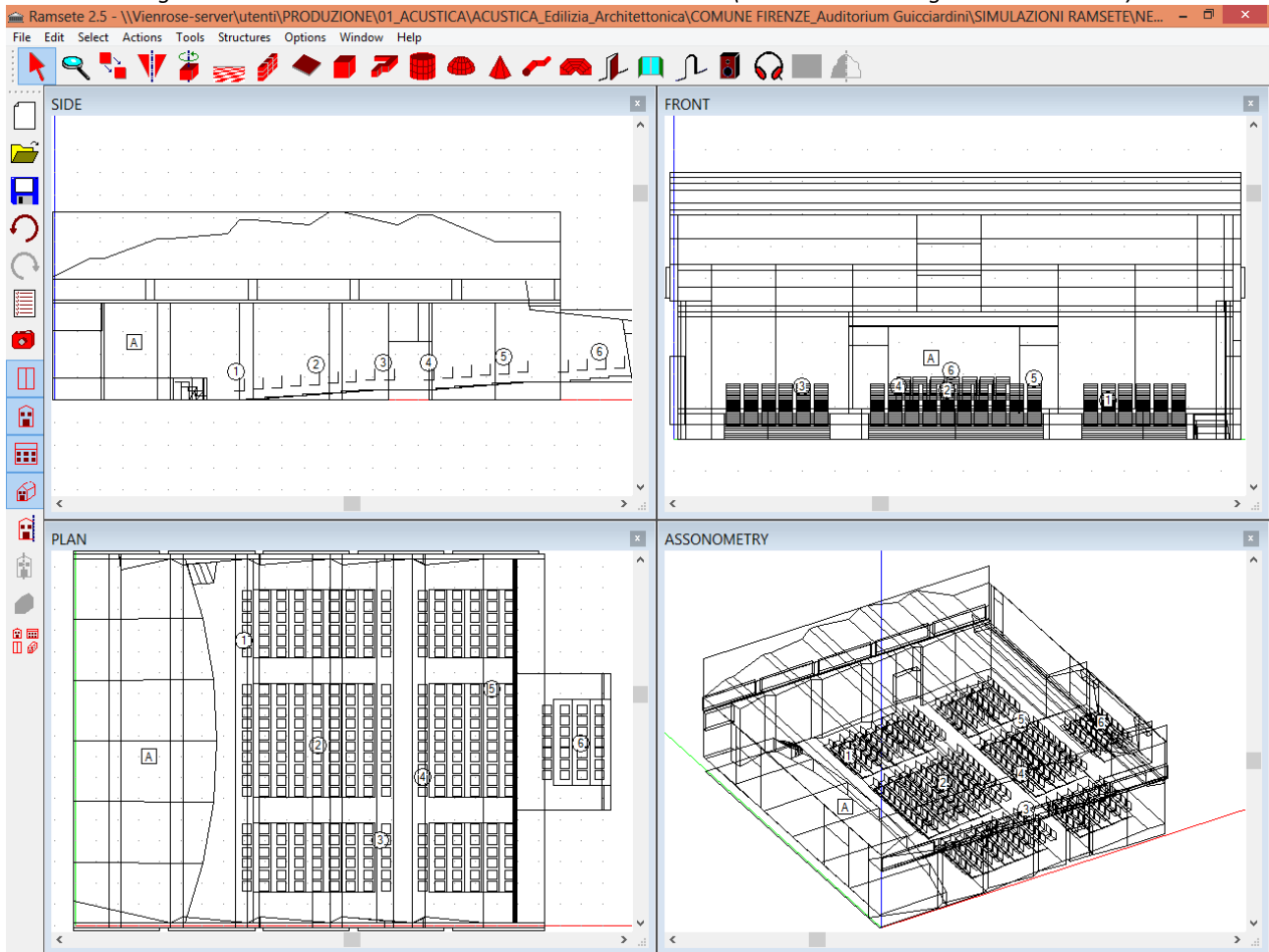


Una volta costruito il modello tridimensionale della sala e caratterizzate tutte le superfici interne a quest’ultima, compresi gli arredi, è stata posizionata una sorgente sonora omnidirezionale posizionata ad un’altezza di circa 1.5 m sul palco in posizione centrale, in posizione avanzata e arretrata, al fine di valutare come variano i parametri della sala in funzione della posizione sorgente. Sono stati posizionati inoltre 6 ricevitori distinti nelle varie zone della sala all’altezza dell’orecchio di una persona seduta, così come mostrato nella figura che segue.

Figura 26 – Posizionamento della sorgente e dei ricevitori nel modello di calcolo



Figura 27 – Schermata del modellatore CAD di Ramsete (modello con 1 sorgente e 6 ricevitori)



Di seguito si riportano i principali dati di input in corrispondenza dei quali sono state effettuate le simulazioni:

- Numero di piramidi tracciate: **2 x 8¹⁰**;
- Tempo in cui vengono seguiti i raggi: **4 s**;
- Umidità: **50%**;
- Temperatura: **20°C**;
- Diffrazione: **2**;
- Numero di raggi dopo i quali il software randomizza: **4**;
- Tipo di sorgente sonora: **omnidirezionale**;
- Numero di ricevitori: **6**;
- Occupazione della sala: **vuota**.

5.2 Risultati delle simulazioni acustiche preliminari

A partire dalla geometria e dai materiali descritti nei capitoli precedenti sono state effettuate simulazioni numeriche volte a calcolare i parametri oggettivi che caratterizzano la qualità acustica di un ambiente confinato nella condizione di sala vuota.

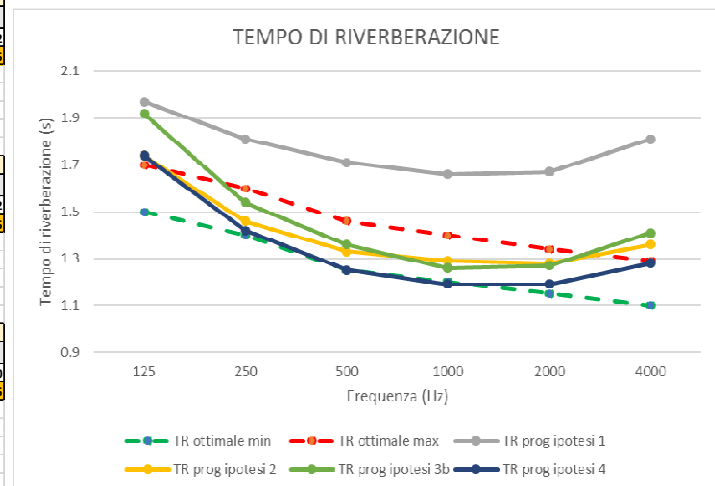
Sono state inizialmente valutate diverse ipotesi di progetto, in particolare:

- **Ipotesi 1:** pareti laterali totalmente riflettenti, con eccezione della parte bassa più lontana dal palco, parete di fondo fonoassorbente, con eccezione della parete inclinata posta dietro alle sedute al di sotto della balconata, controsoffitto riflettente con eccezione della falda in corrispondenza della parete di fondo.
- **Ipotesi 2:** parte bassa delle pareti laterali totalmente riflettenti, con eccezione della parte bassa più lontana dal palco, parte centrale delle pareti laterali riflettente e parte alta delle pareti laterali fonoassorbente, parete di fondo fonoassorbente, con eccezione della parete inclinata posta dietro alle sedute al di sotto della balconata, controsoffitto riflettente con eccezione della falda in corrispondenza della parete di fondo.
- **Ipotesi 3:** come Ipotesi 1 ma con tende fonoassorbenti sulle vetrate alte laterali.
- **Ipotesi 4:** come Ipotesi 2 ma con tende fonoassorbenti sulla parete di fondo inclinata.

I risultati delle simulazioni del tempo di riverberazione delle diverse ipotesi di progetto sono riportate in forma tabellare e grafica di seguito, con il relativo confronto con i valori ottimali.

Tabella 7 – Confronto dei risultati del tempo di riverberazione simulato in corrispondenza delle diverse ipotesi di progetto

TEMPO DI RIVERBERAZIONE - RANGE OTTIMALE							
	125	250	500	1000	2000	4000	TR _{500-2000 Hz}
TR min	1.5	1.4	1.25	1.2	1.15	1.1	1.2
TR max	1.7	1.6	1.46	1.4	1.34	1.29	1.4
TEMPO DI RIVERBERAZIONE - IPOTESI 1							
Ricevitori	125	250	500	1000	2000	4000	TR _{500-2000 Hz} BR
TR medio	1.97	1.81	1.71	1.66	1.67	1.81	1.68 1.12
1	1.98	1.81	1.71	1.66	1.67	1.81	1.25-1.4 1.15-1.25
2	1.98	1.81	1.71	1.66	1.67	1.81	
3	1.98	1.81	1.71	1.67	1.67	1.81	
4	1.98	1.81	1.71	1.66	1.68	1.81	
5	1.97	1.81	1.72	1.66	1.67	1.81	
6	1.95	1.78	1.68	1.63	1.64	1.79	
TEMPO DI RIVERBERAZIONE - IPOTESI 2							
Ricevitori	125	250	500	1000	2000	4000	TR _{500-2000 Hz} BR
TR medio	1.74	1.46	1.33	1.29	1.28	1.36	1.30 1.22
1	1.75	1.47	1.34	1.29	1.28	1.37	1.25-1.4 1.15-1.25
2	1.76	1.47	1.35	1.3	1.29	1.37	
3	1.75	1.47	1.34	1.29	1.28	1.37	
4	1.75	1.47	1.34	1.3	1.29	1.37	
5	1.74	1.46	1.34	1.3	1.28	1.36	
6	1.71	1.42	1.3	1.25	1.24	1.32	
TEMPO DI RIVERBERAZIONE - IPOTESI 3							
Ricevitori	125	250	500	1000	2000	4000	TR _{500-2000 Hz} BR
TR medio	1.92	1.54	1.36	1.26	1.27	1.41	1.30 1.32
1	1.92	1.54	1.37	1.28	1.28	1.42	1.25-1.4 1.15-1.25
2	1.93	1.55	1.36	1.27	1.27	1.42	
3	1.92	1.54	1.35	1.26	1.26	1.41	
4	1.93	1.55	1.36	1.27	1.27	1.42	
5	1.92	1.55	1.36	1.27	1.27	1.42	
6	1.91	1.53	1.34	1.24	1.25	1.39	
TEMPO DI RIVERBERAZIONE - IPOTESI 4							
Ricevitori	125	250	500	1000	2000	4000	TR _{500-2000 Hz} BR
TR medio	1.74	1.42	1.25	1.19	1.19	1.28	1.21 1.30
1	1.74	1.42	1.25	1.19	1.19	1.28	1.25-1.4 1.15-1.25
2	1.75	1.43	1.26	1.2	1.19	1.29	
3	1.74	1.43	1.26	1.2	1.19	1.28	
4	1.74	1.43	1.26	1.19	1.19	1.29	
5	1.73	1.42	1.25	1.19	1.19	1.29	
6	1.71	1.41	1.24	1.17	1.17	1.27	



Come si può osservare dai dati sopra riportati il tempo di riverberazione risulta abbastanza omogeneo in tutti i punti della sala in cui è stato effettuato il calcolo.

Considerando il range ottimale di riferimento per il progetto, al fine di consentire un ascolto ottimale di diversi programmi musicali, l'ipotesi ritenuta migliore è la 2 (linea gialla del grafico). Per questa ipotesi il TR medio alle frequenze di 500-2000 Hz è esattamente compreso tra 1.2 e 1.4 secondi e il rapporto con i valori alle frequenze basse, BR, abbastanza prossimo ai valori ottimali per questo parametro. Si può osservare come la presenza della tenda fonoassorbente sulla parete di fondo inclinata (ipotesi 4) riduca ulteriormente la riverberazione alle frequenze medio alte, portando il TR medio verso il limite inferiore del range di riferimento del progetto.

5.3 Risultati delle simulazioni acustiche per la configurazione di progetto

Visto che l'ipotesi 2 è risultata essere quella ottimale tra quelle indagate, è stata scelta come ipotesi definitiva di progetto e per essa pertanto sono stati condotti ulteriori approfondimenti.

In particolare è stato verificato che, anche arretrando la posizione della sorgente sul palco, i valori di TR nella sala sono risultati pressoché omogenei, come mostrano le tabelle sotto riportate.

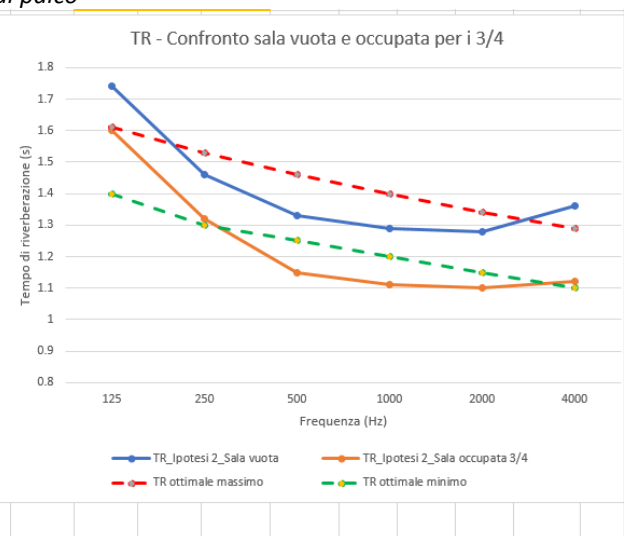
Tabella 8 – Confronto dei risultati del tempo di riverberazione simulato in corrispondenza di due diverse posizioni sorgente

TEMPO DI RIVERBERAZIONE - IPOTESI 2 (sala vuota) - Sorgente centrale								TEMPO DI RIVERBERAZIONE - IPOTESI 2 (sala vuota) - Sorgente arretrata									
Ricevitori	125	250	500	1000	2000	4000	TR _{500-2000 Hz}	BR	Ricevitori	125	250	500	1000	2000	4000	TR _{500-2000 Hz}	BR
TR medio	1.74	1.46	1.33	1.29	1.28	1.36	1.30	1.22	TR medio	1.76	1.48	1.33	1.27	1.25	1.34	1.28	1.25
1	1.75	1.47	1.34	1.29	1.28	1.37	1.2-1.4	1.15-1.25	1	1.76	1.49	1.35	1.28	1.28	1.36	1.2-1.4	1.15-1.25
2	1.76	1.47	1.35	1.3	1.29	1.37			2	1.78	1.5	1.36	1.3	1.29	1.38		
3	1.75	1.47	1.34	1.29	1.28	1.37			3	1.77	1.49	1.35	1.28	1.27	1.36		
4	1.75	1.47	1.34	1.3	1.29	1.37			4	1.76	1.49	1.34	1.28	1.26	1.35		
5	1.74	1.46	1.34	1.3	1.28	1.36			5	1.74	1.47	1.32	1.25	1.24	1.32		
6	1.71	1.42	1.3	1.25	1.24	1.32			6	1.72	1.42	1.27	1.2	1.19	1.27		

È stata effettuata inoltre una simulazione della medesima ipotesi 2, considerando le sedute occupate ai $\frac{3}{4}$ della capienza al fine di confrontare la variabilità del TR a sala vuota e quasi piena.

Tabella 9 – Confronto dei risultati del tempo di riverberazione simulato in corrispondenza di due diverse posizioni della sorgente sul palco

TEMPO DI RIVERBERAZIONE - RANGE OTTIMALE								
	125	250	500	1000	2000	4000	TR _{500-2000 Hz}	
TR min	1.4	1.3	1.25	1.2	1.15	1.1	1.2	
TR max	1.61	1.53	1.46	1.4	1.34	1.29	1.4	
TEMPO DI RIVERBERAZIONE - IPOTESI 2 (sala vuota)								
Ricevitori	125	250	500	1000	2000	4000	TR _{500-2000 Hz}	BR
TR medio	1.74	1.46	1.33	1.29	1.28	1.36	1.30	1.22
1	1.75	1.47	1.34	1.29	1.28	1.37	1.2-1.4	1.15-1.25
2	1.76	1.47	1.35	1.3	1.29	1.37		
3	1.75	1.47	1.34	1.29	1.28	1.37		
4	1.75	1.47	1.34	1.3	1.29	1.37		
5	1.74	1.46	1.34	1.3	1.28	1.36		
6	1.71	1.42	1.3	1.25	1.24	1.32		
TEMPO DI RIVERBERAZIONE - IPOTESI 2 (sala occupata per i 3/4)								
Ricevitori	125	250	500	1000	2000	4000	TR _{500-2000 Hz}	BR
TR medio	1.6	1.32	1.15	1.11	1.1	1.12	1.13	1.29
1	1.6	1.32	1.15	1.11	1.1	1.13	1.2-1.4	1.15-1.25
2	1.61	1.33	1.17	1.12	1.11	1.14		
3	1.61	1.33	1.16	1.12	1.11	1.13		
4	1.61	1.33	1.16	1.11	1.11	1.13		
5	1.59	1.32	1.15	1.1	1.1	1.13		
6	1.57	1.29	1.13	1.08	1.07	1.09		
diff. sala vuota/piena 3/4	8	10	14	14	14	18		



Come si può osservare dai dati sopra riportati la riverberazione in configurazione di sala piena ai $\frac{3}{4}$ della sua capienza si riduce di circa il 14% alle frequenze medio-alte.

Nelle tabelle che seguono si riportano i risultati relativi agli altri parametri che qualificano acusticamente l'Auditorium, in corrispondenza dei sei punti ricevitori collocati nella sala, in corrispondenza del posizionamento di una sorgente omnidirezionale sul centro del palco e in posizione arretrata.

Tabella 10 – Confronto dei risultati dei parametri dell'acustica architettonica in corrispondenza di due diverse posizioni della sorgente sul palco

CHIAREZZA C80 (dB) - IPOTESI 2 (sala vuota) - Sorgente centrale							
Ricevitori	125	250	500	1000	2000	4000	C80 _{500-1000 Hz}
1	1.62	2.35	2.82	3.08	2.92	2.35	3.0
2	1.05	1.89	2.5	2.7	2.58	2.08	2.6
3	0.12	0.95	1.45	1.75	1.71	1.18	1.6
4	0.08	1.11	1.8	2.03	1.86	1.28	1.9
5	0.08	1.05	1.85	2.25	2.23	1.64	2.1
6	0.27	1.04	1.58	1.75	1.52	0.95	1.7
							-4 < C80 < 2 dB
CHIAREZZA C50 (dB) - IPOTESI 2 (sala vuota) - Sorgente centrale							
Ricevitori	125	250	500	1000	2000	4000	C50 _{500-1000 Hz}
1	-0.67	-0.14	0.2	0.39	0.28	-0.17	0.3
2	-1.58	-0.91	-0.35	-0.1	-0.17	-0.6	-0.2
3	-3.34	-2.7	-2.35	-2.19	-2.28	-2.76	-2.3
4	-3.53	-2.58	-1.9	-1.65	-1.81	-2.32	-1.8
5	-3.73	-2.9	-2.16	-1.86	-1.95	-2.54	-2.0
6	-3.41	-2.82	-2.43	-2.29	-2.49	-3.05	-2.4
							C50 > 0 dB parlato
DEFINIZIONE D (%) - IPOTESI 2 (sala vuota) - Sorgente centrale							
Ricevitori	125	250	500	1000	2000	4000	D _{500-1000 Hz}
1	46.2	49.2	51.2	52.2	51.6	49.0	51.7
2	41.0	44.8	48.0	49.4	49.0	46.6	48.7
3	31.7	34.9	36.8	37.7	37.2	34.6	37.2
4	30.7	35.6	39.2	40.6	39.7	37.0	39.9
5	29.8	33.9	37.8	39.5	39.0	35.8	38.6
6	31.3	34.3	36.4	37.1	36.1	33.1	36.7
							D < 50% musica D > 50% parlato
TEMPO BARICENTRICO Ts (ms) - IPOTESI 2 (sala vuota) - Sorgente centrale							
Ricevitori	125	250	500	1000	2000	4000	Ts _{500-1000 Hz}
1	101.8	88.6	81.5	78.1	79.3	86.4	79.8
2	105.4	90.5	81.4	77.9	78.8	85.6	79.7
3	116.3	101.1	93.1	89.2	89.6	96.7	91.2
4	117.5	99.9	89.6	85.8	87.0	94.4	87.7
5	118.9	102.6	92.1	87.6	87.9	95.2	89.9
6	114.2	100.1	92.1	89	90.5	97.2	89.6
							50 < Ts < 250 ms musica
RINFORZO G (dB) - IPOTESI 2 (sala vuota) - Sorgente centrale							
Ricevitori	125	250	500	1000	2000	4000	G _{500-1000 Hz}
1	14.2	13.8	13.5	13.3	13.2	13.5	13
2	14.3	14	13.7	13.4	13.3	13.7	14
3	13.4	12.8	12.2	11.9	12.0	12.4	12
4	13.3	12.7	12.3	12	11.9	12.4	12
5	12.6	11.8	11.2	11	11.1	11.6	11
6	11.7	11	10.5	10.2	10.2	10.8	10
							G > 1 orchestra G > 11 strumenti deboli
SPEECH TRANSMISSION INDEX (%) - IPOTESI 2 (sala vuota) - Sorgente centrale							
Ricevitori	125	250	500	1000	2000	4000	STI _{500-1000 Hz}
1	0.26	0.69	0.71	0.71	0.68	0.58	0.71
2	0.26	0.7	0.71	0.73	0.71	0.62	0.72
3	0.22	0.68	0.7	0.7	0.67	0.57	0.70
4	0.22	0.69	0.7	0.71	0.68	0.58	0.71
5	0.21	0.69	0.71	0.72	0.68	0.56	0.72
6	0.19	0.69	0.7	0.7	0.67	0.53	0.70
							0.75 > STI > 0.6 buona
CHIAREZZA C80 (dB) - IPOTESI 2 (sala vuota) - Sorgente arretrata							
Ricevitori	125	250	500	1000	2000	4000	C80 _{500-1000 Hz}
1	1.15	1.91	2.4	2.54	2.37	1.78	2.5
2	0.74	1.8	2.38	2.55	2.49	1.94	2.5
3	0.96	2	2.6	2.83	2.71	2.21	2.7
4	1.24	2.47	3.36	3.71	3.63	3.06	3.5
5	1.44	2.61	3.64	4.21	4.16	3.45	3.9
6	1.67	2.62	3.3	3.55	3.39	2.78	3.4
							-4 < C80 < 2 dB
CHIAREZZA C50 (dB) - IPOTESI 2 (sala vuota) - Sorgente arretrata							
Ricevitori	125	250	500	1000	2000	4000	C50 _{500-1000 Hz}
1	-0.87	-0.34	-0.04	0.04	0.02	-0.48	0.0
2	-1.5	-0.61	-0.09	0.08	0.02	-0.46	0.0
3	-1.96	-1.05	-0.53	-0.44	-0.55	-0.98	-0.5
4	-1.79	-0.69	0.08	0.35	0.33	-0.1	0.2
5	-2.02	-1.03	-0.09	0.42	0.3	-0.27	0.2
6	-1.65	-0.87	-0.23	-0.03	-0.21	-0.77	-0.1
							C50 > 0 dB parlato
DEFINIZIONE D (%) - IPOTESI 2 (sala vuota)							
Ricevitori	125	250	500	1000	2000	4000	D _{500-1000 Hz}
1	45.0	48.0	49.8	50.2	50.1	47.2	50.0
2	41.5	46.5	49.5	50.5	50.1	47.4	50.0
3	38.9	44.0	47.0	47.5	46.8	44.4	47.2
4	39.8	46.0	50.5	52.0	51.9	49.4	51.2
5	38.6	44.1	49.5	52.4	51.7	48.5	51.0
6	40.6	45.0	48.7	49.8	48.8	45.6	49.3
							D < 50% musica D > 50% parlato
TEMPO BARICENTRICO Ts (ms) - IPOTESI 2 (sala vuota) - Sorgente centrale							
Ricevitori	125	250	500	1000	2000	4000	Ts _{500-1000 Hz}
1	106.4	92.1	84.5	81.7	83.0	91	83.1
2	108.9	91.8	83.1	79.8	80.0	86.9	81.5
3	106.4	89.8	81.2	77.9	78.7	84.9	79.6
4	105.1	87.4	77.3	73.6	74.1	80.1	75.5
5	105.6	88.8	77.6	72.5	73.1	80	75.1
6	102.3	87.9	79.3	75.7	76.8	83.2	77.5
							50 < Ts < 250 ms musica
RINFORZO G (dB) - IPOTESI 2 (sala vuota) - Sorgente arretrata							
Ricevitori	125	250	500	1000	2000	4000	G _{500-1000 Hz}
1	13.7	13.2	12.7	12.3	12.2	12.6	13
2	13.8	13.3	12.9	12.5	12.6	13	13
3	13.5	12.9	12.4	12.1	12.1	12.6	12
4	13.6	13.1	12.6	12.3	12.3	12.8	12
5	13.1	12.3	11.8	11.6	11.7	12.2	12
6	12.1	11.4	10.9	10.6	10.7	11.3	11
							G > 1 orchestra G > 11 strumenti deboli
SPEECH TRANSMISSION INDEX (%) - IPOTESI 2 (sala vuota) - Sorgente arretrata							
Ricevitori	125	250	500	1000	2000	4000	STI _{500-1000 Hz}
1	0.24	0.68	0.7	0.69	0.66	0.56	0.70
2	0.24	0.69	0.71	0.72	0.69	0.59	0.72
3	0.24	0.7	0.72	0.72	0.69	0.59	0.72
4	0.25	0.71	0.73	0.74	0.71	0.6	0.74
5	0.24	0.71	0.73	0.74	0.71	0.58	0.74
6	0.21	0.71	0.73	0.73	0.69	0.56	0.73
							0.75 > STI > 0.6 buona

Dal confronto dei valori simulati dei diversi parametri con i valori di riferimento si può evincere come la sala sia più adeguata all'ascolto della musica che del parlato. Per quest'ultimo aspetto occorre sottolineare che in corrispondenza della posizione arretrata della sorgente in generale migliorano le condizioni di chiarezza e definizione, pertanto in questa particolare condizioni migliora anche l'intelligibilità del parlato. Questo è importante tanto più alla luce del fatto che in quella zona del palco sarà collocato presumibilmente il coro.

Se si ipotizza un rumore di fondo pari a 25 dB(A), la potenza sonora di un oratore con sforzo vocale “elevato”, $L_w=71$ dB(A) e il rinforzo minimo riscontrato nel ricevitore R6 (ultima fila della platea), è possibile stimare il livello di pressione sonora in un quel punto che risulta pari a:

$$L_{p,R6} = 50 \text{ dB(A)}$$

Tale livello risulta basso, ma se confrontato con il rumore di fondo il segnale è comprensibile.

Nelle medesime condizioni, ipotizzando una sorgente diversa, violino solista che suona “forte” con $L_w = 87$ dB(A), il livello di pressione sonora nello stesso punto risulta pari a:

$$L_{p,R6} = 66 \text{ dB(A)}$$

Tale livello risulta sufficiente e il rapporto segnale/rumore buono.

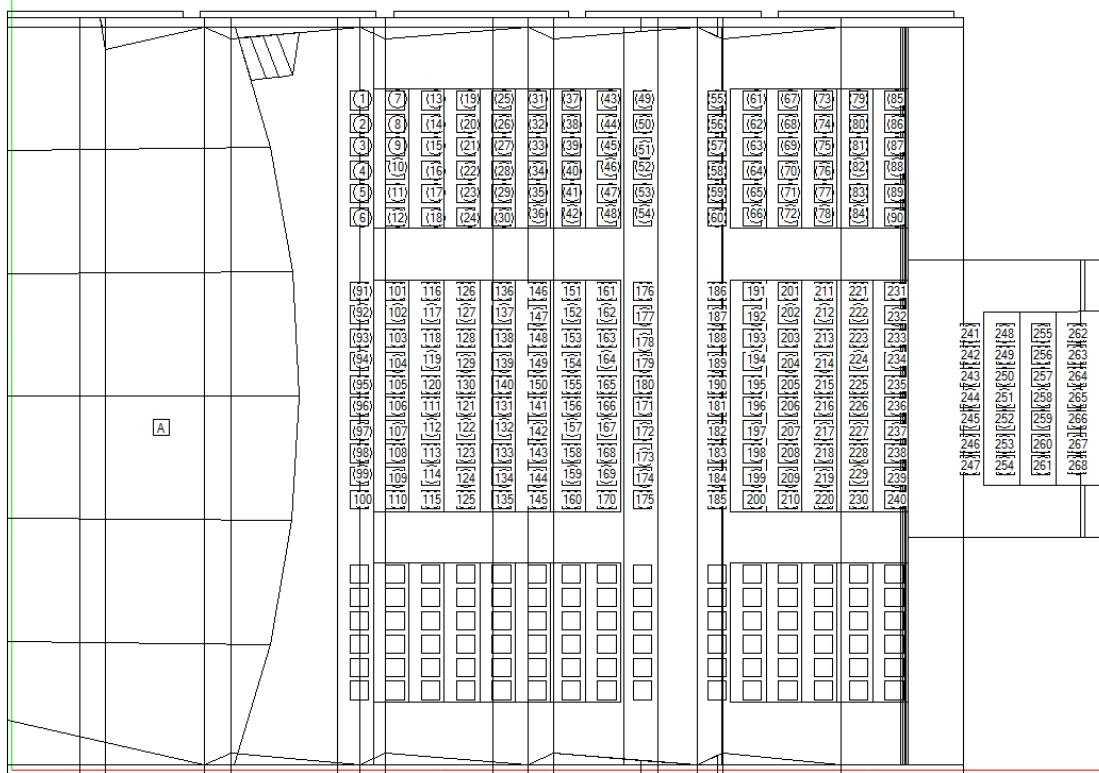
Infine, ipotizzando come sorgente un’orchestra, $L_w = 100$ dB(A), il livello di pressione sonora nello stesso punto risulta pari a:

$$L_{p,R6} = 79 \text{ dB(A)}$$

Tale livello risulta ottimale, così come il rapporto segnale/rumore.

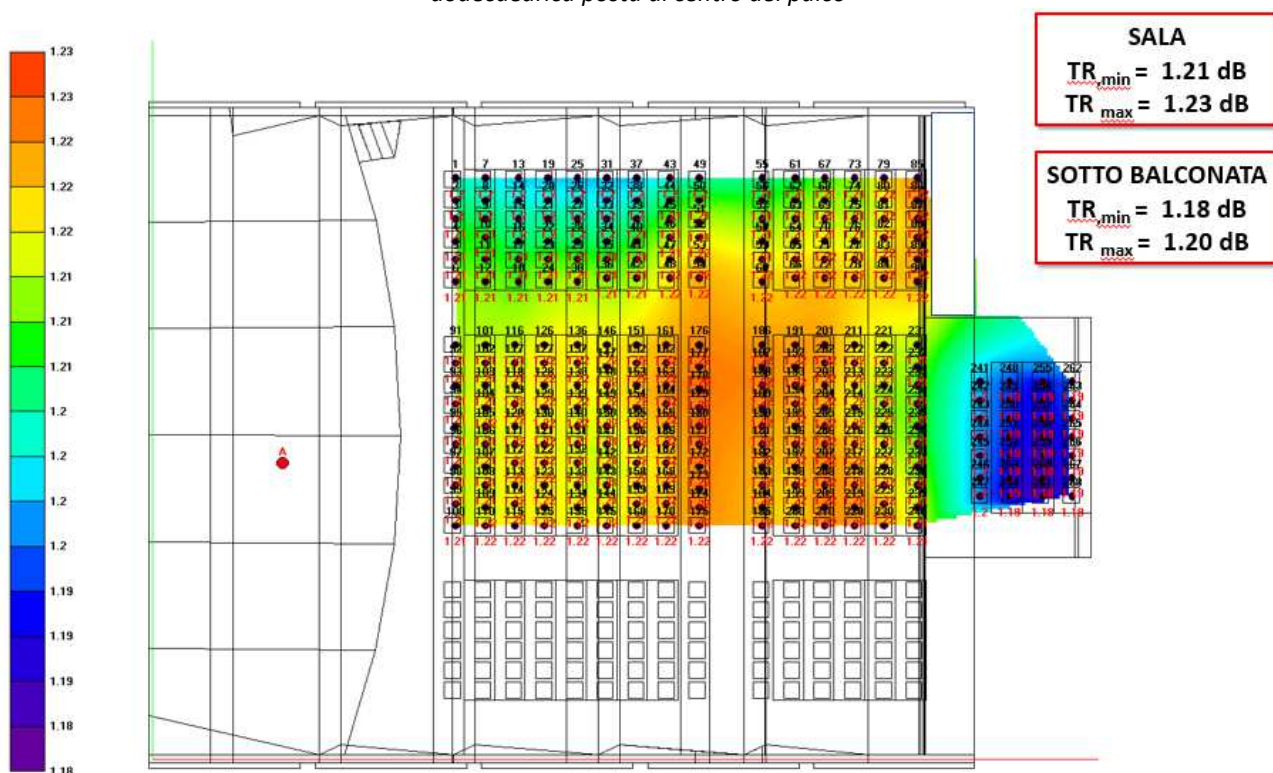
L’approfondimento sull’ipotesi 2 ha previsto inoltre l’effettuazione di nuove simulazioni acustiche, posizionando un ricevitore su ciascuna seduta di metà sala, in considerazione della sua simmetria (v. **Figura 28**). Il calcolo è stato quindi effettuato complessivamente su 268 ricevitori posizionati all’altezza dell’orecchio di una persona seduta.

Figura 28 – Posizionamento dei ricevitori sulle sedute di metà sala per l’approfondimento dell’ipotesi 2



Come si evince dal grafico sotto riportato, la distribuzione del tempo di riverberazione a 1000 Hz nella sala e sotto la balconata è molto omogenea e praticamente le differenze sono impercettibili.

Figura 29 – Distribuzione del tempo di riverberazione a 1000 Hz all'interno della sala in corrispondenza di una sorgente dodecaedrica posta al centro del palco



In corrispondenza di questo modello è stata calcolata la mappa della distribuzione dei principali parametri dell'acustica architettonica, descritti al precedente **Capitolo 3**. Le mappe sono riportate negli **Allegati da 8 a 16** alla presente relazione tecnica.

Lo stesso modello è stato impiegato per verificare la distribuzione dei livelli di pressione sonora in tutta la sala, a partire rispettivamente da una sorgente omnidirezionale e da una sorgente oratore posizionate al centro del palco. I risultati sono riportati nei grafici che seguono. I risultati di entrambe le configurazioni analizzate mostrano una distribuzione molto omogenea dei livelli sonori nella sala con deviazioni massime contenute nell'ordine dei 5 dB(A) per una sorgente che simula il parlato e 3 dB(A) per una sorgente omnidirezionale.

Figura 30 – Distribuzione dei livelli sonori equivalenti LAeq dB(A) all'interno della sala in corrispondenza di una sorgente omnidirezionale posta al centro del palco

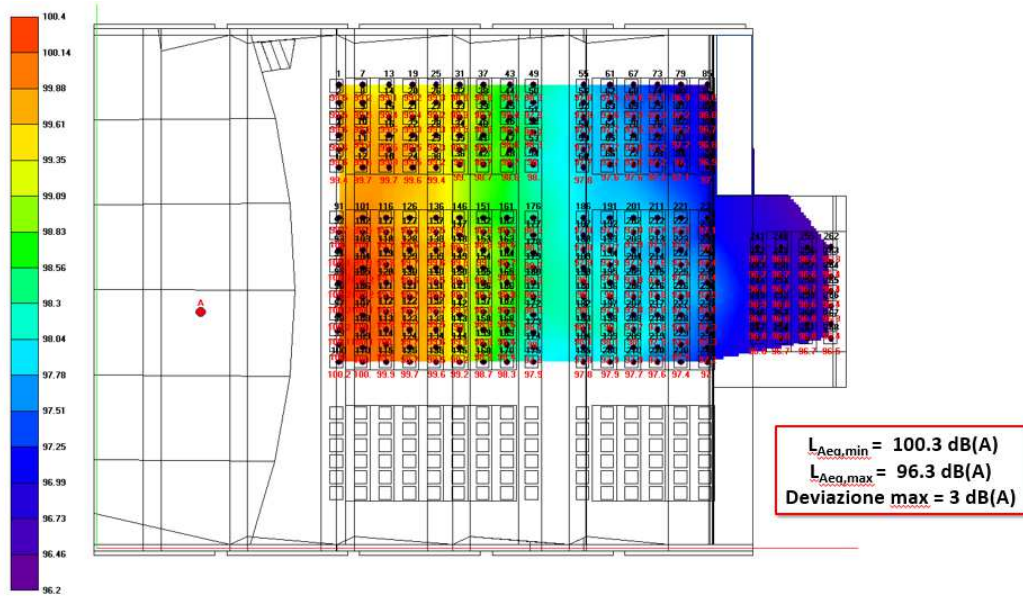
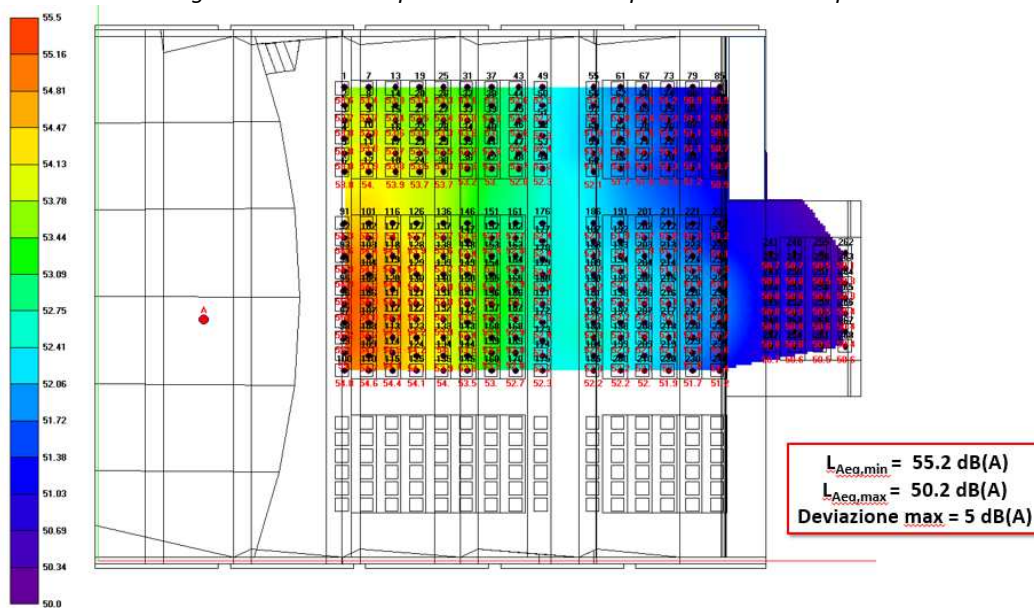


Figura 31 – Distribuzione dei livelli sonori equivalenti LAeq dB(A) Hz all'interno della sala in corrispondenza di una sorgente che simula il parlato di un oratore posta al centro del palco

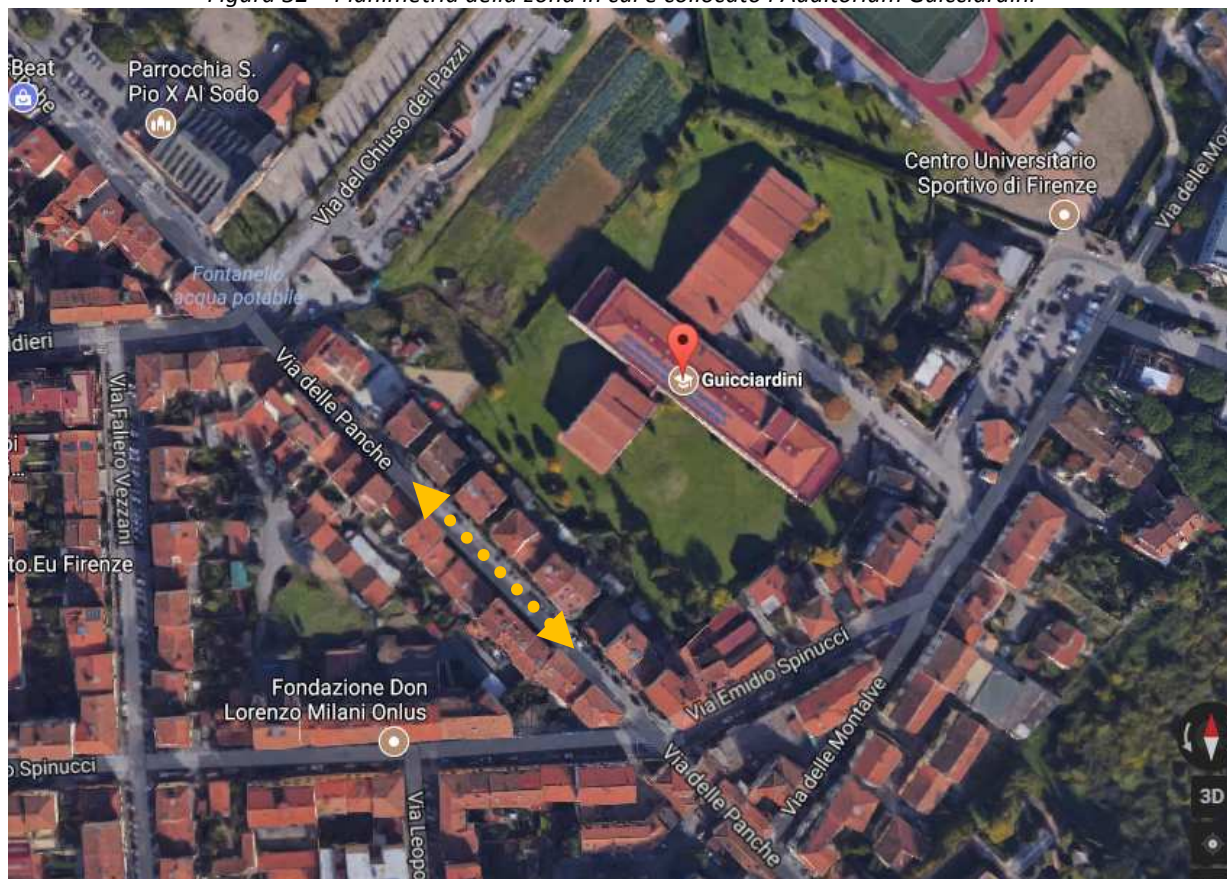


6. REQUISITI ACUSTICI PASSIVI DEGLI ELEMENTI COSTRUTTIVI

6.1 Introduzione

In questo Capitolo verranno date indicazioni circa i requisiti acustici passivi degli elementi costruttivi dell'Auditorium in modo che la sala sia adeguatamente isolata rispetto all'ambiente esterno. La zona in cui è collocato l'Auditorium ha come fonte principale di rumore la vicina Via delle Panche, dalla quale la sala risulta parzialmente schermata per la presenza di una cortina di edifici residenziali aventi 2 e 3 piani fuori terra.

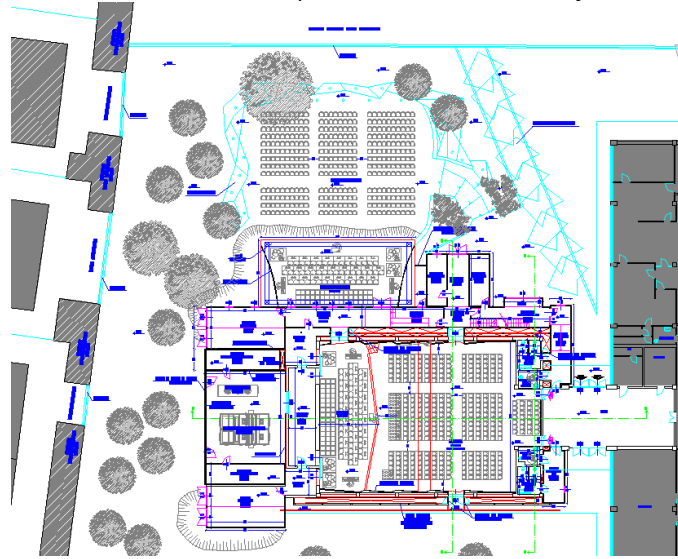
Figura 32 – Planimetria della zona in cui è collocato l'Auditorium Guicciardini



6.2 Requisiti passivi degli elementi costruttivi

Come si vede nella planimetria di seguito riportata l'unico ambiente della scuola a contatto diretto con l'Auditorium è un corridoio/disimpegno, mentre tutti i volumi di nuova realizzazione, adiacenti alla sala, ospiteranno funzioni accessorie necessarie al corretto svolgimento delle attività dell'Auditorium.

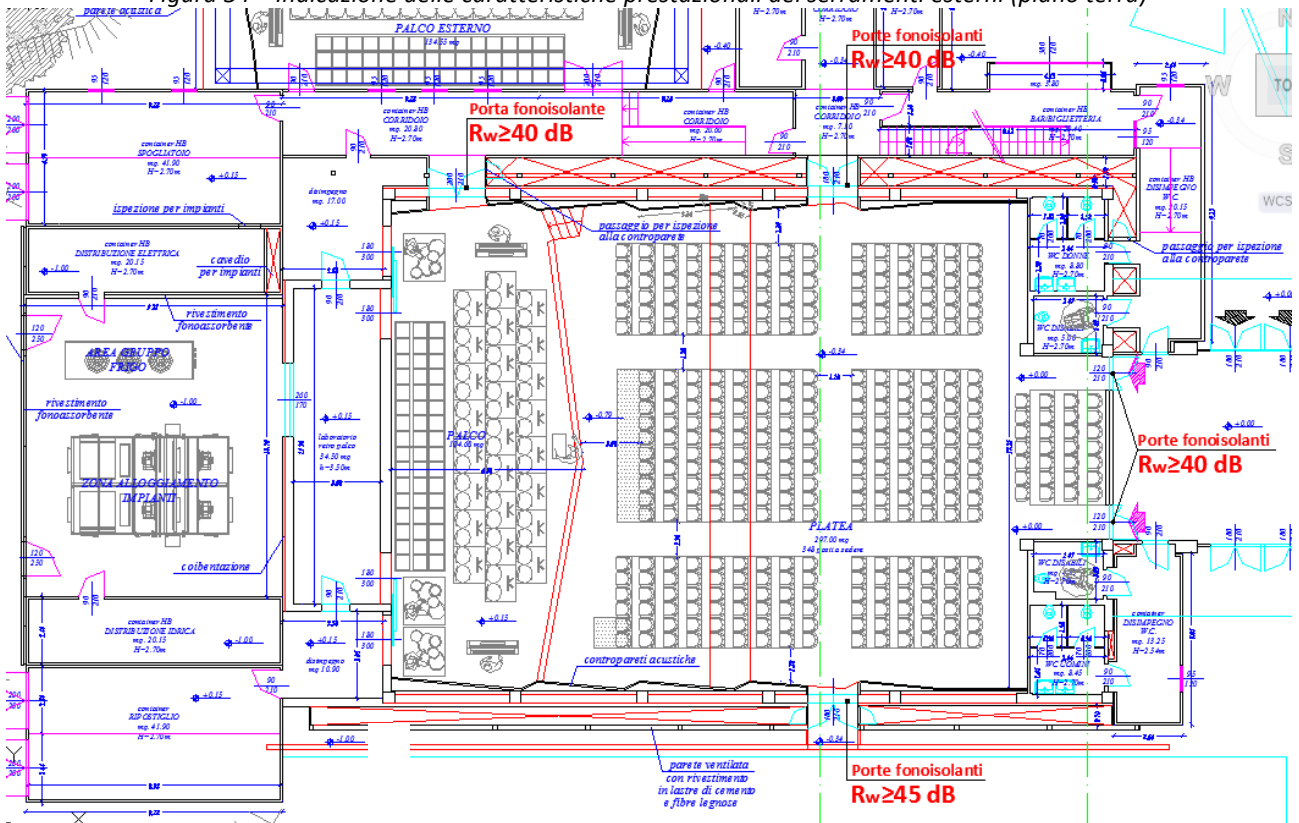
Figura 33 – Pianta della sala rispetto nel contesto dell'edificio scolastico



Dal momento che le strutture che delimitano la sala (pareti e copertura) sono realizzate in muratura e saranno ulteriormente rivestite esternamente ed internamente mediante controsoffitti e contropareti, saranno caratterizzate da valori di potere fonoisolante apparente presumibilmente superiori a 50-55 dB. Per questa ragione si ritiene opportuno di seguito definire le caratteristiche prestazionali, in termini di indice di valutazione del potere fonoisolante certificato in laboratorio, dei componenti più deboli dell'involucro della sala.

In particolare, al fine di assicurare livelli di rumore di fondo contenuti all'interno della sala, è opportuno scegliere serramenti esterni dotati delle caratteristiche prestazionali indicate nella planimetria seguente.

Figura 34 – Indicazione delle caratteristiche prestazionali dei serramenti esterni (piano terra)



PARTE 2

Valutazione previsionale dell'impatto acustico dell'auditorium esterno

7. VALUTAZIONE PREVISIONALE DI IMPATTO ACUSTICO DELL'AUDITORIUM ESTERNO

7.1 Introduzione

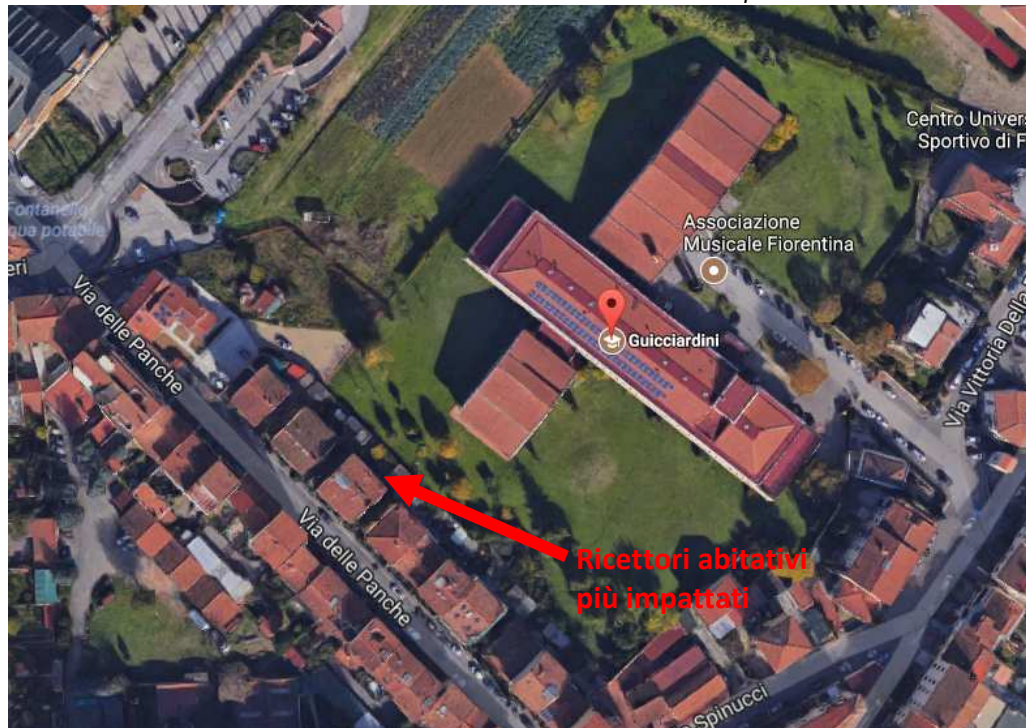
Nella presente valutazione vengono sviluppati i seguenti punti:

- ✓ definizione di uno schema planimetrico dell'area di emissione, con indicazione dei diversi layout di collocazione delle sorgenti di rumore;
- ✓ individuazione e censimento dei ricettori più significativi lungo le diverse direzioni e secondo le diverse vie di propagazione del rumore prodotto dall'attività dell'auditorium esterno;
- ✓ indicazione della classe di appartenenza della zona in cui si trova l'attività ed i ricettori più esposti, secondo quanto riportato nel Piano Comunale di Classificazione Acustica del Comune di Firenze;
- ✓ stima dei livelli di rumore residuo e ambientale in prossimità dei ricettori più prossimi all'attività oggetto di valutazione, ritenuti come quelli maggiormente impattati dalla rumorosità prodotta dall'auditorium;
- ✓ valutazione di impatto acustico, applicando i criteri previsti dalla vigente legislazione in materia, nel periodo di riferimento diurno: verifica dei livelli assoluti di immissione e di emissione, verifica del criterio differenziale di immissione.

7.2 Descrizione dello scenario di emissione sonora

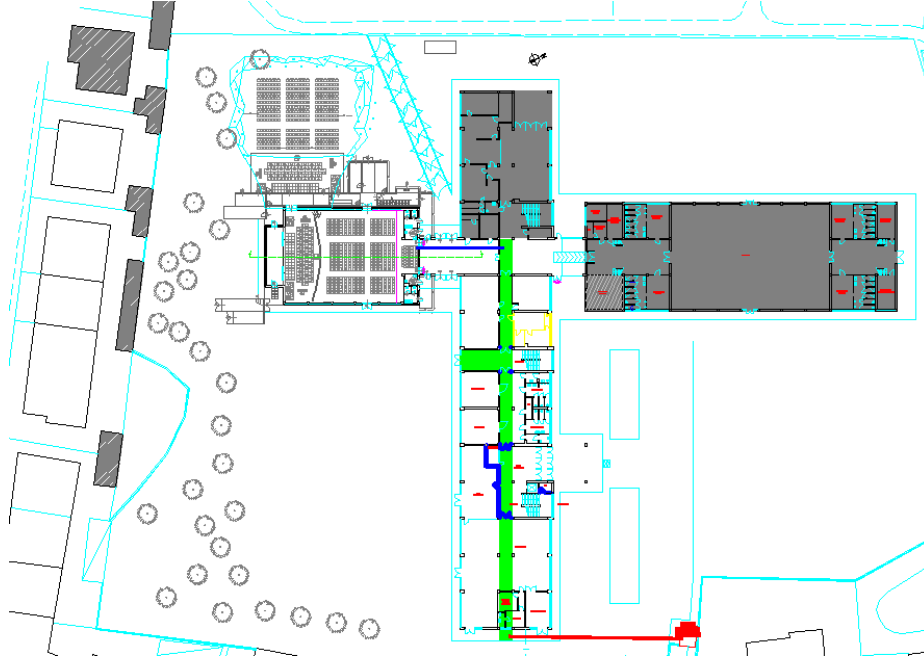
L'area oggetto di indagine è situata nel Comune di Firenze in prossimità di via delle Panche.

Figura 36 – Vista dall'alto dell'area in cui verrà realizzato l'auditorium esterno di pertinenza della scuola Guicciardini



I ricettori abitativi più prossimi alle sorgenti di pertinenza dell'auditorium esterno sono collocati lungo via delle Panche e si trovano a circa 30 m dal centro del palco esterno di progetto. In direzione nord rispetto al palco è presente una chiesa, con una distanza superiore a 130 m da quest'ultimo.

Figura 37 – Planimetria della zona in cui è collocato l'Auditorium esterno di progetto relativo alla Scuola Guicciardini



7.3 Descrizione delle sorgenti

Per la valutazione dello scenario di emissione si è proceduto all'acquisizione e all'esame di tutte le informazioni relative alle sorgenti acustiche principali, per poter definire in modo corretto e completo lo scenario di emissione.

In particolare, le sorgenti di rumore significative sono relative alle due diverse modalità di utilizzo dell'auditorium:

- acustica naturale: n. 1 sorgente sonora omnidirezionale posizionata al centro del palco ad un'altezza di 1.5 m sul piano di calpestio del palco;
- acustica amplificata: n. 4 sorgenti sonore omnidirezionali posizionate sui due lati del palco nelle posizioni in cui verranno collocati i diffusori elettroacustici, ad un'altezza di 3 m sul piano di campagna.

Il livello di potenza sonora massimo ponderato A (L_{WA}) delle sorgenti analizzate è stato calcolato in modo da garantire il rispetto dei valori limite di emissione, immissione e differenziale di immissione rispetto ai ricettori potenzialmente più impattati.

Da indicazioni della Committenza, il funzionamento dell'auditorium esterno è limitato al solo periodo di riferimento diurno (06.00-22.00).

7.4 Descrizione dello scenario di immissione sonora

Per la caratterizzazione acustica del territorio si è proceduto all'acquisizione di tutti i dati informativi sull'area di interesse, che hanno costituito la base di conoscenza per la descrizione della rumorosità ambientale e la valutazione dell'impatto acustico dell'attività in esame. A tal fine è stato effettuato il censimento di tutti gli edifici prossimi alle sorgenti acustiche specifiche, raccogliendo le seguenti informazioni, utili per la caratterizzazione degli edifici stessi:

- ✓ indirizzo e destinazioni d'uso dei ricettori (residenziale, scolastica, sanitaria, attività produttiva, attività commerciale, luogo di culto ecc.);
- ✓ numero di piani fuori terra;
- ✓ classe acustica e Comune di appartenenza;
- ✓ distanza (in metri) dalla sorgente sonora.

A partire dallo scenario oggetto di studio è stato effettuato lo studio della propagazione acustica, che ha portato all'individuazione dei ricettori più significativi lungo le diverse direzioni e secondo le diverse caratteristiche dei cammini di propagazione del rumore prodotto dalle sorgenti in esame.

In particolare, ai fini della valutazione del rumore prodotto dalle sorgenti di pertinenza dell'auditorium esterno, i ricettori più impattati sono identificati in **Figura 38**, costituiti da abitazioni in generale composte da due/tre piani fuori terra.



Inoltre, anche se la verifica non risulta cogente per gli ambienti della stessa scuola, sono stati posizionati dei ricevitori, indicati con il codice S01, sui diversi piani della facciata della scuola maggiormente esposta alle attività dell'auditorium esterno.

Figura 38 – Vista da satellite dello scenario di immissione con l'identificazione dell'area occupata dall'auditorium esterno (in giallo), dei ricettori potenzialmente impattati da quest'ultimo (in rosso e azzurro). Nell'ortofoto è riportato anche il Plesso scolastico "Guicciardini"



Tabella 11 – Censimento dei ricettori

Codice	Caratteristiche	Foto
R01	<p>Comune di appartenenza: Firenze</p> <p>Indirizzo: Via delle Panche</p> <p>Destinazione d'uso: Residenziale</p> <p>Numero di piani: 3</p> <p>Distanza dal centro palco: 50 m</p> <p>Classe acustica di appartenenza: IV</p>	
R02	<p>Comune di appartenenza: Firenze</p> <p>Indirizzo: Via delle Panche</p> <p>Destinazione d'uso: Residenziale</p> <p>Numero di piani: 2</p> <p>Distanza dal centro palco: 40 m</p> <p>Classe acustica di appartenenza: IV</p>	
R03	<p>Comune di appartenenza: Firenze</p> <p>Indirizzo: Via delle Panche</p> <p>Destinazione d'uso: Residenziale</p> <p>Numero di piani: 3</p> <p>Distanza dal centro palco: 35 m</p> <p>Classe acustica di appartenenza: IV</p>	
R04	<p>Comune di appartenenza: Firenze</p> <p>Indirizzo: Via delle Panche</p> <p>Destinazione d'uso: Residenziale</p> <p>Numero di piani: 3</p> <p>Distanza dal centro palco: 37 m</p> <p>Classe acustica di appartenenza: IV</p>	

Codice	Caratteristiche	Foto
R05	<p>Comune di appartenenza: Firenze</p> <p>Indirizzo: Via delle Panche</p> <p>Destinazione d'uso: Residenziale</p> <p>Numero di piani: 2</p> <p>Distanza dal centro palco: 43 m</p> <p>Classe acustica di appartenenza: IV</p>	
R06	<p>Comune di appartenenza: Firenze</p> <p>Indirizzo: Via delle Panche</p> <p>Destinazione d'uso: Residenziale</p> <p>Numero di piani: 3</p> <p>Distanza dal centro palco: 50 m</p> <p>Classe acustica di appartenenza: IV</p>	

7.5 Valori limite di riferimento

Stante il periodo di funzionamento diurno dell'auditorium esterno (06.00-22.00), gli indicatori necessari per la valutazione dell'impatto acustico delle sorgenti considerate nella presente relazione tecnica, sono:

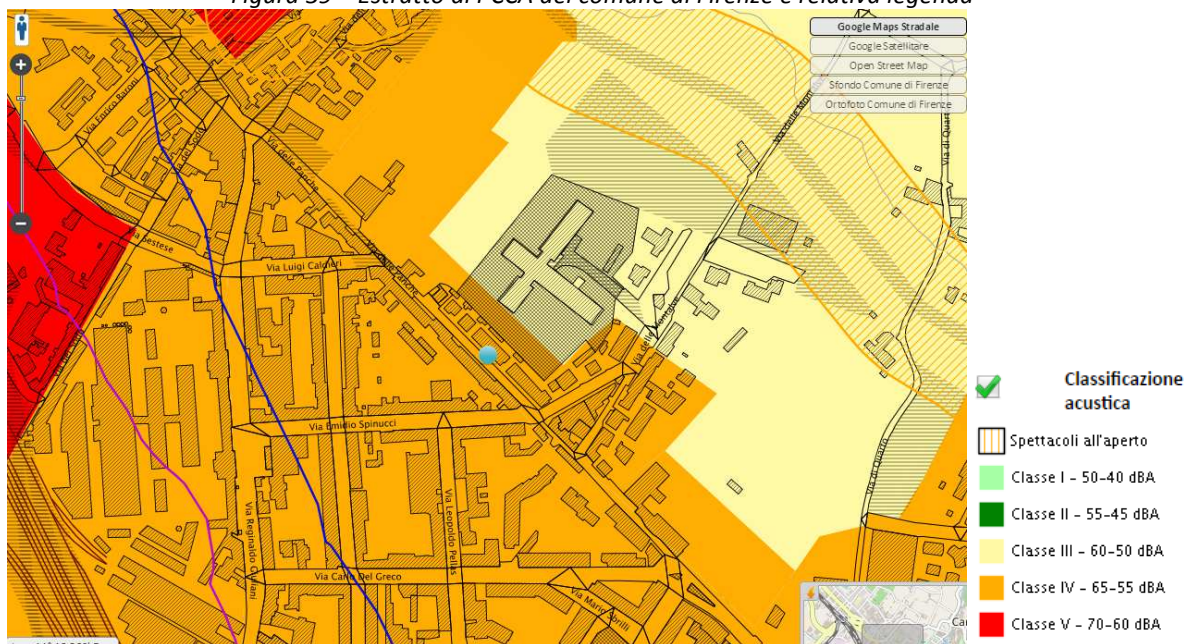
- **Livello di emissione:** livello di rumore emesso della sorgente specifica, riportato al periodo di riferimento diurno. I valori limite del livello di emissione sono indicati nel D.P.C.M. 14/11/1997.
- **Livello assoluto di immissione:** il criterio assoluto prevede di confrontare il livello di rumore ambientale riportato al periodo di riferimento diurno con i limiti fissati per la zona dalla classificazione acustica del territorio comunale, secondo quanto previsto dal D.P.C.M 14/11/1997.
- **Livello differenziale di immissione:** è la differenza algebrica tra il livello di rumore ambientale ed il livello di rumore residuo.

Con riferimento al D.M. Ambiente 16/03/98, i livelli di rumore ambientale e residuo sono definiti nel seguente modo:

- **Livello di rumore ambientale (L_A):** è il livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato "A", prodotto da tutte le sorgenti di rumore esistenti in un dato luogo e durante un determinato tempo.
- **Livello di rumore residuo (L_R):** è il livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato "A", che si rileva quando si esclude la specifica sorgente disturbante.

Come si nota in **Figura 39**, tutti i ricettori potenzialmente impattati compresi nello scenario di immissione sono situati in Classe IV "Aree di intensa attività umana", mentre il Plesso scolastico "Guicciardini", è collocato in classe III.

Figura 39 – Estratto di PCCA del comune di Firenze e relativa legenda



I relativi valori limite di riferimento, per quanto riguarda il livello assoluto di immissione ed il livello di emissione, sono riportati nella **Tabella 12**, mentre i valori limite per il criterio differenziale di immissione sono riportati in **Tabella 13**.

Tabella 12 – Valori limite assoluti di immissione e di emissione (ai sensi del D.P.C.M 14/11/1997)

	Periodo di riferimento	Classe IV
Valori limite di immissione (L_{Aeq})	DIURNO (06.00 – 22.00)	65
Valori limite di emissione (L_{Aeq})	DIURNO (06.00 – 22.00)	60

Tabella 13 – Valori limite differenziali di immissione (ai sensi del D.P.C.M 14/11/1997)

Periodo di riferimento DIURNO (06.00 – 22.00)	+5 dB(A)
---	-----------------

7.6 Costruzione del modello di simulazione acustica

La valutazione del livello sorgente, ovvero del contributo della sorgente specifica, è stata effettuata mediante la simulazione del rumore generato dalle sorgenti di rumore nelle due configurazioni di utilizzo dell’auditorium esterno precedentemente descritte (acustica naturale ed acustica elettroamplificata) verso i ricettori individuati nello scenario di immissione.

Per le simulazioni è stato impiegato il package software CadnaA versione 3.7.124, sviluppato dalla DataKustik GmbH. Si tratta dell’implementazione di un modello previsionale progettato per simulare la propagazione acustica in ambiente esterno. Il software è stato sviluppato in accordo alle indicazioni degli standard europei ed implementa più

modelli di calcolo della propagazione quali ad esempio la norma ISO 9613-2 utilizzata per la valutazione del rumore prodotto da sorgenti puntiformi o assimilabili ed il metodo di calcolo nazionale francese NMPB indicato dalla Comunità Europea per il calcolo del rumore prodotto da infrastrutture stradali. Il software consente di determinare la propagazione acustica in ambiente esterno prendendo in considerazione numerosi parametri e fattori legati:

- ✓ alla localizzazione, forma ed altezza degli edifici;
- ✓ alla topografia dell'area di indagine;
- ✓ alle caratteristiche fonoassorbenti del terreno;
- ✓ alle caratteristiche acustiche e geometriche della sorgente;
- ✓ alla presenza di eventuali ostacoli schermanti come le barriere antirumore;
- ✓ alla distanza di propagazione;
- ✓ al numero di riflessioni.

Il software utilizza un algoritmo di calcolo tipo "ray-tracing" con tracciamento dei raggi dai punti ricettori. La procedura di costruzione dello scenario ha previsto i seguenti passaggi:

- A partire dalla cartografia di base in formato digitale (3D) si sono inseriti nello scenario di immissione tutti gli edifici presenti nell'area adiacente all'auditorium esterno, e in particolare i ricettori censiti. In corrispondenza di ciascun piano di ogni edificio sono stati inseriti punti- ricettore, alla distanza di 1 m dalle facciate maggiormente esposte al rumore generato dalle sorgenti in esame.
- Si è proceduto alla caratterizzazione del terreno frapposto tra le sorgenti sonore e i ricettori. All'interno del modello il coefficiente che definisce il tipo di assorbimento del terreno è stato adeguatamente scelto in modo da risultare rappresentativo della zona di interesse ($G=0.4$).
- Inserimento degli edifici ricettori e definizione delle caratteristiche geometriche e acustiche.
- Inserimento delle sorgenti e loro caratterizzazione acustica.

Inoltre, si sono scelti i seguenti parametri di calcolo:

- Distanza di propagazione: nel modello si è usato il valore di 2000 m.
- Numero di riflessioni pari a 5.
- Occorrenza di condizioni meteorologiche favorevoli alla propagazione del suono pari a 50% nel periodo diurno (06.00 – 22.00), e 100% nel periodo notturno (22.00 – 06.00).
- Temperatura media e umidità: in considerazione del fatto che la zona in esame è caratterizzata da clima mite si sono mantenuti i parametri suggeriti dal programma di calcolo: temperatura 20°C, umidità 70%.

7.7 Rumore residuo

Il rumore residuo ai fini della presente valutazione è costituito essenzialmente dal rumore da traffico stradale prodotto principalmente dalla vicina Via delle Panche che risulta essere la principale sorgente caratterizzante il clima acustico nell'area di studio.

Il rumore residuo dell'area è stato valutato mediante misure fonometriche della durata di 24 ore effettuate mediante l'installazione di una centralina di monitoraggio. Tale centralina è stata installata sul confine del resede scolastico, in direzione del ricettore abitativo potenzialmente più impattato dalle sorgenti di pertinenza dell'auditorium esterno.

Nella tabella seguente sono riportati i dati relativi alle misurazioni fonometriche effettuate.

Tabella 14 – Data e orario di effettuazione delle misurazioni fonometriche

Data effettuazione misure	29-30 Giugno 2017 (perimetrali)
Condizioni meteorologiche	Assenza di precipitazioni, vento e altre perturbazioni
Tempo di riferimento (T_R)	Diurno / Notturmo
Tempo di osservazione (T_O)	24 ore
Tempo di misura (T_M)	24 ore
Tecnici che hanno partecipato per Vie en.ro.se. Ingegneria S.r.l. all'effettuazione delle misure	Arch. Rossella Natale Tecnico Competente in acustica ambientale della Regione Campania Arch. Giacomo Nocentini Tecnico Competente in acustica ambientale n. 999 della regione Toscana

Nella tabella seguente è riportato il riepilogo dei risultati delle rilevazioni fonometriche effettuate per ciascuna delle fasce orarie in cui è stato suddiviso il periodo di riferimento diurno. In rosso è stato indicato il rumore residuo più basso tra quelli rilevati nel periodo di riferimento 6.00-22.00, cautelativamente preso come riferimento per il rumore residuo dell'area per la valutazione dell'impatto acustico delle attività dell'auditorium esterno.

Tabella 15 – Risultati delle misure fonometriche del rumore residuo dell'area in esame

Data della misura	Fascia oraria di misura	Postazione di misura	Lp [dB(A)]
29/06/2017	13:00	P01	51.2
	14:00		52.3
	15:00		51.8
	16:00		51.4
	17:00		60.7
	18:00		56.1
	19:00		52.5
	20:00		56.7
	21:00		52.5
30/06/2017	06:00		49.9
	07:00		49.9
	08:00		51.3
	09:00		55
	10:00		53.9
	11:00		50.8
	12:00	53.7	
	13:00	51.2	
	14:00	49.7	
15:00	51.1		

Figura 40 – Storia temporale e spettrale della misura effettuata tra le ore 12.22 e le ore 23.59 del giorno 29/06/2017

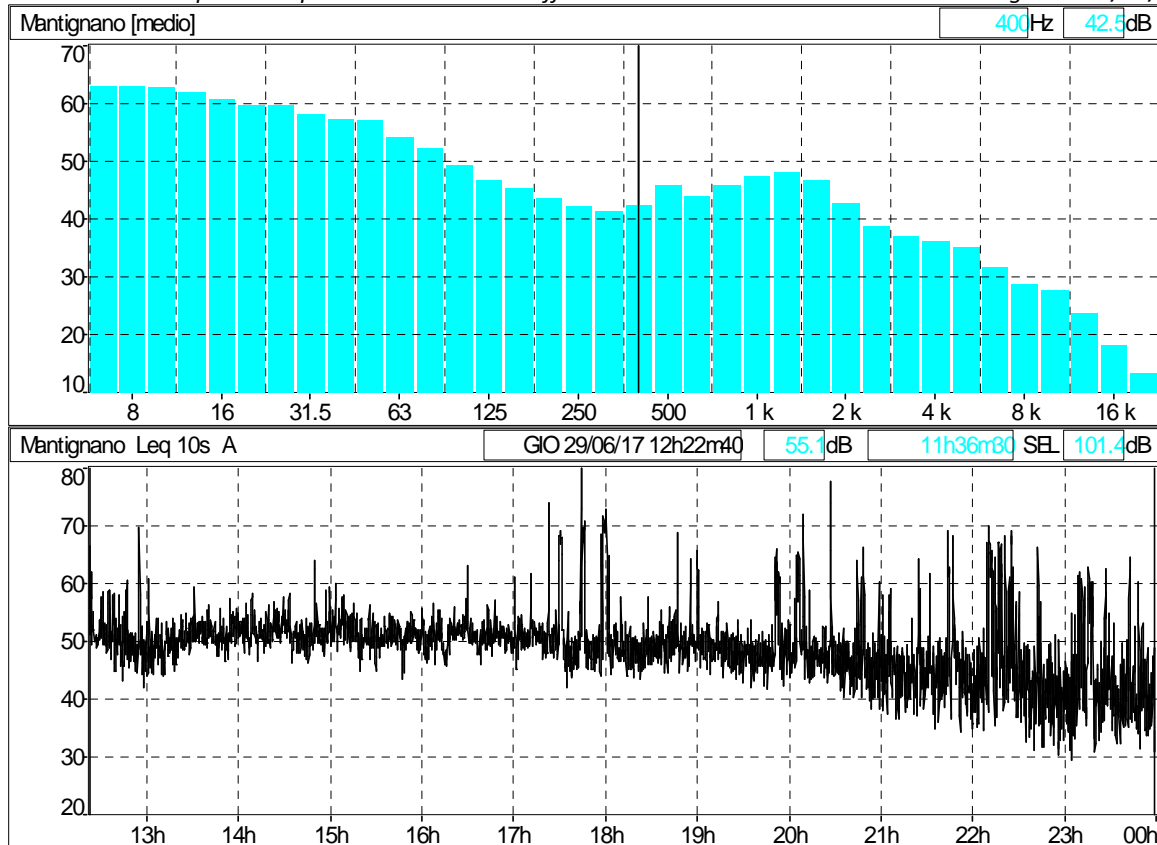
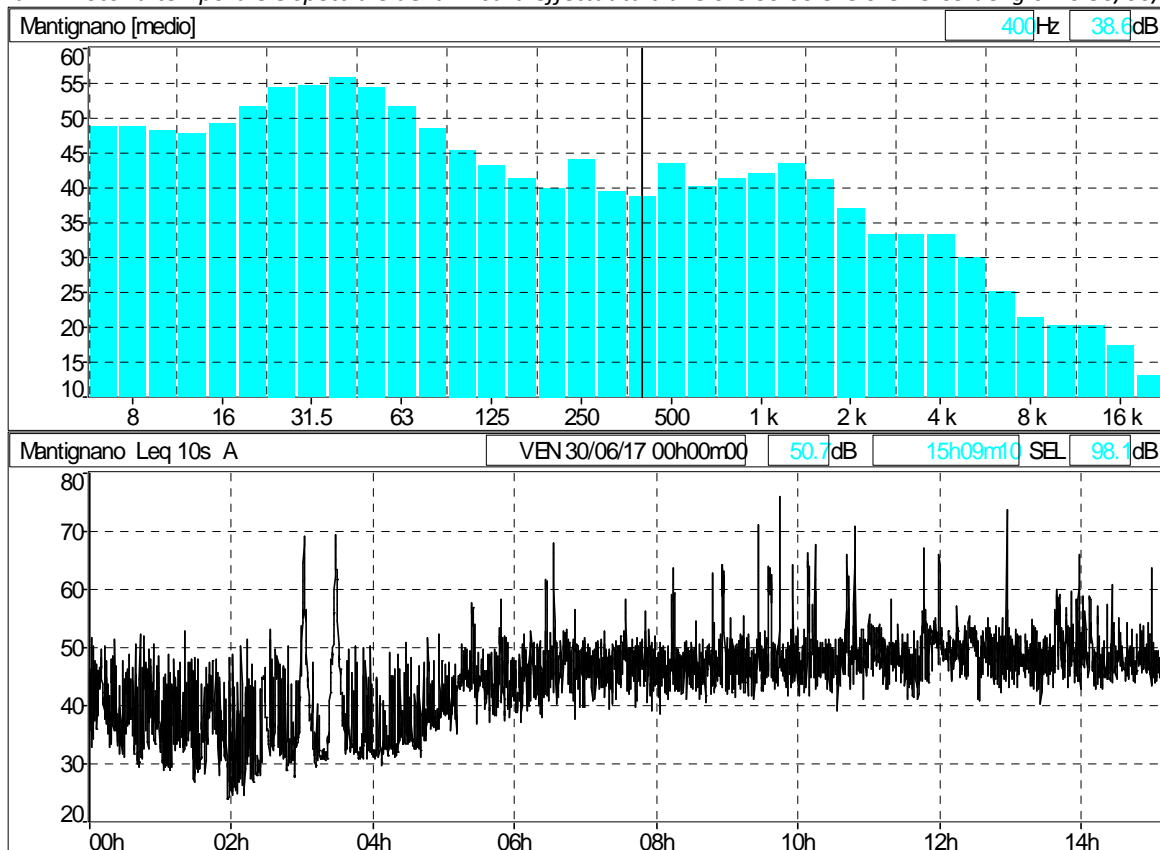


Figura 41 – Storia temporale e spettrale della misura effettuata tra le ore 00.00 e le ore 15:09 del giorno 30/06/2017



7.8 Livelli sorgente prodotti dalle attività dell'auditorium esterno

Dal punto di vista modellistico, le sorgenti acustiche in questione sono state simulate mediante delle sorgenti puntiformi omnidirezionali, localizzate in corrispondenza dell'effettiva ubicazione delle sorgenti relative alle due principali configurazioni di utilizzo dell'auditorium esterno:

- Acustica naturale: sorgente puntiforme collocata al centro del palco ad un'altezza pari a 1.5 m sul piano di calpestio di quest'ultimo;
- Acustica elettroamplificata: 4 sorgenti puntiformi collocate ai due lati della platea ove verranno posizionati i diffusori acustici (due sono stati posizionati ai lati del palco all'altezza del palco stesso e due a metà della platea ad altezza pari a 3 m sul piano del terreno).

Figura 42 – Collocazione della sorgente sonora nella configurazione di acustica naturale

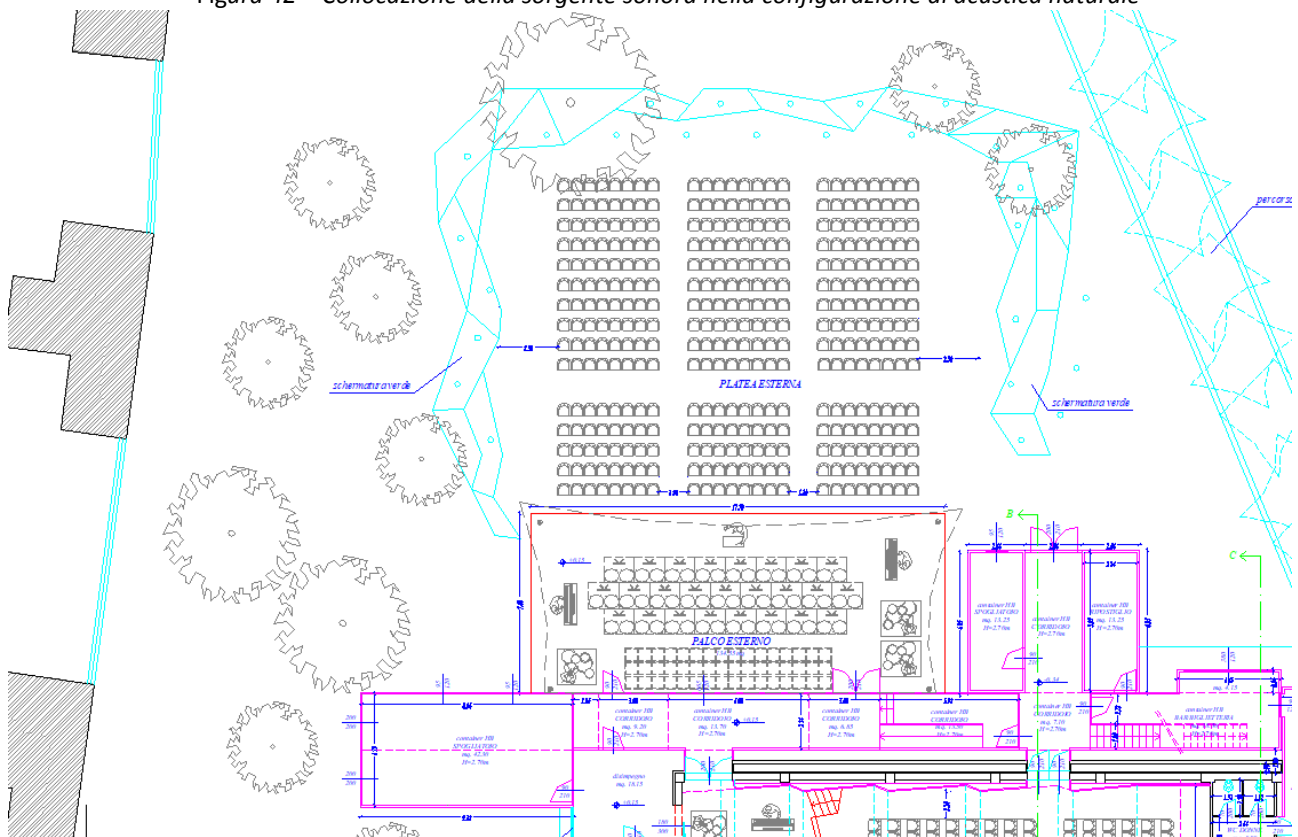
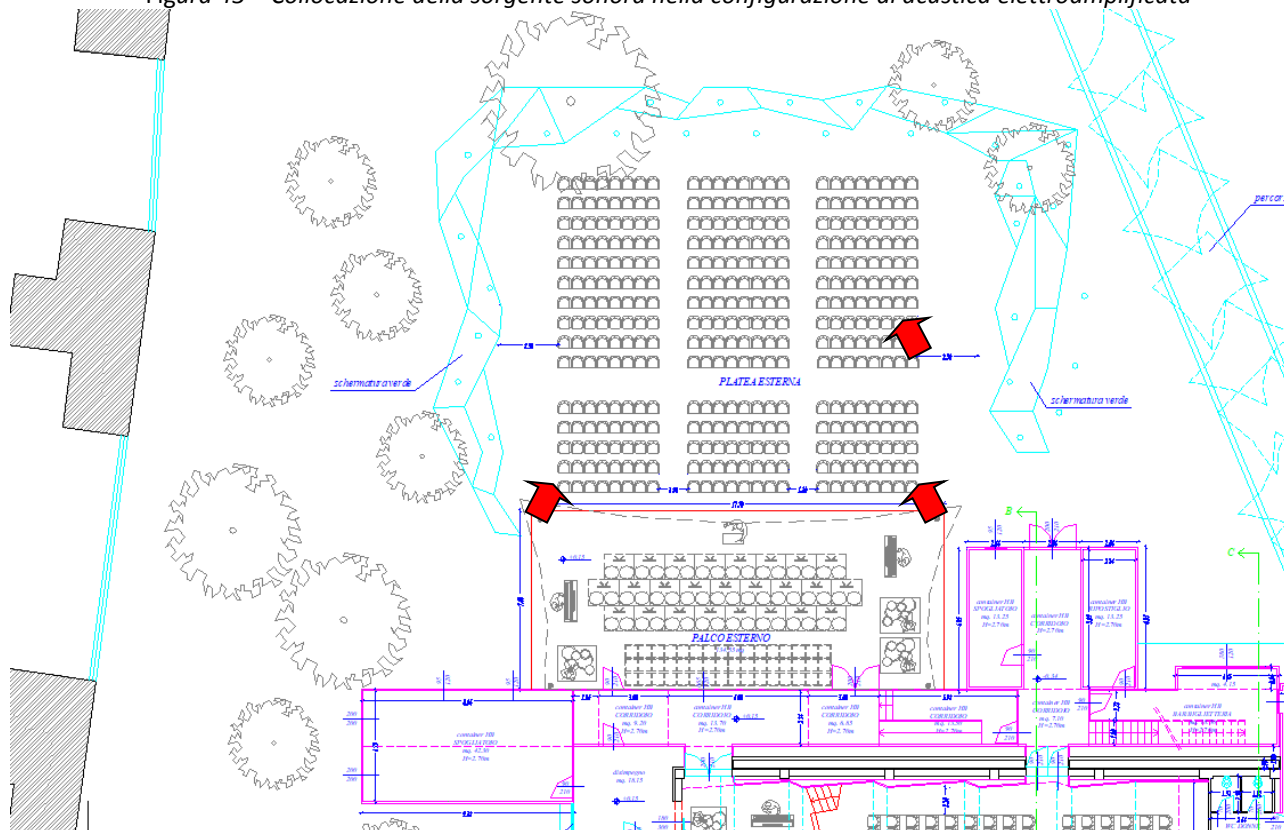


Figura 43 – Collocazione della sorgente sonora nella configurazione di acustica elettroamplificata

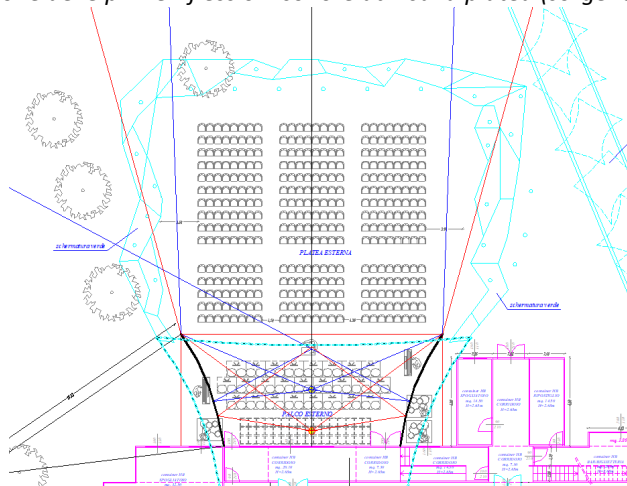


Il modello è stato utilizzato per valutare il livello sorgente, ovvero il contributo complessivo che tutte le sorgenti andranno a generare in facciata a tutti i ricettori considerati nel periodo di riferimento diurno.

Per ciascuna configurazione di utilizzo dell'auditorium sono state analizzate due ipotesi differenti:

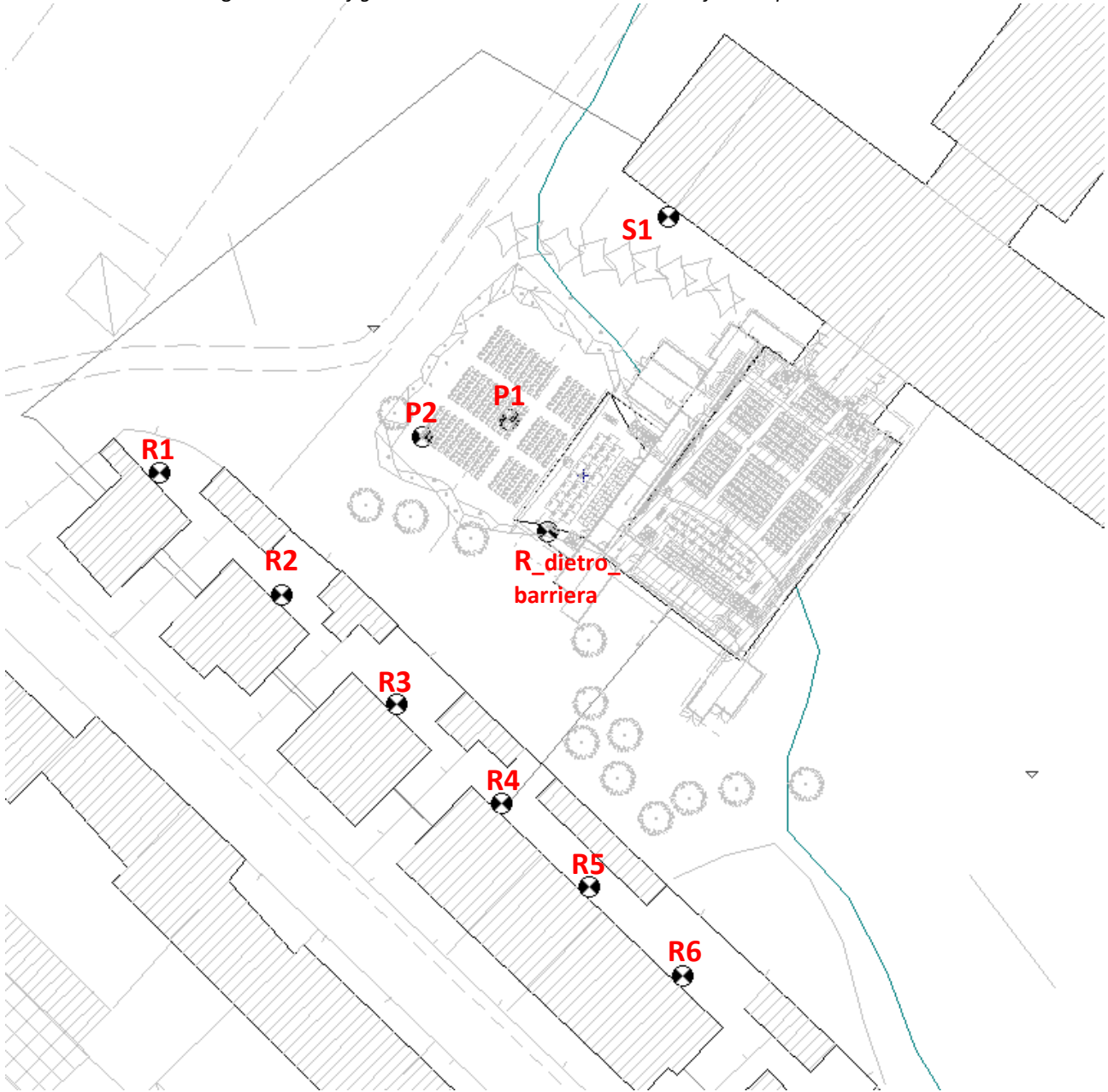
- Ipotesi 1: nessun intervento di mitigazione acustica del rumore dell'auditorium esterno;
- Ipotesi 2: realizzazione di due ali sui lati corti del palco aventi altezza variabile da 3 m (lato facciata auditorium) a 4 m (lato platea). Tali ali, oltre a ridurre il rumore prodotto dalle sorgenti sul palco, hanno lo scopo di aumentare le riflessioni verso la platea in modo da migliorare le condizioni di ascolto dell'acustica naturale verso le ultime file (Figura 44).

Figura 44 – Costruzione delle prime riflessioni sonore utili sulla platea (sorgente al centro del palco)



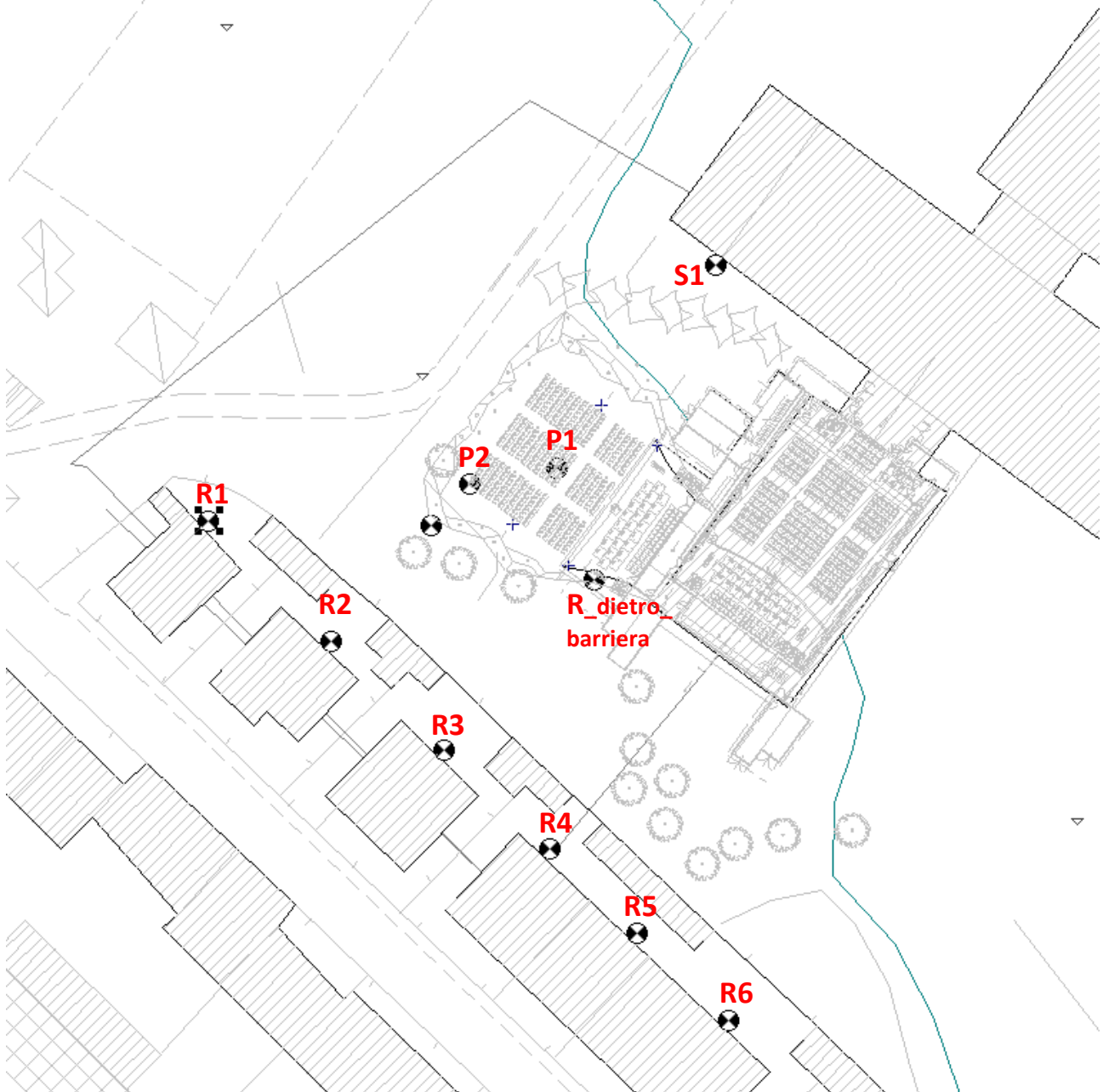
Nelle figure che seguono si riportano le planimetrie dei modelli acustici con la codifica dei punti ricettori impiegati per il calcolo dei livelli sorgente riportati nelle tabelle che seguono.

Figura 45 – Configurazione dell'acustica naturale: codifica dei punti ricettori



I punti con la codifica R indicano i ricettori esterni per i quali il rispetto dei valori limite di legge risulta cogente, i punti con la codifica P sono dei punti posizionati nella platea finalizzati a valutare se le condizioni di ascolto sono sufficienti, i punti S sono i punti in facciata della scuola al fine di verificare se esistono condizioni di interferenza tra le attività dell'auditorium e quelle all'interno delle aule con affaccio sull'auditorium, infine il punto R dietro la barriera è un punto di controllo.

Figura 46 – Configurazione dell'acustica elettroamplificata: codifica dei punti ricettori



In tabella si riportano i livelli sorgente calcolati in corrispondenza di tutti i ricettori, nelle quattro configurazioni analizzate e prima descritte.

Il livello di potenza sonora delle sorgenti è stato tarato in modo da avere condizioni sufficienti di ascolto nella platea e nel contempo il rispetto dei valori limite di legge presso i ricettori più impattati. In particolare, si riportano di seguito i livelli di potenza sonora considerati nei calcoli per le due configurazioni di utilizzo dell'auditorium:

- **Acustica naturale:** $L_{WA, sorgente \text{ centro palco}} = 92 \text{ dB(A)}$;
- **Acustica elettroamplificata:** $L_{WA, diffusori} = 84 \text{ dB(A)}$.

Tabella 16 – Livelli sorgente simulati al ricettore

Acustica naturale (1 sorgente centro palco)			Acustica elettroamplificata (4 sorgenti)		
Codifica ricettore	Ipotesi 1: no interventi	Ipotesi 2: ali palco	Codifica ricettore	Ipotesi 1: no interventi	Ipotesi 2: ali palco
	Lp - Diurno dB(A)	Lp - Diurno dB(A)		Lp - Diurno dB(A)	Lp - Diurno dB(A)
R01 EG	49.2	49.9	R01 EG	50.1	50.7
R01 1.OG	50.6	51.2	R01 1.OG	50.4	51
R01 2.OG	53.6	54	R01 2.OG	52.3	52.8
R02 EG	53.5	53.1	R02 EG	53.1	53.5
R02 1.OG	54.1	53.8	R02 1.OG	53.5	54.2
R03 EG	53.2	49.4	R03 EG	53.4	52
R03 1.OG	55.4	50.2	R03 1.OG	54.1	52.6
R03 2.OG	55.8	51.5	R03 2.OG	54.2	53.1
R04 EG	44.9	43.5	R04 EG	45.6	43.6
R04 1.OG	50.1	46.6	R04 1.OG	48.2	48.2
R04 2.OG	52.3	47.4	R04 2.OG	51.5	49.5
R05 EG	43.6	41.8	R05 EG	44.5	42.3
R05 1.OG	47.4	44.4	R05 1.OG	46.3	46
R06 EG	42.5	40.5	R06 EG	43	40.9
R06 1.OG	45.3	43.9	R06 1.OG	44.4	43.3
R06 2.OG	46.3	44.3	R06 2.OG	46.5	44.8
P01	62.6	62.8	P01	63.9	64.8
P02	57.9	58.2	P02	62.7	63.2
S01 EG	54.7	52.5	S01 EG	57.5	56.4
S01 1.OG	55.9	53.3	S01 1.OG	57.6	56.6
R_diestro_barr	69	58.2	R_diestro_bar	68.2	59.7

Come si può osservare dai risultati sopra riportati, l'impianto elettroacustico, a partire da potenze sonore più contenute, garantisce dei livelli sonori più elevati anche alle ultime file rispetto a quanto accade in condizioni di acustica naturale dove alle ultime file non sono assicurati livelli di ascolto adeguati, in quanto troppo simili al livello di rumore di fondo presente nell'area.

Viceversa il rumore trasmesso in facciata della scuola stessa risulta maggiore in corrispondenza dell'impianto elettroacustico sul quale l'intervento di mitigazione delle ali non trova beneficio. Dati i livelli in facciata inferiori a 60 dB(A), in entrambi i casi, si ritiene che a finestre chiuse l'attenuazione dovuta alla presenza dei serramenti sia tale da mitigare sufficientemente la propagazione del rumore all'interno delle aule. Viceversa a finestre aperte non sono garantite condizioni di silenzio all'interno degli ambienti che si affacciano sull'auditorium esterno.

Considerando i livelli sorgente sopra determinati ed i livelli di rumore residuo definiti in precedenza si procede quindi alla valutazione dei livelli di emissione, immissione assoluti e differenziali ed al confronto con i relativi limiti.

Nelle immagini che seguono si riportano le mappe isofoniche calcolate per lo scenario in esame, a partire dalle diverse configurazioni analizzate.

Figura 47 – Mappe isofoniche per la configurazione dell'acustica naturale e l'ipotesi 1 (no interventi)

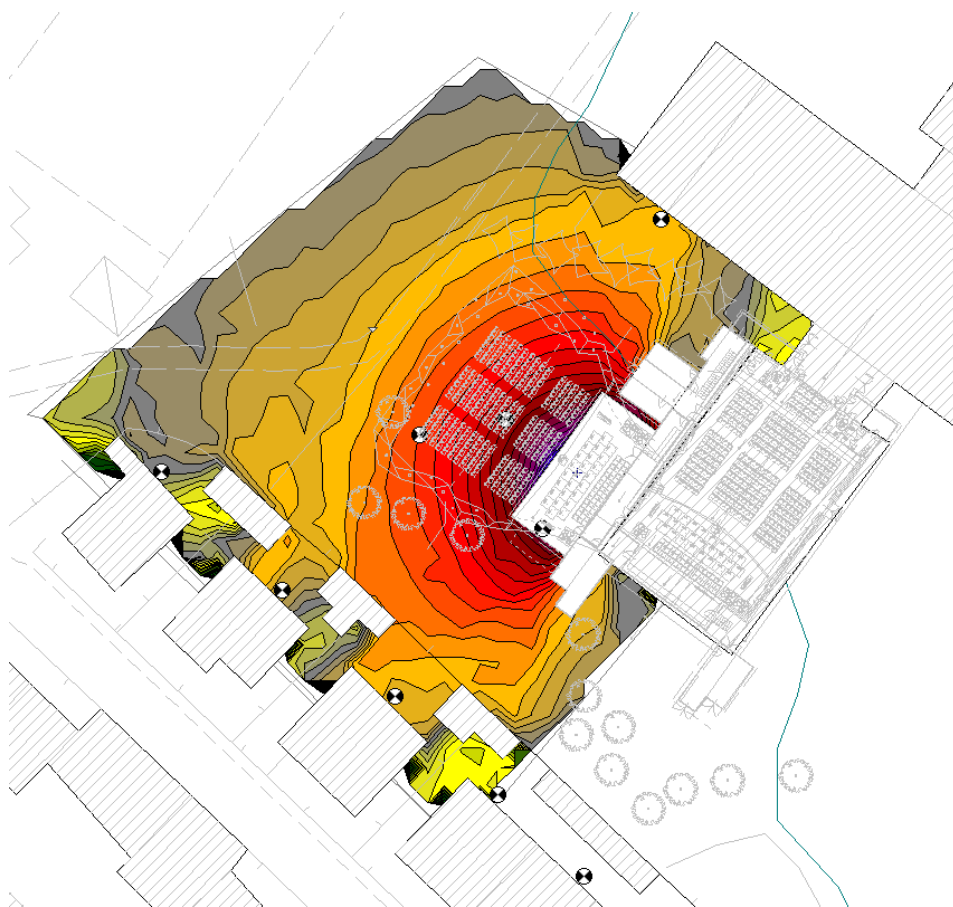


Figura 48 – Mappe isofoniche per la configurazione dell'acustica naturale e l'ipotesi 2 (ali sul palco)

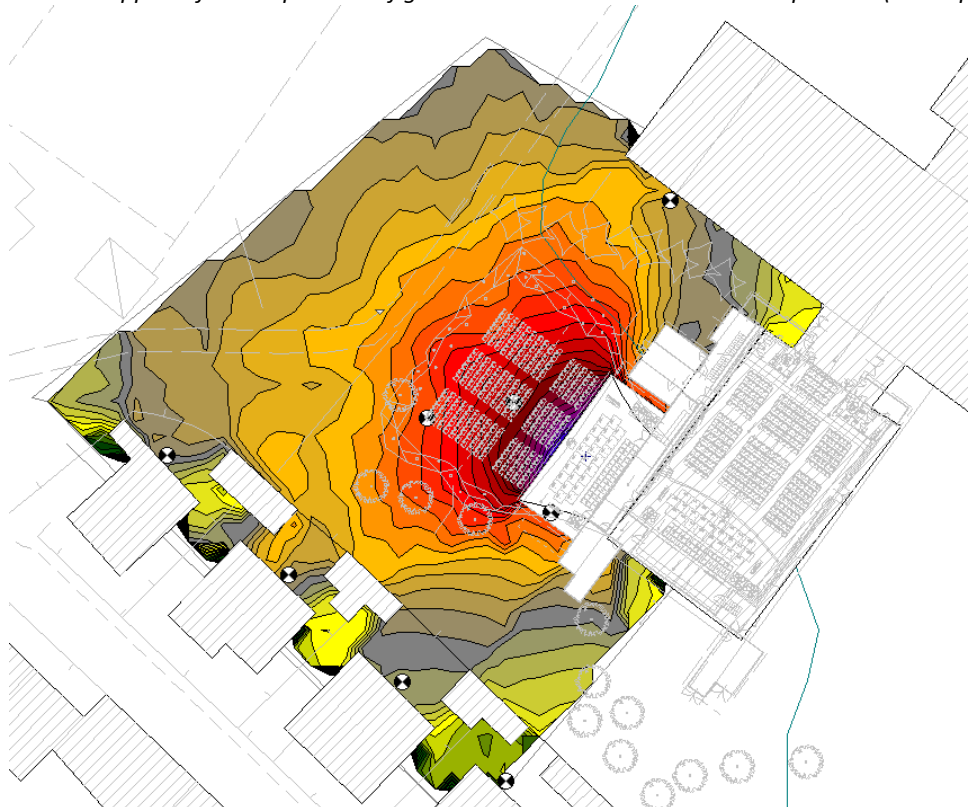


Figura 49 – Mappe isofoniche per la configurazione dell'acustica elettroamplificata e l'ipotesi 1 (no interventi)

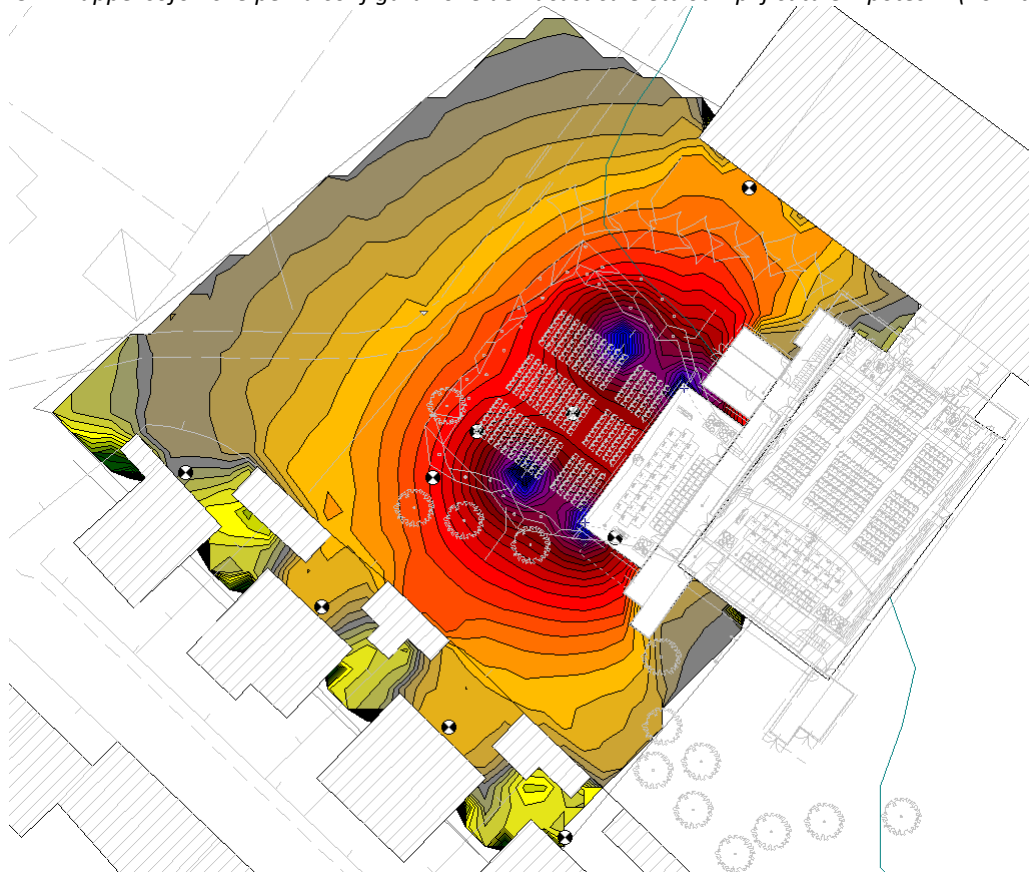
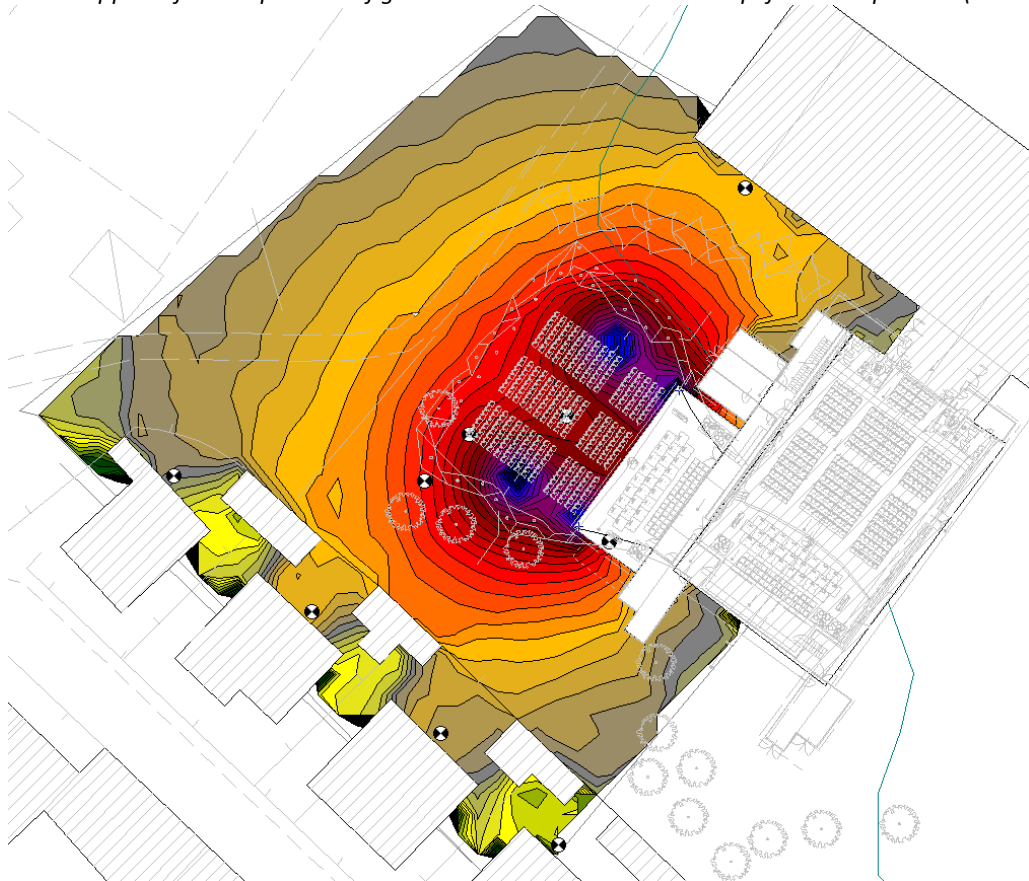


Figura 50 – Mappe isofoniche per la configurazione dell'acustica elettroamplificata e l'ipotesi 2 (ali sul palco)



7.9 Verifica dei limiti di emissione

Per quanto riguarda i livelli di emissione dell'auditorium esterno, in via assolutamente cautelativa ovvero non considerando la spalmatura del contributo della sorgente specifica nel periodo di riferimento, questi possono essere presi uguali ai livelli sorgente determinati nella tabella precedente e confrontati con i limiti di emissione previsti dalla classificazione acustica in corrispondenza dei ricettori. In tabella si riportano i livelli sorgente ed i limiti imposti.

Tabella 17 – Verifica dei valori limite di emissione

Acustica naturale (1 sorgente centro palco)					Acustica elettroamplificata (4 sorgenti)				
Codifica ricettore	Classe PCCA	Limite di emissione periodo di riferimento diurno dB(A)	Ipotesi 1:	Ipotesi 2:	Codifica ricettore	Classe PCCA	Limite di emissione periodo di riferimento diurno dB(A)	Ipotesi 1:	Ipotesi 2:
			no interventi	ali palco				no interventi	ali palco
			Lp - Diurno dB(A)	Lp - Diurno dB(A)				Lp - Diurno dB(A)	Lp - Diurno dB(A)
R01 EG	IV	60	49.2	49.9	R01 EG	IV	60	50.1	50.7
R01 1.OG	IV	60	50.6	51.2	R01 1.OG	IV	60	50.4	51
R01 2.OG	IV	60	53.6	54	R01 2.OG	IV	60	52.3	52.8
R02 EG	IV	60	53.5	53.1	R02 EG	IV	60	53.1	53.5
R02 1.OG	IV	60	54.1	53.8	R02 1.OG	IV	60	53.5	54.2
R03 EG	IV	60	53.2	49.4	R03 EG	IV	60	53.4	52
R03 1.OG	IV	60	55.4	50.2	R03 1.OG	IV	60	54.1	52.6
R03 2.OG	IV	60	55.8	51.5	R03 2.OG	IV	60	54.2	53.1
R04 EG	IV	60	44.9	43.5	R04 EG	IV	60	45.6	43.6
R04 1.OG	IV	60	50.1	46.6	R04 1.OG	IV	60	48.2	48.2
R04 2.OG	IV	60	52.3	47.4	R04 2.OG	IV	60	51.5	49.5
R05 EG	IV	60	43.6	41.8	R05 EG	IV	60	44.5	42.3
R05 1.OG	IV	60	47.4	44.4	R05 1.OG	IV	60	46.3	46
R06 EG	IV	60	42.5	40.5	R06 EG	IV	60	43	40.9
R06 1.OG	IV	60	45.3	43.9	R06 1.OG	IV	60	44.4	43.3
R06 2.OG	IV	60	46.3	44.3	R06 2.OG	IV	60	46.5	44.8
P01	-		62.6	62.8	P01	-	-	63.9	64.8
P02	-		57.9	58.2	P02	-	-	62.7	63.2
S01 EG	-		54.7	52.5	S01 EG	-	-	57.5	56.4
S01 1.OG	-		55.9	53.3	S01 1.OG	-	-	57.6	56.6
R_diestro_barr	-		69	58.2	R_diestro_barr	-	-	68.2	59.7

In base ai livelli riportati in tabella si evidenzia il pieno rispetto del limite imposto presso tutti i ricettori maggiormente impattati (punti ricettore indicati con la codifica R).

7.10 Verifica dei limiti di immissione

Per quanto riguarda il limite assoluto di immissione, questo risulta certamente rispettato stanti i livelli di emissioni ed i livelli di rumore residuo sopra riportati.

In tale scenario, stanti i ridotti livelli di emissione della sorgente specifica, eventuali superamenti del limite assoluto di immissione sono da riferirsi alla variabilità del rumore residuo piuttosto che alla sorgente specifica.

7.11 Verifica del criterio differenziale di immissione

Per quanto riguarda il criterio differenziale di immissione devono invece essere fatte le seguenti considerazioni.

Il D.P.C.M. 14/11/1997 all'art. 4 stabilisce che i limiti differenziali devono essere valutati esclusivamente all'interno degli ambienti ricettore. Il medesimo decreto fissa un livello minimo di applicabilità del criterio differenziale e stabilisce che, nel periodo di riferimento diurno, ogni effetto del rumore è da ritenersi trascurabile se il livello del

rumore ambientale misurato a finestre aperte è inferiore a 50 dB(A) e se il livello del rumore ambientale misurato a finestre chiuse è inferiore a 35 dB(A).

Nel caso specifico, partendo dai livelli di rumore ambientale e residuo stimati in facciata, riassunti nella tabella seguente, considerando un'attenuazione pari a 6 dB(A)⁴ nel passaggio dall'esterno in facciata all'interno nella condizione a finestre aperte (condizione più gravosa per il ricettore essendo le sorgenti esterne all'edificio), è possibile stimare un valore di rumore ambientale interno nella condizione a finestre aperte inferiore alle soglie di applicabilità, pari a 50 dB(A).

Nelle tabelle che seguono si riportano i risultati delle verifiche del criterio differenziale di immissione per le due configurazioni di utilizzo dello spazio in esame.

Tabella 18 – Verifica del criterio differenziale di immissione nella configurazione dell'acustica naturale

Codifica ricettore	Acustica naturale (1 sorgente centro palco)									
	Ipotesi 1: no interventi					Ipotesi 2: ali palco				
	Livello di Rumore Residuo L _R misurato dB(A)	Livello di Rumore Ambientale L _A stimato in facciata dB(A)	Livello di Rumore Residuo L _R stimato in interno dB(A)	Livello di Rumore Ambientale L _A stimato in interno dB(A)	Differenziale L _D = L _A - L _R	Livello di Rumore Residuo L _R misurato dB(A)	Livello di Rumore Ambientale L _A stimato in facciata dB(A)	Livello di Rumore Residuo L _R stimato in interno dB(A)	Livello di Rumore Ambientale L _A stimato in interno dB(A)	Differenziale L _D = L _A - L _R
R01 EG	49.7	52.5	43.7	46.5	non applicabile	49.7	52.8	43.7	46.8	non applicabile
R01 1.OG	49.7	53.2	43.7	47.2	non applicabile	49.7	53.5	43.7	47.5	non applicabile
R01 2.OG	49.7	55.1	43.7	49.1	non applicabile	49.7	55.4	43.7	49.4	non applicabile
R02 EG	49.7	55.0	43.7	49.0	non applicabile	49.7	54.7	43.7	48.7	non applicabile
R02 1.OG	49.7	55.4	43.7	49.4	non applicabile	49.7	55.2	43.7	49.2	non applicabile
R03 EG	49.7	54.8	43.7	48.8	non applicabile	49.7	52.6	43.7	46.6	non applicabile
R03 1.OG	49.7	56.4	43.7	50.4	6.7	49.7	53.0	43.7	47.0	non applicabile
R03 2.OG	49.7	56.8	43.7	50.8	7.1	49.7	53.7	43.7	47.7	non applicabile
R04 EG	49.7	50.9	43.7	44.9	non applicabile	49.7	50.6	43.7	44.6	non applicabile
R04 1.OG	49.7	52.9	43.7	46.9	non applicabile	49.7	51.4	43.7	45.4	non applicabile
R04 2.OG	49.7	54.2	43.7	48.2	non applicabile	49.7	51.7	43.7	45.7	non applicabile
R05 EG	49.7	50.7	43.7	44.7	non applicabile	49.7	50.4	43.7	44.4	non applicabile
R05 1.OG	49.7	51.7	43.7	45.7	non applicabile	49.7	50.8	43.7	44.8	non applicabile
R06 EG	49.7	50.5	43.7	44.5	non applicabile	49.7	50.2	43.7	44.2	non applicabile
R06 1.OG	49.7	51.0	43.7	45.0	non applicabile	49.7	50.7	43.7	44.7	non applicabile
R06 2.OG	49.7	51.3	43.7	45.3	non applicabile	49.7	50.8	43.7	44.8	non applicabile

Come si può osservare nella tabella precedente, a partire da una sorgente sonora puntiforme omnidirezionale posizionata al centro del palco con un livello di potenza sonora massimo pari a 92 dB(A), il criterio differenziale di immissione è verificato nel periodo di riferimento diurno in tutti i ricettori considerati, a patto che vengano realizzate le ali di progetto con altezza minima pari a 3 m.

⁴ Dalla letteratura (A. Di Bella, F. Fellini, M. Tergolina, R. Zecchin, "Metodi per l'analisi di impatto acustico di installazioni impiantistiche per il condizionamento e la refrigerazione", articolo tratto da "Immissioni di rumore e vibrazione da impianti civili e stabilimenti") ci si attende un'attenuazione di circa 6 dB(A) nel passaggio dall'esterno all'interno a finestre aperte.

Tabella 19 – Verifica del criterio differenziale di immissione nella configurazione dell'acustica elettroamplificata

Acustica elettroamplificata (4 sorgenti)											
Codifica ricettore	Ipotesi 1: no interventi					Ipotesi 2: ali palco					
	Livello di Rumore Residuo L _R misurato dB(A)	Livello di Rumore Ambientale L _A stimato in facciata dB(A)	Livello di Rumore Residuo L _R stimato in interno dB(A)	Livello di Rumore Ambientale L _A stimato in interno dB(A)	Differenziale L _D = L _A - L _R	Livello di Rumore Residuo L _R misurato dB(A)	Livello di Rumore Ambientale L _A stimato in facciata dB(A)	Livello di Rumore Residuo L _R stimato in interno dB(A)	Livello di Rumore Ambientale L _A stimato in interno dB(A)	Differenziale L _D = L _A - L _R	
R01 EG	49.7	52.9	43.7	46.9	non applicabile	49.7	53.2	43.7	47.2	non applicabile	
R01 1.OG	49.7	53.1	43.7	47.1	non applicabile	49.7	53.4	43.7	47.4	non applicabile	
R01 2.OG	49.7	54.2	43.7	48.2	non applicabile	49.7	54.5	43.7	48.5	non applicabile	
R02 EG	49.7	54.7	43.7	48.7	non applicabile	49.7	55.0	43.7	49.0	non applicabile	
R02 1.OG	49.7	55.0	43.7	49.0	non applicabile	49.7	55.5	43.7	49.5	non applicabile	
R03 EG	49.7	54.9	43.7	48.9	non applicabile	49.7	54.0	43.7	48.0	non applicabile	
R03 1.OG	49.7	55.4	43.7	49.4	non applicabile	49.7	54.4	43.7	48.4	non applicabile	
R03 2.OG	49.7	55.5	43.7	49.5	non applicabile	49.7	54.7	43.7	48.7	non applicabile	
R04 EG	49.7	51.1	43.7	45.1	non applicabile	49.7	50.7	43.7	44.7	non applicabile	
R04 1.OG	49.7	52.0	43.7	46.0	non applicabile	49.7	52.0	43.7	46.0	non applicabile	
R04 2.OG	49.7	53.7	43.7	47.7	non applicabile	49.7	52.6	43.7	46.6	non applicabile	
R05 EG	49.7	50.8	43.7	44.8	non applicabile	49.7	50.4	43.7	44.4	non applicabile	
R05 1.OG	49.7	51.3	43.7	45.3	non applicabile	49.7	51.2	43.7	45.2	non applicabile	
R06 EG	49.7	50.5	43.7	44.5	non applicabile	49.7	50.2	43.7	44.2	non applicabile	
R06 1.OG	49.7	50.8	43.7	44.8	non applicabile	49.7	50.6	43.7	44.6	non applicabile	
R06 2.OG	49.7	51.4	43.7	45.4	non applicabile	49.7	50.9	43.7	44.9	non applicabile	

Come si può osservare nella tabella precedente, a partire da quattro sorgenti puntiformi omnidirezionali posizionate ove verranno collocati i diffusori acustici con un livello di potenza sonora massimo pari a 84 dB(A), il criterio differenziale di immissione è verificato nel periodo di riferimento diurno in tutti i ricettori considerati in entrambe le configurazioni di progetto esaminate, dal momento che la presenza delle ali sul palco non influenza la propagazione sonora dei diffusori acustici.

PARTE 3

Valutazione previsionale dell'impatto acustico degli impianti tecnologici sull'interno e sui ricettori esterni

8. VALUTAZIONE PREVISIONALE DI IMPATTO ACUSTICO DEGLI IMPIANTI TECNOLOGICI SUI RICETTORI ESTERNI

8.1 Introduzione

Nella presente valutazione vengono sviluppati i seguenti punti:

- ✓ definizione di uno schema planimetrico dell'area di emissione, con indicazione della collocazione delle diverse sorgenti di rumore;
- ✓ individuazione e censimento dei ricettori più significativi lungo le diverse direzioni e secondo le diverse vie di propagazione del rumore prodotto dal funzionamento degli impianti tecnici posti in esterno;
- ✓ indicazione della classe di appartenenza della zona in cui si trova l'attività ed i ricettori più esposti, secondo quanto riportato nel Piano Comunale di Classificazione Acustica del Comune di Firenze;
- ✓ stima dei livelli di rumore residuo e ambientale in prossimità dei ricettori più prossimi all'attività oggetto di valutazione, ritenuti come quelli maggiormente impattati dalla rumorosità prodotta dagli impianti tecnici esterni;
- ✓ valutazione di impatto acustico, applicando i criteri previsti dalla vigente legislazione in materia, nel periodo di riferimento diurno: verifica dei livelli assoluti di immissione e di emissione, verifica del criterio differenziale di immissione.

8.2 Descrizione dello scenario di emissione sonora

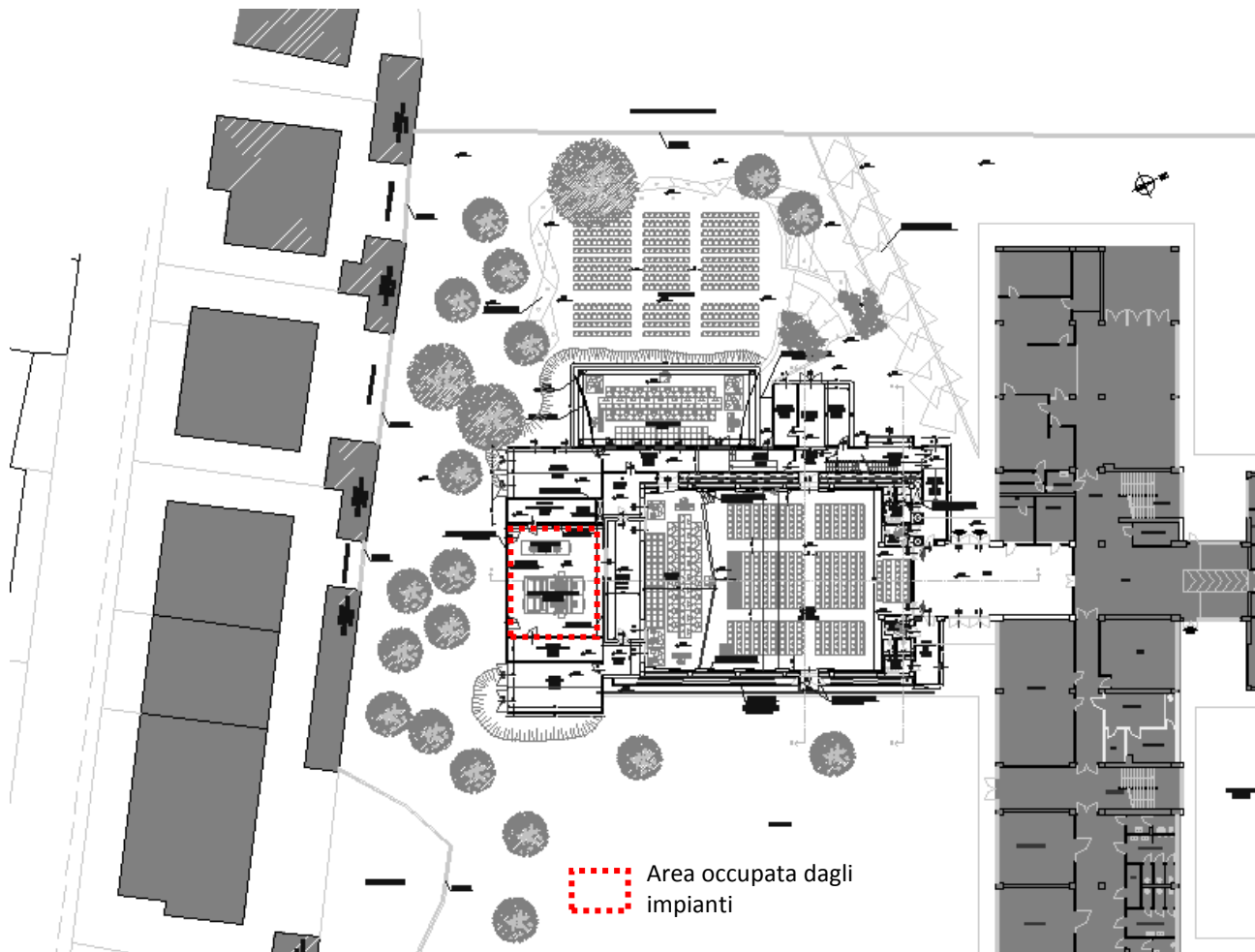
L'area oggetto di indagine è situata nel Comune di Firenze in prossimità di Via delle Panche.

Figura 51 – Vista dall'alto dell'area in cui verrà realizzato l'auditorium esterno di pertinenza della scuola Guicciardini



I ricettori abitativi più prossimi alle sorgenti impiantistiche esterne di pertinenza dell'Auditorium sono collocati lungo Via delle Panche. Il più vicino si trova a circa 25 m da questi.

Figura 52 – Planimetria della zona in cui è collocato l’Auditorium esterno di progetto relativo alla Scuola Guicciardini



8.3 Descrizione delle sorgenti

Per la valutazione dello scenario di emissione si è proceduto all'acquisizione e all'esame di tutte le informazioni relative alle sorgenti acustiche principali, per poter definire in modo corretto e completo lo scenario di emissione.

Nella tabella sottostante è riportato il censimento delle sorgenti, mentre le relative schede tecniche sono riportate nell'allegato in calce alla presente relazione. In tabella, oltre al codice identificativo ed alla tipologia di ciascuna sorgente, sono riportate dimensioni, quantità, marca, modello, posizionamento, livello di potenza sonora [dB(A)], periodo di funzionamento e contributo fotografico laddove disponibile.

Tabella 20 – descrizione sorgente UTA (codifica S01)

ID Sorgente	S01	Immagine di riferimento 							
Nome	Unità Trattamento Aria								
Dimensioni	6420 (l) x 1580 (p) x 3040 (h) mm								
Quantità	2								
Marca	Climaveneta								
Modello	WZ-E3600								
Posizionamento	Area retro palco								
Periodo di funzionamento	Diurno								
Dati acustici									
AHU sound levels		Octave band (Hz)							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Tot. dB(A)
Potenza sonora aspirazione (mandata) [dB]	64	67	75	63	53	44	38	27	68
Potenza sonora mandata (mandata) [dB]	78	89	85	84	81	77	73	69	86
Potenza sonora aspirazione (ripresa) [dB]	69	75	73	66	65	64	59	57	71
Potenza sonora mandata (ripresa) [dB]	70	80	73	72	67	63	56	53	73
Potenza sonora irradiata [dB]		81	73	67	68	59	41	34	72
Attenuazione pannelli	8	8	12	17	13	18	32	35	

Tabella 21 – descrizione sorgente Pompa di Calore (codifica S02)

ID Sorgente	S02	
Nome	Pompa di calore	
Dimensioni	5110 (l) x 2220 (p) x 2150 (h) mm	
Quantità	1	
Marca	Climaveneta	
Modello	NX-N/D/SL-CA/0804T vers. SL-CA	
Posizionamento	Area retro palco	
Periodo di funzionamento	Diurno	
Dati acustici		
DATI SONORI		
DATI SONORI FREDDO		
Frequenze	Hz	63 125 250 500 1000 2000 4000 8000 Tot (A)
Potenza sonora (spettro)	dB	86 85 84 82 79 74 67 61 84
Pressione sonora (spettro)	dB	54 53 52 50 47 42 35 29 52
DATI SONORI CALDO OUTDOOR		
Potenza sonora in riscaldamento	dB(A)	85
Note		
Distanza	m	10
Note	Livello di pressione sonora medio a 10 m di distanza, per unità in campo libero su superficie riflettente; valore non vincolante calcolato dalla potenza sonora. Potenza sonora sulla base di misure effettuate in accordo alla normativa ISO 9614.	

Per quanto riguarda la sorgente S03 ovvero la motocondensante posizionata accanto alla Pompa di calore, non disponendo di una scheda tecnica specifica, di seguito verranno date le caratteristiche prestazionali relative al massimo livello di potenza sonora ponderato A sulla base del quale occorre scegliere il suddetto impianto.

Di seguito vengono indicati per ciascuna sorgente impiantistica esterna il livello di potenza sonora ponderato A (L_{WA}) massimo sulla base del quale devono essere scelte le sorgenti impiantistiche, in modo da garantire il rispetto dei valori limite di emissione, immissione e differenziale di immissione rispetto ai ricettori potenzialmente più impattati:

- **UTA 1 E UTA 2 (S01):**
 - Livello di potenza sonora dell'Immissione aria esterna: $L_{WA} \leq 75$ dB(A);
 - Livello di potenza sonora Espulsione aria esterna: $L_{WA} \leq 80$ dB(A);
 - Livello di potenza sonora irradiata dall'involucro: $L_{WA} \leq 72$ dB(A).
- **POMPA DI CALORE (S02):**
 - Livello di potenza sonora: $L_{WA} \leq 85$ dB(A);
- **MOTOCODENSANTE (S03):**
 - Livello di potenza sonora: $L_{WA} \leq 70$ dB(A).

Le sorgenti impiantistiche che saranno effettivamente installate, oltre a rispettare le caratteristiche prestazionali sopra riportate, dovranno essere caratterizzate da un livello di potenza sonora in frequenza priva di componenti tonali.

8.4 Descrizione dello scenario di immissione sonora

Per la descrizione dello scenario di immissione sonora si veda il paragrafo 7.4.

8.5 Valori limite di riferimento

Per la descrizione dei valori limite di riferimento si veda il paragrafo 7.5.

8.6 Costruzione del modello di simulazione acustica

La valutazione del livello sorgente, ovvero del contributo specifico delle sorgenti, è stata effettuata mediante la simulazione del rumore generato dal funzionamento contemporaneo dei tre impianti tecnici sopra descritti: n. 2 UTA, n. 1 Pompa di Calore e n. 1 Motocondensante, verso i ricettori individuati nello scenario di immissione.

Per le simulazioni è stato impiegato il package software CadnaA versione 3.7.124, sviluppato dalla DataKustik GmbH. Si tratta dell'implementazione di un modello previsionale progettato per simulare la propagazione acustica in ambiente esterno. Il software è stato sviluppato in accordo alle indicazioni degli standard europei ed implementa più modelli di calcolo della propagazione quali ad esempio la norma ISO 9613-2 utilizzata per la valutazione del rumore prodotto da sorgenti puntiformi o assimilabili ed il metodo di calcolo nazionale francese NMPB indicato dalla Comunità Europea per il calcolo del rumore prodotto da infrastrutture stradali. Il software consente di determinare la propagazione acustica in ambiente esterno prendendo in considerazione numerosi parametri e fattori legati:

- ✓ alla localizzazione, forma ed altezza degli edifici;
- ✓ alla topografia dell'area di indagine;
- ✓ alle caratteristiche fonoassorbenti del terreno;
- ✓ alle caratteristiche acustiche e geometriche della sorgente;

- ✓ alla presenza di eventuali ostacoli schermanti come le barriere antirumore;
- ✓ alla distanza di propagazione;
- ✓ al numero di riflessioni.

Il software utilizza un algoritmo di calcolo tipo “ray-tracing” con tracciamento dei raggi dai punti ricettori. La procedura di costruzione dello scenario ha previsto i seguenti passaggi:

- A partire dalla cartografia di base in formato digitale (3D) si sono inseriti nello scenario di immissione tutti gli edifici presenti nell’area adiacente all’auditorium esterno, e in particolare i ricettori censiti. In corrispondenza di ciascun piano di ogni edificio sono stati inseriti punti- ricettore, alla distanza di 1 m dalle facciate maggiormente esposte al rumore generato dalle sorgenti in esame.
- Si è proceduto alla caratterizzazione del terreno frapposto tra le sorgenti sonore e i ricettori. All’interno del modello il coefficiente che definisce il tipo di assorbimento del terreno è stato adeguatamente scelto in modo da risultare rappresentativo della zona di interesse ($G=0.4$).
- Inserimento degli edifici ricettori e definizione delle caratteristiche geometriche e acustiche.
- Inserimento delle sorgenti e loro caratterizzazione acustica.

Inoltre, si sono scelti i seguenti parametri di calcolo:

- Distanza di propagazione: nel modello si è usato il valore di 2000 m.
- Numero di riflessioni pari a 5.
- Occorrenza di condizioni meteorologiche favorevoli alla propagazione del suono pari a 50% nel periodo diurno (06.00 – 22.00), e 100% nel periodo notturno (22.00 – 06.00).
- Temperatura media e umidità: in considerazione del fatto che la zona in esame è caratterizzata da clima mite si sono mantenuti i parametri suggeriti dal programma di calcolo: temperatura 20°C, umidità 70%.

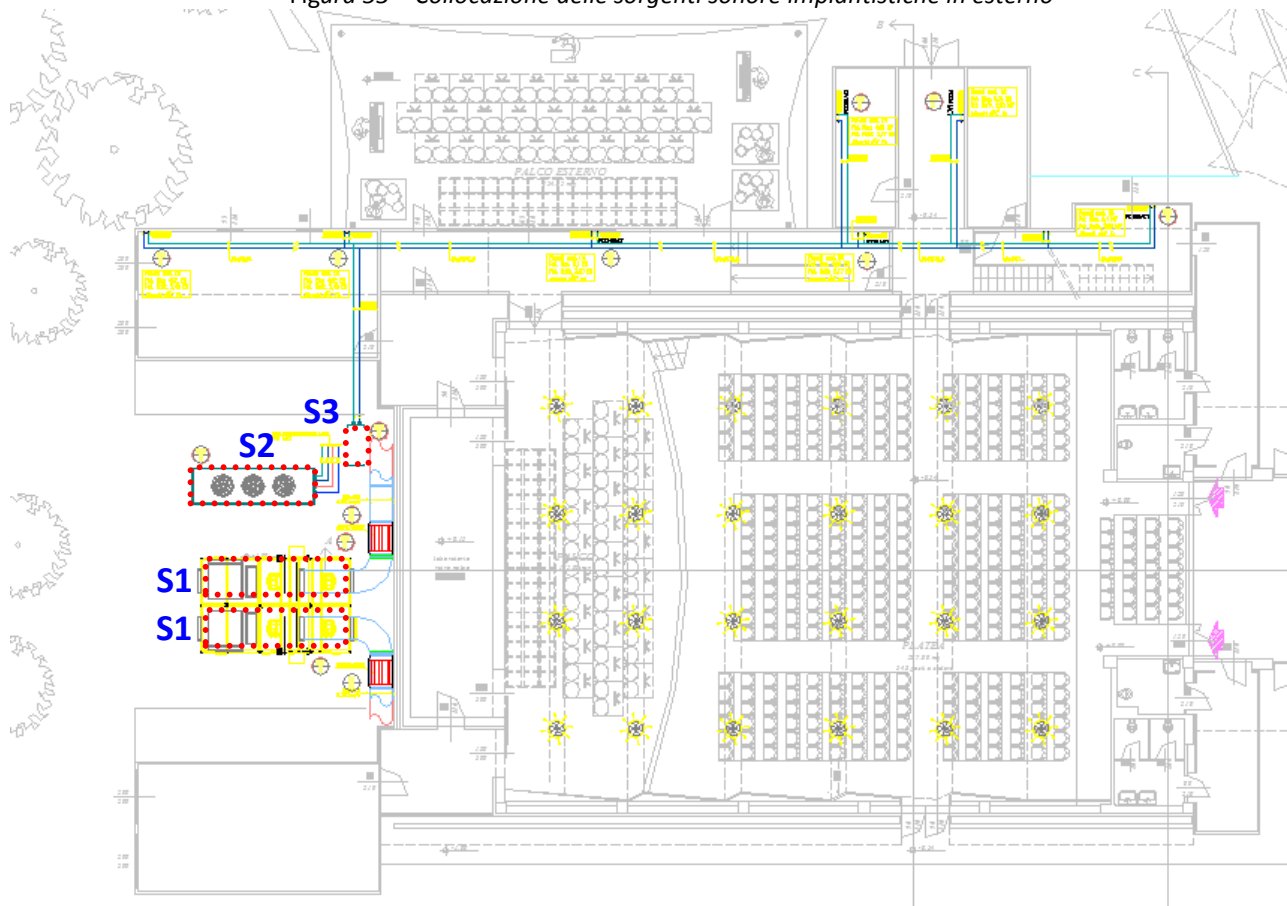
8.7 Rumore residuo

Per la descrizione dei risultati delle misure del rumore residuo si veda il paragrafo 7.7.

8.8 Livelli sorgente prodotti dagli impianti tecnici

Dal punto di vista modellistico, le sorgenti acustiche in questione sono state simulate mediante delle sorgenti puntiformi omnidirezionali, localizzate in corrispondenza dell’effettiva ubicazione delle sorgenti relative agli impianti meccanici di pertinenza dell’auditorium.

Figura 53 – Collocazione delle sorgenti sonore impiantistiche in esterno



Il modello è stato utilizzato per valutare il livello sorgente, ovvero il contributo complessivo che tutte le sorgenti andranno a generare in facciata a tutti i ricettori considerati nel periodo di riferimento diurno.

È stata analizzata l'ipotesi di progetto che prevede la realizzazione di una barriera con altezza 4.8 m a chiusura completa del lato dell'area impianti rivolto verso i ricettori abitativi più prossimi. Tale barriera, di dimensioni pari a 16 (l) x 4.8 (h) m, verrà realizzata con i medesimi pannelli di finitura esterna dell'involucro dell'auditorium (lastre di cemento e fibre legnose) ed avrà un rivestimento fonoassorbente posto sul lato rivolto verso gli impianti. Il medesimo rivestimento fonoassorbente dovrà essere posizionato anche sul lato del container più vicino alla Pompa di Calore e alla motocondensante, così come mostrato nella **Figura 54**.

Il rivestimento fonoassorbente verrà realizzato mediante pannelli tipo R_w Panel Zeroklass WMP 100S (v. **Figura 56**) o prodotti similari, con spessore pari a 100 mm, costituiti da:

- lamiera microgrecata in acciaio zincato preverniciato, spessore 0.6 mm, posta sulla faccia esterna del cabinato;
- lamiera piana e forata in acciaio zincato preverniciata, spessore 0.6 mm, diametro dei fori 3 mm e passo dei fori 5 mm, posta sulla faccia interna del cabinato (verso la sorgente di rumore);
- coibentazione interna realizzata con lana di roccia, densità 100 kg/m^3 , fissata alle lamiere sopra descritte mediante adesivo strutturale poliuretano tricomponente, quantità 400 g/m^2 e con interposto, rispetto al supporto d'acciaio forato, un velo di vetro incombustibile ed anti-spolverio di colore nero.

L'assemblaggio tra i pannelli modulari dovrà essere realizzato mediante l'incastro dei bordi lunghi, che presentano opportune configurazioni maschio/femmina. Il lato fonoassorbente dei pannelli dovrà essere rivolto verso le sorgenti presenti.

Dal momento che nella suddetta barriera saranno presenti due porte, occorre che queste non riducano in maniera sensibile l'isolamento acustico della barriera stessa. Perché ciò accada le porte dovranno essere dotate di una o più battute su tutti e quattro i lati ed avere una massa confrontabile con quella della barriera stessa.

Figura 54 – Individuazione in planimetria della barriera fonoisolante (in rosso) e rivestimento fonoassorbente (in blu) per la mitigazione del rumore prodotto dagli impianti tecnici

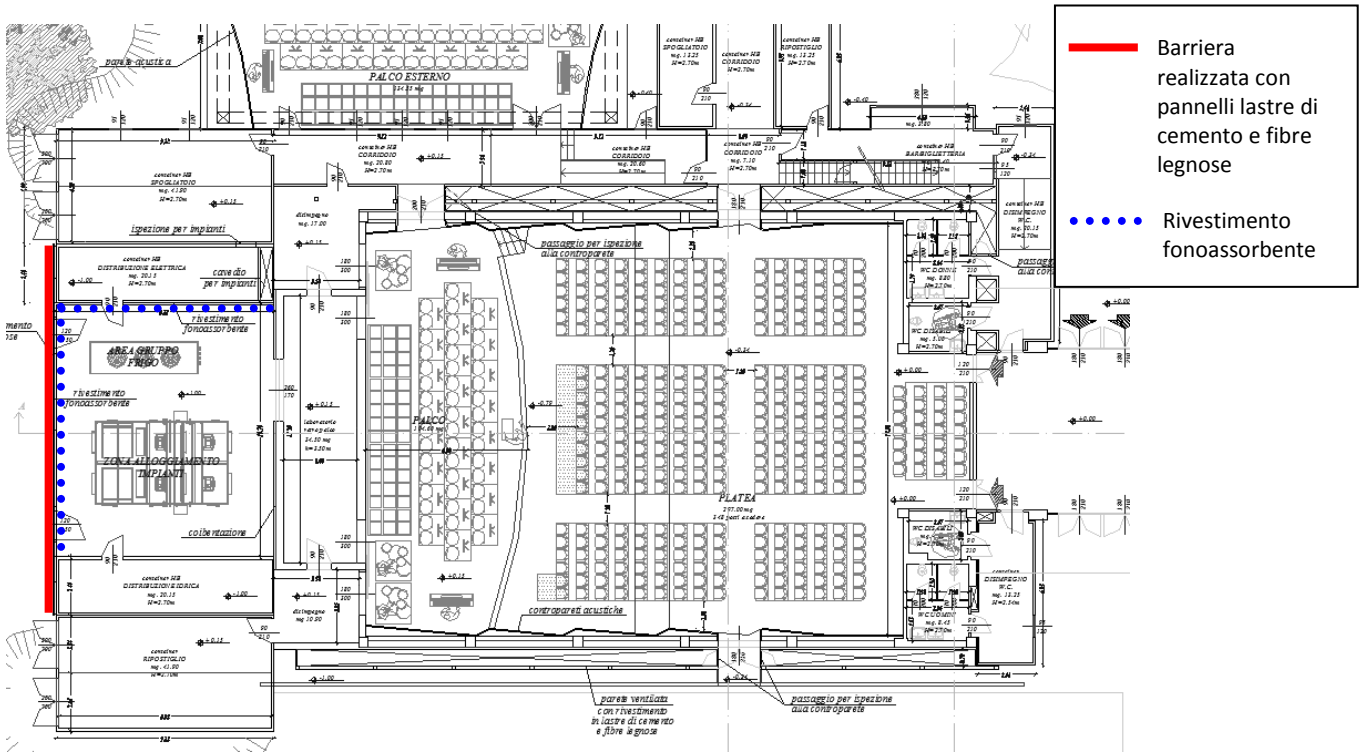


Figura 55 – Prospetto della barriera fonoisolante/fonoassorbente



PROSPETTO LATERALE

Figura 56 – Prodotto tipo per la realizzazione del rivestimento fonoassorbente della barriera e del lato del container rivolto verso la pompa di calore



Prodotto certificato
le cui specifiche sono
riportate nel manuale tecnico.
Certified product, technical
specification available upon
request.

Zeroklass®
Zeroklass® Wall Sound

■ **Dimensioni**
Larghezza: mm 1000
Lunghezza: a richiesta da produzione in continuo
Lunghezza massima disponibile: 16,5 m
Spessori: mm 50, 60, 80, 100, 120, 150, 200

■ **Isolante**
Realizzato a mezzo di uno strato coibente esclusivo costituito da lamielle di lana minerale inestricabile disposte in senso longitudinale, le cui fibre si dispongono a 90° rispetto al piano dei due supporti, con interposto rispetto al supporto d'acciaio forato un velo di vetro incombustibile ad anti-sporo di colore nero.
Densità: 100 kg/m³. Densità diverse ottenibili su richiesta.
Coefficiente di conducibilità termica fino a λ : 0,038 W/mK.

■ **Supporti**
Acciaio zincato prerivestito o plastificato; alluminio naturale grigliato o prerivestito; acciaio inox, rame. Gli spessori standard dei supporti in acciaio zincato e prerivestito sono mm 0,6 + mm 0,6.
Spessori superiori sono ottenibili su richiesta. I colori disponibili per la verniciatura dei supporti sono quelli consentiti dalla tabella PA4. Colori specifici su indicazione del cliente sono disponibili previo accordo sui quantitativi minimi. I pannelli della versione "SI-Sound", con eranti e supporti d'acciaio microforato, sono ottenibili su richiesta previo accordo sui quantitativi minimi.

■ **Tolleranze**
Spessore: \pm 100 mm \pm 2 mm > 100 mm \pm 3 mm
Lunghezza: \pm 10 mm
Modulo: \pm 1,5 mm
Fuori squadra: max 3 mm
Planarità:
L = distanza tra gli estremi di misurazione (1000 mm max)
 s = accostamento
L \leq 300 mm $s \leq$ 1%
L > 300 mm $s \leq$ 3 mm max

■ **Dimensioni**
Modulo: 1000 mm Length: to order in continuous production
Maximum length available: 16,5 m
Thickness: 50, 60, 80, 100, 120, 150, 200 mm

■ **Insulation**
Composed of a layer of insulating material in an exclusive configuration of lamellae arranged in a staggered longitudinal pattern. Lamellae are made from inextinguishable mineral fibres, positioned in the perpendicular to the plane and the two supports. A non-flammable black glass fibre is assembled in between the insulation core and the perforated support to prevent dust fall.
Density: 100 kg/m³. Other densities available on request.
Conductivity up to λ : 0,038 W/mK.

■ **Supports**
Prepainted or plasticated galvanized steel, embossed or prepainted natural aluminium, natural steel, copper. Standard thicknesses of galvanized steel and prepainted steel are 0,6 mm + 0,6 mm. Other thicknesses are available on request. The colours available for support painting are those indicated in the PA4 table. Other customer specified colours are available upon request, subject to minimum quantities to be agreed. The "SI-Sound" version panels are assembled with both the metal supports perforated "SI-Sound" panels are available on request, subject to minimum quantities to be agreed.

■ **Tolerances**
Thickness: \pm 100 mm \pm 2 mm > 100 mm \pm 3 mm
Length: \pm 10 mm
Module: \pm 1,5 mm
Off the square: max 3 mm
Planarity:
L = distance between farthest measurement points (1000 mm max)
 m = misalignment
L \leq 300 mm $m \leq$ 1%
L > 300 mm $m \leq$ 3 mm max

Nelle figure che seguono si riportano le planimetrie dei modelli acustici con la codifica dei punti ricettori impiegati per il calcolo dei livelli sorgente riportati nelle tabelle che seguono.

Figura 57 – Configurazione dell'acustica naturale: codifica dei punti ricettori



In tabella si riportano i livelli sorgente calcolati in corrispondenza di tutti i ricettori, nella configurazione analizzata e prima descritta.

Tabella 22 – Livelli sorgente simulati al ricettore

Barriera fonoisolante/fonoassorbente H. 4.8 m	
Codifica ricettore	Lp -Diurno dB(A)
R01 EG	33
R01 1.OG	37.6
R01 2.OG	40
R02 EG	37
R02 1.OG	41.5
R03 EG	43.2
R03 1.OG	45.6
R03 2.OG	48.5
R04 EG	43.6
R04 1.OG	46
R04 2.OG	47.8
R05 EG	40.2
R05 1.OG	45.3
R06 EG	41.6
R06 1.OG	44.7
R06 2.OG	47.1
S01 EG	35.3
S01 1.OG	37.5

Considerando i livelli sorgente sopra determinati ed i livelli di rumore residuo definiti in precedenza si procede quindi alla valutazione dei livelli di emissione, immissione assoluti e differenziali ed al confronto con i relativi limiti.

8.9 Verifica dei limiti di emissione

Per quanto riguarda i livelli di emissione degli impianti meccanici esterni di pertinenza dell'auditorium, in via assolutamente cautelativa ovvero non considerando la spalmatura del contributo della sorgente specifica nel periodo di riferimento, questi possono essere presi uguali ai livelli sorgente determinati nella tabella precedente e confrontati con i limiti di emissione previsti dalla classificazione acustica in corrispondenza dei ricettori. In tabella si riportano i livelli sorgente ed i limiti imposti.

Tabella 23 – Verifica dei valori limite di emissione

Codifica ricettore	Classe PCCA	Limite di emissione periodo di riferimento diurno dB(A)	Lp -Diurno dB(A)
R01 EG	IV	60	33
R01 1.OG	IV	60	37.6
R01 2.OG	IV	60	40
R02 EG	IV	60	37
R02 1.OG	IV	60	41.5
R03 EG	IV	60	43.2
R03 1.OG	IV	60	45.6
R03 2.OG	IV	60	48.5
R04 EG	IV	60	43.6
R04 1.OG	IV	60	46
R04 2.OG	IV	60	47.8
R05 EG	IV	60	40.2
R05 1.OG	IV	60	45.3
R06 EG	IV	60	41.6
R06 1.OG	IV	60	44.7
R06 2.OG	IV	60	47.1
S01 EG	-	-	35.3
S01 1.OG	-	-	37.5

In base ai livelli riportati in tabella si evidenzia il pieno rispetto del limite imposto presso tutti i ricettori maggiormente impattati.

8.10 Verifica dei limiti di immissione

Per quanto riguarda il limite assoluto di immissione, questo risulta certamente rispettato stanti i livelli di emissioni ed i livelli di rumore residuo sopra riportati.

In tale scenario, stanti i ridotti livelli di emissione della sorgente specifica, eventuali superamenti del limite assoluto di immissione sono da riferirsi alla variabilità del rumore residuo piuttosto che alla sorgente specifica.

8.11 Verifica del criterio differenziale di immissione

Per quanto riguarda il criterio differenziale di immissione devono invece essere fatte le seguenti considerazioni.

Il D.P.C.M. 14/11/1997 all'art. 4 stabilisce che i limiti differenziali devono essere valutati esclusivamente all'interno degli ambienti ricettore. Il medesimo decreto fissa un livello minimo di applicabilità del criterio differenziale e stabilisce che, nel periodo di riferimento diurno, ogni effetto del rumore è da ritenersi trascurabile se il livello del rumore ambientale misurato a finestre aperte è inferiore a 50 dB(A) e se il livello del rumore ambientale misurato a finestre chiuse è inferiore a 35 dB(A).

Nel caso specifico, partendo dai livelli di rumore ambientale e residuo stimati in facciata riassunti nella tabella seguente, considerando un'attenuazione pari a 6 dB(A)⁵ nel passaggio dall'esterno in facciata all'interno nella condizione a finestre aperte (condizione più gravosa per il ricettore essendo le sorgenti esterne all'edificio), è possibile stimare un valore di rumore ambientale interno nella condizione a finestre aperte inferiore alle soglie di applicabilità pari a 50 dB(A).

Nelle tabelle che seguono si riportano i risultati delle verifiche del criterio differenziale di immissione.

⁵ Dalla letteratura (A. Di Bella, F. Fellini, M. Tergolina, R. Zecchin, "Metodi per l'analisi di impatto acustico di installazioni impiantistiche per il condizionamento e la refrigerazione", articolo tratto da "Immissioni di rumore e vibrazione da impianti civili e stabilimenti") ci si attende un'attenuazione di circa 6 dB(A) nel passaggio dall'esterno all'interno a finestre aperte.

Tabella 24 – Verifica del criterio differenziale di immissione

Codifica ricettore	Livello di Rumore Residuo L_R misurato dB(A)	Livello di Rumore Ambientale L_A stimato in facciata dB(A)	Livello di Rumore Residuo L_R stimato in interno dB(A)	Livello di Rumore Ambientale L_A stimato in interno dB(A)	Differenziale $L_D=L_A-L_R$
R01 EG	49.7	49.8	43.7	43.8	non applicabile
R01 1.OG	49.7	50.0	43.7	44.0	non applicabile
R01 2.OG	49.7	50.1	43.7	44.1	non applicabile
R02 EG	49.7	49.9	43.7	43.9	non applicabile
R02 1.OG	49.7	50.3	43.7	44.3	non applicabile
R03 EG	49.7	50.6	43.7	44.6	non applicabile
R03 1.OG	49.7	51.1	43.7	45.1	non applicabile
R03 2.OG	49.7	52.2	43.7	46.2	non applicabile
R04 EG	49.7	50.7	43.7	44.7	non applicabile
R04 1.OG	49.7	51.2	43.7	45.2	non applicabile
R04 2.OG	49.7	51.9	43.7	45.9	non applicabile
R05 EG	49.7	50.2	43.7	44.2	non applicabile
R05 1.OG	49.7	51.0	43.7	45.0	non applicabile
R06 EG	49.7	50.3	43.7	44.3	non applicabile
R06 1.OG	49.7	50.9	43.7	44.9	non applicabile
R06 2.OG	49.7	51.6	43.7	45.6	non applicabile
S01 EG	49.7	49.9	43.7	43.9	non applicabile
S01 1.OG	49.7	50.0	43.7	44.0	non applicabile

Come si può osservare nella tabella precedente, a partire dalle sorgenti impiantistiche prima descritte, caratterizzate dai livelli di potenza sonora massimi descritti al paragrafo 8.3, il criterio differenziale di immissione risulta non applicabile nel periodo di riferimento diurno in tutti i ricettori considerati nella configurazione di progetto che prevede la realizzazione di una barriera fonoisolante e di due rivestimenti fonoassorbenti.

PARTE 4

Valutazione previsionale dei livelli di rumorosità prodotta dagli impianti meccanici all'interno dell'auditorium

9. VALUTAZIONE PREVISIONALE DEI LIVELLI DI RUMOROSITÀ PRODOTTI DAGLI IMPIANTI MECCANICI ALL'INTERNO DELL'AUDITORIUM

9.1 Introduzione

Gli impianti per il trattamento, il condizionamento e il ricambio dell'aria dovranno essere progettati e realizzati in modo che i livelli di pressione sonora da essi prodotti all'interno della sala siano molto bassi per non alterare i parametri oggettivi e gli attributi percettivi della sala che permettono di ottenere il comfort acustico necessario allo spettatore per seguire tutto ciò che accade sulla scena.

9.2 Valori limite di riferimento

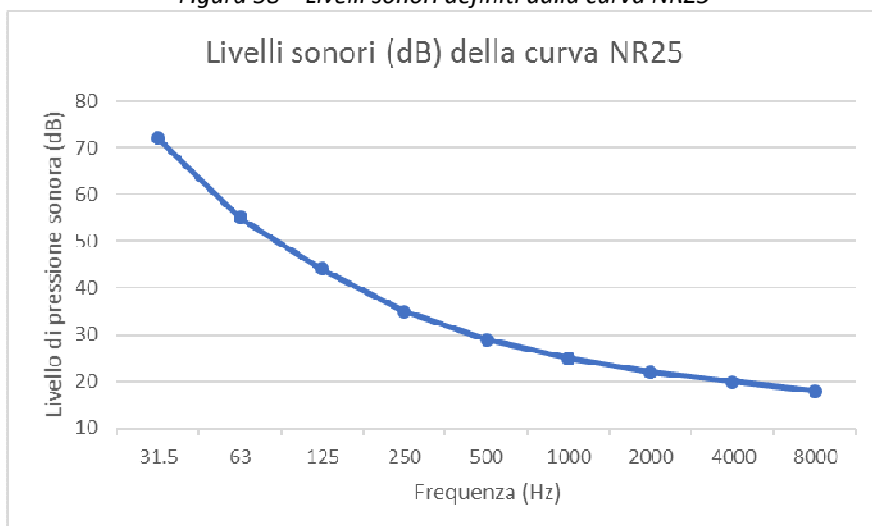
La norma UNI 8199 per i teatri indica come livello sonoro corretto degli impianti un valore massimo pari a 30 dB(A).

Tabella 25 – Valori di riferimento della norma UNI 8199 per i livelli di rumore degli impianti in funzione della destinazione d'uso dell'ambiente

Destinazione d'uso	dB (A)
1) Civili abitazioni	
a) camere da letto	30
b) soggiorno	40
2) Hotels/Motels	
a) camere da letto	30
b) sale riunioni	35
c) sale da pranzo	45
d) servizi	40
3) Uffici	
a) dirigenti	35
b) impiegati singoli	40
c) collettivi	45
d) centri di calcolo	50
e) aree aperte al pubblico	45
4) Ospedali e cliniche	
a) camere di degenza	30
b) corsie	40
c) sale operatorie	35
d) corridoi	40
e) aree aperte al pubblico	40
f) servizi	40
5) Chiese	30
6) Scuole	
a) aule	30
b) palestre, piscine	45
7) Biblioteche	35
8) Sale conferenze	30
9) Teatri ¹⁾	30
10) Studi per registrazione, sale da concerto ²⁾	25
11) Sale cinematografiche	35
12) Ristoranti, bar, negozi	45

Per quanto riguarda la qualificazione del rumore di fondo inoltre si può fare riferimento ai valori delle curve NR o NC. La curva valida per sale da concerto è la NR25, i cui livelli sono indicati nel grafico che segue.

Figura 58 – Livelli sonori definiti dalla curva NR25



9.3 Descrizione delle sorgenti

La sorgente impiantistica che produce il contributo di rumore maggiormente significativo all'interno dell'Auditorium è costituita dalle due UTA.

Per quanto riguarda il rumore immesso all'interno della sala, le principali sorgenti di rumore dell'UTA sono costituite dalla mandata e dalla ripresa dell'aria che avvengono:

- per la mandata: mediante 24 diffusori posizionati nel controsoffitto acustico aventi portata di 800 mc/h;
- per la ripresa: mediante due griglie di ripresa di dimensioni 1000x200 mm, posizionate al di sotto del palco e n. 10 griglie di ripresa di dimensioni 600x400 mm, posizionate sulle contropareti acustiche.

Nella figura che segue si riportano le caratteristiche di potenza sonora delle diverse componenti dell'UTA. Come si può osservare in tale figura la potenza sonora della mandata verso la sala è più elevata rispetto alla potenza sonora della ripresa di 18 dB(A). Tale differenza rende di fatto trascurabile il contributo di rumore prodotto dalla ripresa a fronte del rumore prodotto dalla mandata, per tale ragione tale contributo non verrà considerato nei calcoli dei livelli sonori interni alla sala.

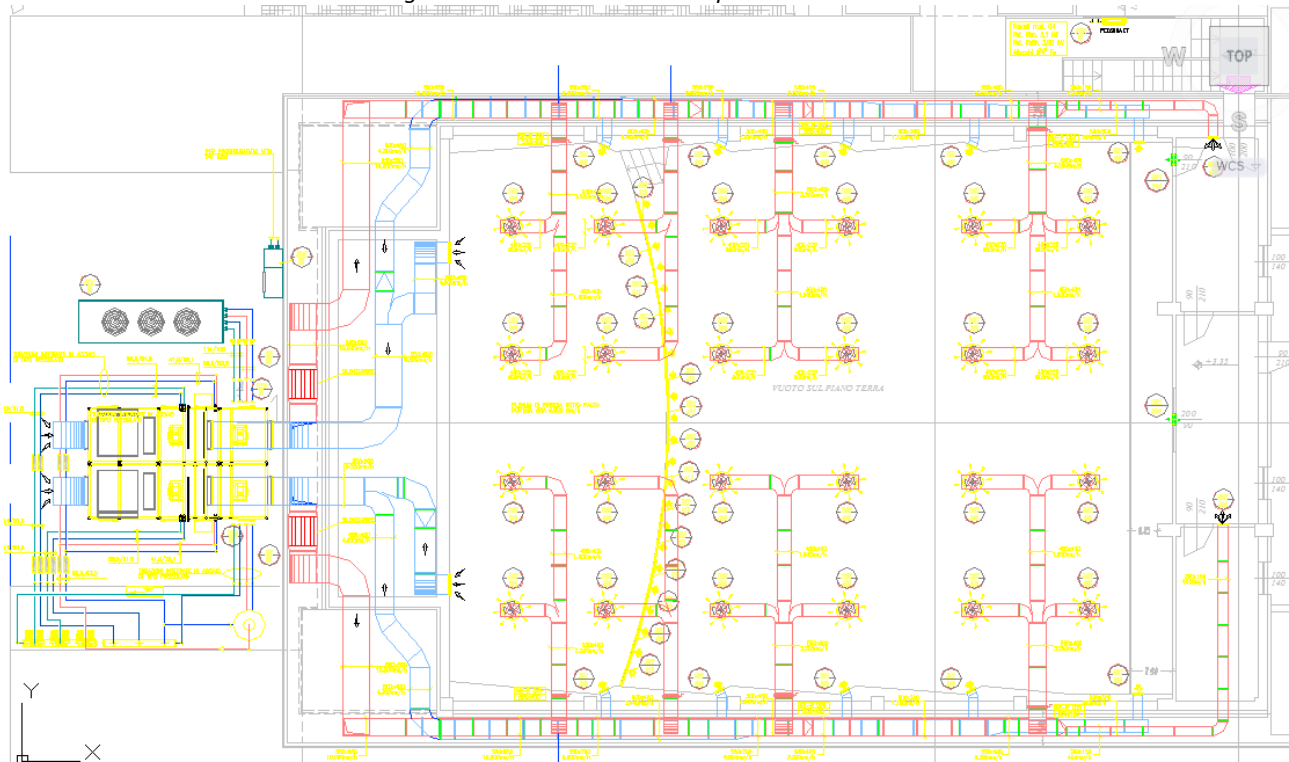
Figura 59 – Estratto della scheda tecnica dell'UTA da cui si evincono le caratteristiche acustiche di progetto

AHU sound levels	Octave band (Hz)								Tot. dB(A)
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Potenza sonora aspirazione (mandata) [dB]	64	67	75	63	53	44	38	27	68
Potenza sonora mandata (mandata) [dB]	78	89	85	84	81	77	73	69	86
Potenza sonora aspirazione (ripresa) [dB]	69	75	73	66	65	64	59	57	71
Potenza sonora mandata (ripresa) [dB]	70	80	73	72	67	63	56	53	73
Potenza sonora irradiata [dB]		81	73	67	68	59	41	34	72
Attenuazione pannelli	8	8	12	17	13	18	32	35	

I dati sopra evidenziati devono essere ritenuti come i livelli di potenza sonora massimi sulla base dei quali scegliere le UTA di progetto.

A partire dai dati di potenza sonora desunti dalla scheda tecnica delle UTA di progetto (v. **Figura 59**), i calcoli sono stati effettuati considerando lo sviluppo dei canali e il posizionamento dei diffusori in accordo al progetto degli impianti meccanici, la cui planimetria è riportata nella figura che segue.

Figura 60 – Planimetria dell'impianto meccanico



Sono state fatte le seguenti ipotesi di calcolo:

- I diffusori siano tipo TROX mod. VDL - A DIM. 630 mm con portata aria di 800 mc/h cad con livello di potenza sonora massimo pari a 23 dB(A), come riportato nell'estratto di scheda tecnica (v **Figura 61**).
- I silenziatori abbiano le caratteristiche acustiche minime certificate, in termini di attenuazione sonora in dB, pari a quelle riportate nella **Figura 62**.

Figura 61 – Estratto della scheda tecnica del diffusore con indicazione del livello di potenza sonora in dB(A)

VDL-⁺H-...-M, VDL-⁺H-...-E⁺, sound power level and total differential pressure

Nominal size	V̇		Δp _t Pa	L _{WA} dB(A)
	l/s	m ³ /h		
315	65	234	9	22
	100	360	20	34
	135	486	37	43
	170	612	59	50
400	95	342	7	18
	170	612	22	32
	250	900	49	42
630	325	1170	82	50
	235	846	8	23
	365	1314	20	35
	495	1782	38	44
	625	2250	60	50
800	320	1152	8	24
	470	1692	18	35
	620	2232	31	43
	765	2754	47	50

Figura 62 – Estratto della scheda tecnica del silenziatore con indicazione delle caratteristiche minime di attenuazione sonora in dB

Serie M modulo 400		Ottave (Hz)							
		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
		Perdita di inserzione statica (dB)							
RAS - 2M	600	3	4	8	13	15	12	10	10
RAS - 3M	900	5	7	12	19	22	16	12	11
RAS - 4M	1200	5	8	16	25	29	21	14	13
RAS - 5M	1500	6	9	19	30	36	25	16	14
RAS - 6M	1800	7	11	24	36	43	29	18	15
RAS - 7M	2100	7	13	27	41	50	33	19	16
RAS - 8M	2400	8	14	30	47	50	37	21	17

9.4 Risultati delle verifiche acustiche

A partire dai dati di potenza sonora della mandata e considerando tutte le attenuazioni dovute al silenziatore, alla lunghezza dei condotti, alle curve, alle diramazioni e alle bocchette, si riporta di seguito il calcolo del livello di potenza sonora alla bocchetta più prossima al ventilatore di mandata dell'UTA.

Tabella 26 – Calcolo della riduzione della potenza sonora della mandata dell'UTA alla bocchetta del diffusore

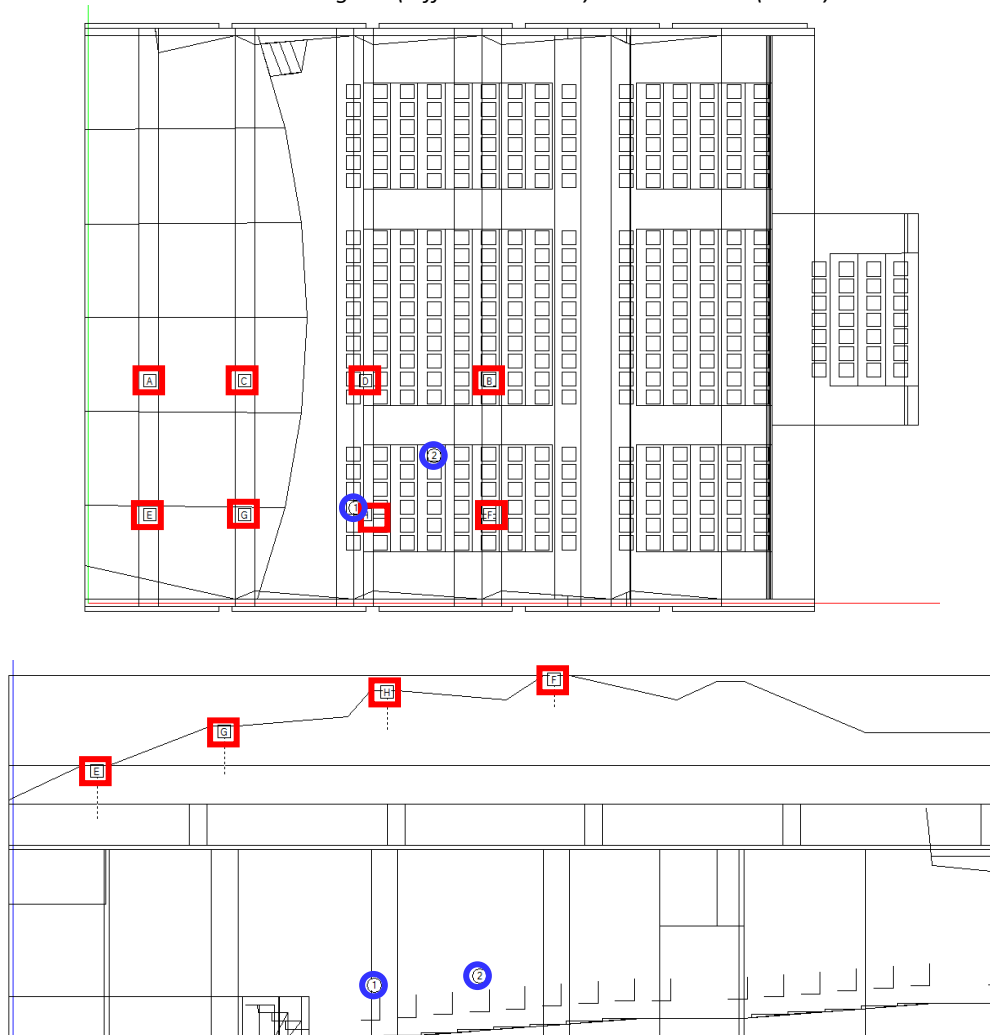
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	L _{WA} dB(A)
Frequenza (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	L _{WA} dB(A)
Lw ventilatore (dB) dati del costruttore	78	89	85	84	81	77	73	69	86
1 Attenuazione per curva a 90° (sez. minore 550 mm)	0	0	0	1	2	3	3	3	
2 Silenziatore	7	13	27	41	50	33	19	16	
2a Attenuazione per condotto rettilineo sez. 550x850									
lunghezza condotto rettilineo sez. 850x550 (m)	4								
coefficienti di attenuazione dB/m	0.5	0.66	0.33	0.23	0.16	0.16	0.16	0.16	
Attenuazione (dB)	2.0	2.6	1.3	0.9	0.6	0.6	0.6	0.6	
3 Attenuazione per curva a 90° (sez. minore 550 mm) x 3 curve	0	0	0	3	6	9	9	9	
4 Attenuazione per condotto rettilineo sez. 850x550									
lunghezza condotto rettilineo sez. 850x550 (m)	3.88								
coefficienti di attenuazione dB/m	0.5	0.66	0.33	0.23	0.16	0.16	0.16	0.16	
Attenuazione (dB)	1.9	2.6	1.3	0.9	0.6	0.6	0.6	0.6	
5 Attenuazione per curva a 90° (sez. minore 400 mm)	0.0	0.0	0.0	1.0	2.0	3.0	3.0	3.0	
6 Attenuazione per condotto rettilineo sez. 550x850									
lunghezza condotto rettilineo sez. 850x550 (m)	5.7								
coefficienti di attenuazione dB/m	0.5	0.66	0.33	0.23	0.16	0.16	0.16	0.16	
Attenuazione (dB)	2.9	3.8	1.9	1.3	0.9	0.9	0.9	0.9	
7 Attenuazione per diramazione									
Portata d'aria diramazione (m3/h)	1600								
Portata d'aria totale a monte (m3/h)	10000				0.32				
rapporto portate	-8.0								
Attenuazione (dB)	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	
8 Attenuazione per condotto rettilineo sez. 550x400									
lunghezza condotto rettilineo sez. 550x400 (m)	3								
coefficienti di attenuazione dB/m	0.5	0.66	0.33	0.23	0.16	0.16	0.16	0.16	
Attenuazione (dB)	1.5	2.0	1.0	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5	
9 Attenuazione per diramazione									
Portata d'aria diramazione (m3/h)	800								
Portata d'aria totale a monte (m3/h)	1600				0.32				
rapporto portate	-3.0								
Attenuazione (dB)	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	
10 Attenuazione per condotto rettilineo sez. 400x220									
lunghezza condotto rettilineo sez. 450x400 (m)	0.88								
coefficienti di attenuazione dB/m	0.48	0.66	0.49	0.33	0.23	0.23	0.23	0.23	
Attenuazione (dB)	0.4	0.6	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	
11 Attenuazione per riflessione bocchetta									
Sup bocchetta (m2)	0.16								
Attenuazione (dB)	12	7	3.5	1	0	0	0	0	
Frequenza (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	L _{WA} dB(A)
Lw ventilatore (dB) alla bocchetta	39.3	46.5	37.6	21.9	7.1	15.1	25.1	24.1	34.2

Con le ipotesi di calcolo prima descritte, il livello di potenza sonora della mandata calcolato alla bocchetta del diffusore più vicino al ventilatore risulta essere pari a:

$$L_{WA} = 34.2 \text{ dB(A)}$$

Tale livello di potenza sonora cautelativamente è stato attribuito agli 8 diffusori che sono stati inseriti nel modello acustico dell'Auditorium. Non sono stati inseriti tutti i diffusori della mandata perché ininfluenti sul risultato finale per la distanza dai punti ricettori collocati cautelativamente in prossimità dei diffusori considerati attivi nella simulazione acustica. Gli 8 diffusori, simulati nel modello come sorgenti puntiformi omnidirezionali, sono indicati nella figura che segue con le lettere da A a H, mentre i ricevitori, collocati all'altezza dell'orecchio di una persona seduta, sono indicati con i numeri 1 e 2.

Figura 63 – Posizionamento delle sorgenti (diffusori in rosso) e dei ricevitori (in blu) nel modello acustico



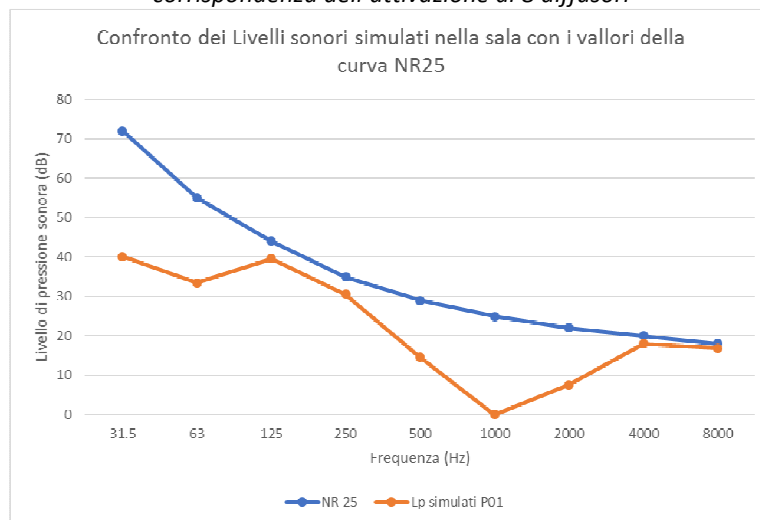
Le simulazioni acustiche sono state effettuate sul modello impiegato per la verifica del comfort acustico interno, con i medesimi parametri di calcolo descritti al paragrafo 5.1.

Nella tabella e figura che segue si riportano i risultati del livello di pressione sonora in dB e dB(A) simulati sui due ricevitori in corrispondenza del funzionamento degli 8 diffusori più vicini, collocati nel controsoffitto acustico.

Tabella 27 – Calcolo dei livelli di pressione sonora in due punti della platea in corrispondenza dell'attivazione di 8 diffusori a soffitto

CON SILENZIATORE tipo RAS 7 m 2100										
Ricevitori	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	LA _{eq} simulato dB(A)	LA _{eq} di riferimento UNI 8199 dB(A)
1	33.4	39.6	30.5	14.6	0	7.6	18	16.9	27.3	30
2	33.1	39.2	29.9	14	0	7	17.4	16.4	26.8	

Figura 64 – Confronto dei livelli di pressione sonora simulati nel ricevitore più prossimo ad un diffusore a soffitto in corrispondenza dell'attivazione di 8 diffusori



Come si può osservare nella tabella e nel grafico sopra riportati, a partire dai livelli di potenza sonora massimi delle sorgenti impiantistiche considerate (UTA e diffusori), dalle caratteristiche prestazionali minime di attenuazione dei silenziatori di progetto e dalle ipotesi di calcolo, il livello di rumorosità presente nella sala prodotto dal funzionamento della mandata è inferiore al valore di riferimento per i teatri ai sensi della norma UNI 8199 ($L_{A,eq} < 30$ dB(A) ed in frequenza inferiore ai valori limite della curva NR 25.

Tale valutazione non tiene conto dell'eventuale contributo di rumore rigenerato all'interno dei canali per le elevate velocità dell'aria che li attraversa. Affinché questa condizione risulti rispettata, le velocità dell'aria nei canali previste dal progetto degli impianti dovranno essere minori o uguali alle seguenti:

- **Bocche di mandata: massima velocità dell'aria 2.25 m/s;**
- **Bocche di ripresa: massima velocità dell'aria 1.65 m/s.**

9.5 Indicazioni di posa circa la mitigazione del rumore impiantistico

Tutte le macchine fonte di vibrazioni (UTA, pompe di calore, motocondensante) devono essere svincolate dai relativi basamenti attraverso l'interposizione di adeguati antivibranti, generalmente dimensionati dal Produttore degli impianti stessi.

Tutti le canalizzazioni impiantistiche che attraversano l'involucro e/o le pareti interne all'auditorium dovranno essere sigillate in modo da ripristinare la discontinuità presente nelle pareti stesse, mediante la compressione di materiale fonoassorbente (es. lana minerale o fibra poliestere 50 kg/m³) a completa chiusura di ogni fessura presente e/o schiuma acustica.

Nel caso in cui i canali dell'aria siano fissati mediante flangia metallica a pareti e solai è necessario operare una sconnessione tra la struttura del canale e la flangia metallica di collegamento, mediante inserimento di materiale elastico con funzione antivibrante (es. gomma spessore 10 mm e rigidità dinamica inferiore o uguale a 50 MN/mm³).

È inoltre necessario che le macchine e i canali dell'aria, entrambi potenziali fonti di vibrazione, non siano posti a diretto contatto con nessuna struttura o elemento rigido dell'auditorium.

10. CONCLUSIONI

10.1 Comfort acustico interno all'auditorium

Sulla base dello studio geometrico ed analitico contenuto nella presente relazione tecnica si può affermare che in via previsionale l'Auditorium in esame è in grado di garantire buone condizioni di comfort acustico per l'ascolto in condizioni di acustica naturale di diversi programmi musicali: recital, formazioni da camera, orchestre, ecc.

La stessa resa ottimale non è viceversa garantita per l'ascolto del parlato ove è consigliabile il ricorso ad un sistema elettroacustico di amplificazione sonora. Per migliorare l'ascolto del parlato si potrebbe ricorrere all'ausilio di sistemi fonoassorbenti mobili che, in condizioni di necessità, sono in grado di aumentare l'area di assorbimento equivalente presente nella sala. I risultati dei calcoli hanno però evidenziato che se la sorgente del parlato è collocata sul palco in posizione arretrata, l'intelligibilità del parlato aumenta in maniera significativa soprattutto nella parte della platea più lontana dal palco.

Affinché i risultati in opera siano effettivamente confrontabili con quelli contenuti nelle verifiche previsionali della presente relazione è necessario che i coefficienti di fonoassorbimento dei materiali dell'ambiente oggetto di verifica siano quelli indicati nella verifica previsionale.

È opportuno che i coefficienti di assorbimento acustico soprattutto di alcuni materiali e sistemi risultino da certificati rilasciati da laboratori qualificati nei quali le misure siano state effettuate secondo le norme vigenti.

10.2 Valutazione previsionale di impatto acustico dell'auditorium esterno sui ricettori esterni

La valutazione previsionale di impatto acustico delle attività dell'auditorium esterno è stata effettuata mediante il calcolo dei livelli sorgente in corrispondenza dei ricettori maggiormente impattati e il confronto con i livelli di rumore residuo misurati nell'area di studio.

Dall'insieme dei risultati della valutazione, riportati nei paragrafi precedenti, facendo particolare riferimento ai ricettori maggiormente impattati si può concludere quanto segue:

- ✓ i limiti assoluti di emissione e immissione risultano RISPETTATI;
- ✓ il criterio differenziale di immissione, risulta NON APPLICABILE.

Tali verifiche risultano rispettate a condizione che le sorgenti sonore non siano caratterizzate da livelli di potenza sonora superiori a quelli indicati nel capitolo 7 della presente relazione tecnica e siano realizzate le ali sui lati corti del palco, descritte nel medesimo capitolo.

10.3 Valutazione previsionale di impatto acustico degli impianti tecnologici sui ricettori esterni

La valutazione previsionale di impatto acustico delle sorgenti impiantistiche di pertinenza dell'auditorium poste in esterno è stata effettuata mediante calcolo dei livelli sorgente in corrispondenza dei ricettori maggiormente impattati e confronto con i livelli di rumore residuo misurati nell'area di studio.

Dall'insieme dei risultati della valutazione, riportati nei paragrafi precedenti, facendo particolare riferimento ai ricettori maggiormente impattati si può concludere quanto segue:

- ✓ i limiti assoluti di emissione e immissione risultano RISPETTATI;

✓ il criterio differenziale di immissione, risulta NON APPLICABILE.

Tali verifiche risultano rispettate a condizione che le sorgenti sonore non siano caratterizzate da livelli di potenza sonora superiori a quelli indicati nel capitolo 8 della presente relazione tecnica e siano realizzati gli interventi di mitigazione acustica descritti nel medesimo capitolo.

10.4 Valutazione previsionale dei livelli di rumorosità prodotti dagli impianti meccanici nell'auditorium

A partire dai livelli di potenza sonora massimi delle sorgenti impiantistiche (UTA e diffusori) indicati nella presente relazione, dalle caratteristiche prestazionali minime di attenuazione dei silenziatori di progetto e dalle ipotesi di calcolo, il livello di rumorosità presente nella sala prodotto dal funzionamento della mandata è inferiore al valore di riferimento per i teatri ai sensi della norma UNI 8199 e in frequenza ai valori limite della curva NR 25.

LA PRESENTE RELAZIONE SI COMPONE DI
OTTANTATRÈ PAGINE E 19 ALLEGATI.

QUESTO DOCUMENTO È STATO REDATTO PER VIE EN.RO.SE. INGEGNERIA
DALLA DOTT.SSA ARCH. LUCIA BUSA
TECNICO COMPETENTE IN ACUSTICA AMBIENTALE DELLA REGIONE CALABRIA

SULLA BASE DI SIMULAZIONI E CALCOLI
EFFETTUATI NEL MESE DI GIUGNO, LUGLIO E SETTEMBRE 2017

IL PRESENTE RAPPORTO VIENE CONSEGNATO AL COMMITTENTE
IN DATA 15 SETTEMBRE 2017

ARCH. LUCIA BUSA
(DIRETTORE TECNICO)



ING. SERGIO LUZZI
(LEGALE RAPPRESENTANTE)



VIE EN.RO.SE. Ingegneria s.r.l.
Via Stodivard, 19 50127 Firenze
C.Fis e P.IVA 05806050482
Tel. 055 4379140 Fax 055 4188335

NOTA INTEGRATIVA ALLA RELAZIONE ACUSTICA

Con riferimento alla valutazione previsionale di impatto acustico dell'auditorium esterno (v. paragrafo 7.8 "Livelli sorgente prodotti dalle attività dell'auditorium esterno" della Relazione Acustica di progetto), si precisa quanto segue.

L'ipotesi di progetto scelta prevede la realizzazione di due ali sui lati corti del palco aventi altezza variabile da 3 m (lato facciata auditorium) a 4 m (lato platea). Tali ali, oltre a ridurre il rumore prodotto dalle sorgenti sul palco, hanno lo scopo di aumentare le riflessioni verso la platea in modo da migliorare le condizioni di ascolto dell'acustica naturale verso le ultime file. Al fine di riflettere efficacemente il suono verso la platea anche alle frequenze più basse è necessario che i materiali e sistemi scelti per la realizzazione delle ali siano caratterizzati da una massa superficiale superiore o uguale a 20 kg/m².

Firenze, 31/01/2018

Arch. Lucia Busa

