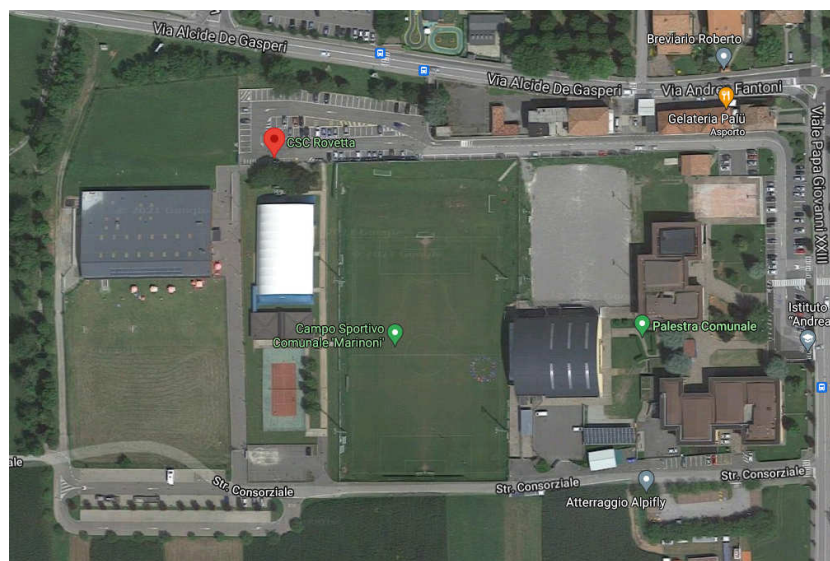


Comune di Rovetta

Provincia di Bergamo

PROGETTO DI RIQUALIFICAZIONE STRUTTURALE E FUNZIONALE DEL CAMPO POLIVALENTE PRESSO IL CENTRO SPORTIVO COMUNALE DI ROVETTA (BG)

- PROGETTO DI MITIGAZIONE DEL RIVERBERO DELL'AMBIENTE -



RELAZIONE ACUSTICA DI INTERNI

Zanica, 07 giugno 2021

Dott. Ing. Renzo Sonzogni
(Tecnico Competente in Acustica Ambientale)

Per presa visione:
La Committenza



SONING Studio di ingegneria | Via Padergnone 21 | 24050 Zanica (BG) | www.soning.it | info@soning.it | 035.0267407



SOMMARIO

1. Premessa.....	4
2. Descrizione dell'edificio	4
3. Cenni di acustica d'interni	6
3.1. Principi generali.....	6
3.1.1. Ambienti dedicati allo svolgimento di attività correlate al parlato.....	7
3.2. Tempo di riverberazione	8
3.2.1. Valori ottimali per il tempo di riverberazione	9
3.2.2. D.P.C.M. 05/12/1997	9
3.2.3. D.M. 18/12/1975	9
3.2.4. D.M. 11/10/2017 (Criteri Ambientali Minimi)	9
3.2.5. UNI 11367	14
3.2.6. Norme CONI per l'impiantistica sportiva.....	15
3.3. L'indice di intelligibilità del parlato (STI)	15
3.4. Altri fenomeni acustici	19
3.5. Valori di riferimento per il tempo di riverberazione e lo STI	19
4. Sintesi degli interventi	20
4.1. Descrizione delle lavorazioni.....	22
5. Risultati della modellazione acustica del campo polivalente	23
5.1. Risultati tempo di riverberazione.....	26
5.2. Risultati indice di intelligibilità del parlato STI	27
6. Conclusioni.....	29

1. Premessa

La presente relazione è stata redatta dallo Scrivente Dott. Ing. Renzo Sonzogni, libero professionista con studio in Zanica (BG), via Padergnone n° 21, iscritto all'Albo degli Ingegneri della Provincia di Bergamo al n° 3377, Tecnico Competente in Acustica Ambientale riconosciuto con Decreto del Presidente della Giunta Regione Lombardia n° 13655 del 25.11.2008 e con iscrizione all'Albo Nazionale dei Tecnici Competenti in Acustica al n. 2182.

Essa costituisce il riepilogo del processo di progettazione della qualità acustica di interni della riqualificazione strutturale e funzionale del campo polivalente presso il centro sportivo comunale in via Papa Giovanni XXIII 12/F nel comune di Rovetta (BG).

L'incarico affidato è relativo all'acustica di interni "passiva", ovvero al trattamento acustico per il controllo del riverbero all'interno dell'ambiente principale.

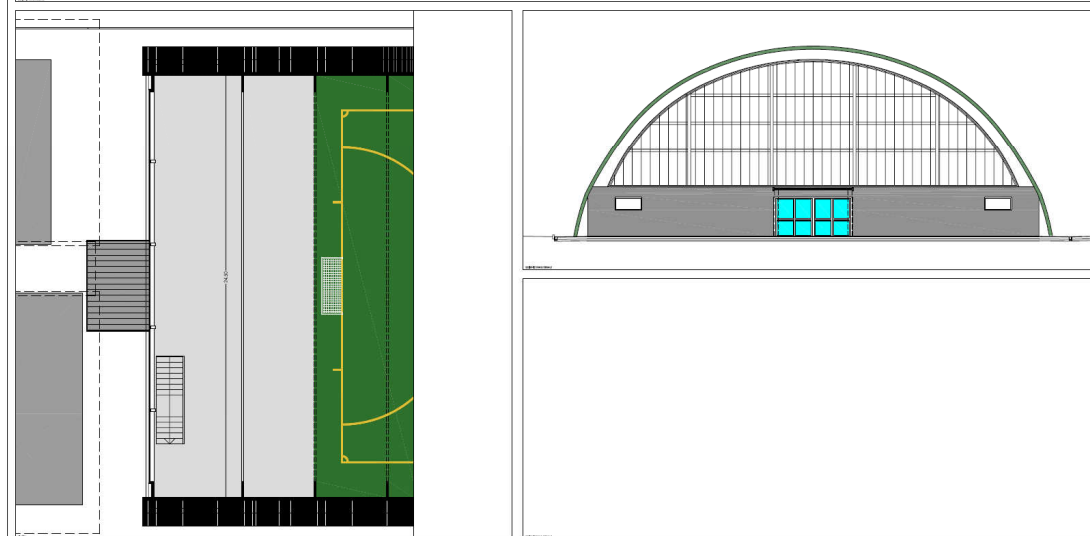
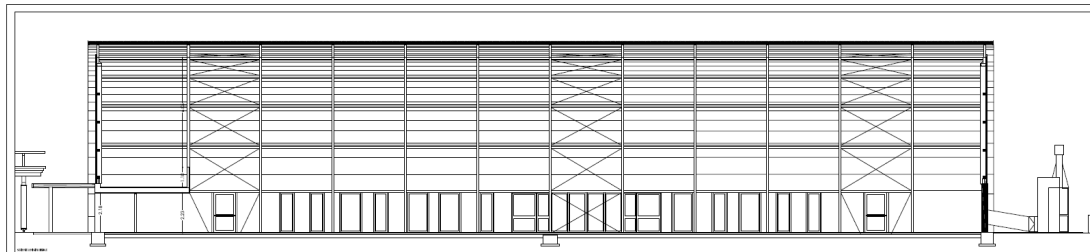
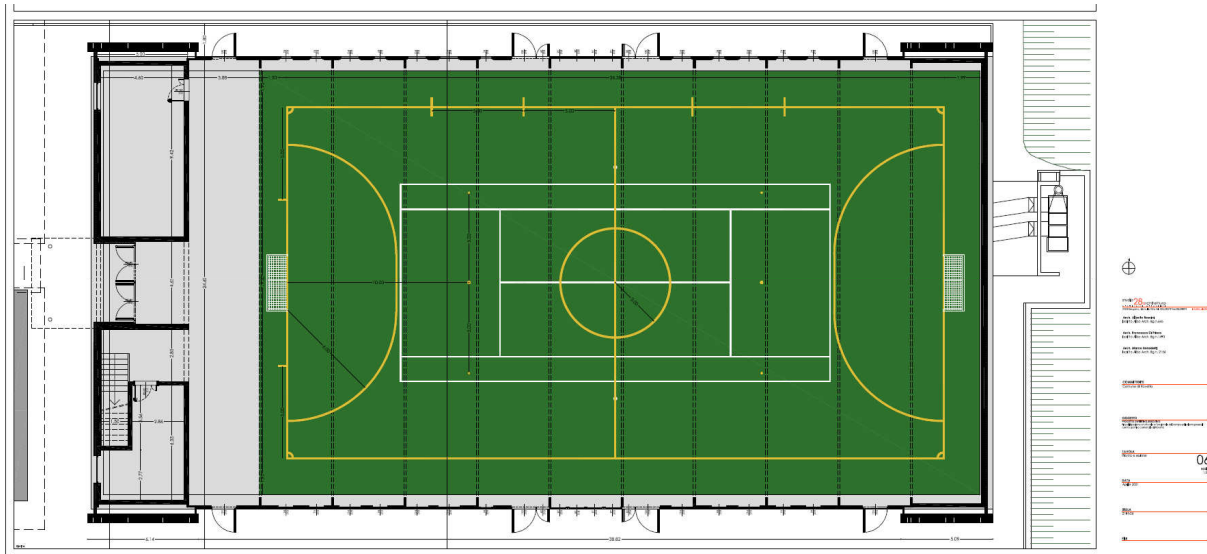
Dalla valutazione sono escluse altre tipologie di analisi, tra cui requisiti acustici passivi, isolamento acustico interno alla stessa unità immobiliare, rumorosità degli impianti, percezione di rumorosità dall'esterno verso l'interno o viceversa, analisi impianti elettroacustici e di riproduzione sonora e di emergenza, etc.

Si è proceduto mediante modellazione matematica acustica, attraverso la quale è stato possibile valutare l'efficacia dei trattamenti fonoassorbenti, eventualmente anche mediante diversi scenari di posizionamento e tipologia al fine di determinare gli scenari ottimali.

2. Descrizione dell'edificio

Il progetto prevede la riqualificazione strutturale e funzionale del campo polivalente presso il centro sportivo comunale in via Papa Giovanni XXIII 12/F nel comune di Rovetta (BG).

La tipologia costruttiva del campo polivalente oggetto della presente valutazione è costituita da una superficie pavimentata delimitata sui lati corti da due pareti in cls armato sormontate da una struttura metallica delimitata da lastre in policarbonato alveolare e sui lati lunghi e superiormente da una struttura in legno lamellare coperta con pannelli sandwich coibentati costituiti da doppia lamiera grecata (interna ed esterna) con interposto uno strato isolante in polistirene espanso sinterizzato.



Planimetria, sezioni e prospetti dello stato di progetto del campo polivalente.

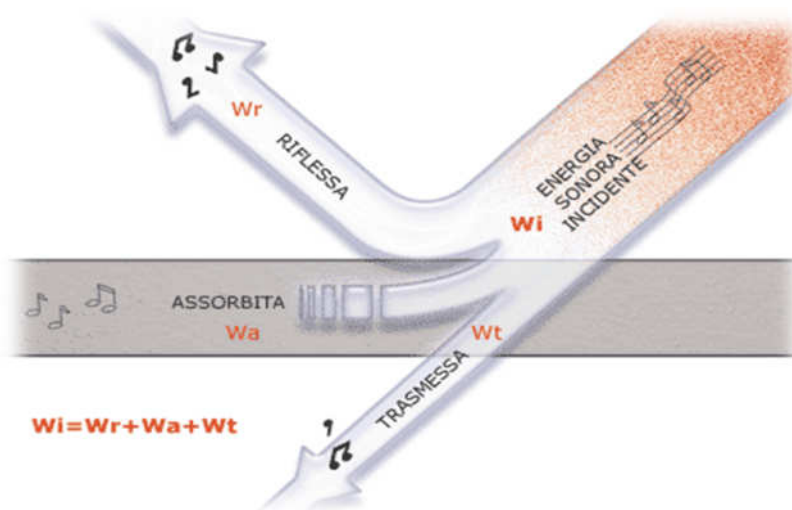
3. Cenni di acustica d'interni

Di seguito si riportano alcuni cenni di acustica d'interni utili alla comprensione delle problematiche acustiche tipiche degli ambienti confinati (come quelli che compongono l'edificio in esame) in assenza di trattamenti acustici d'interni.

3.1. Principi generali

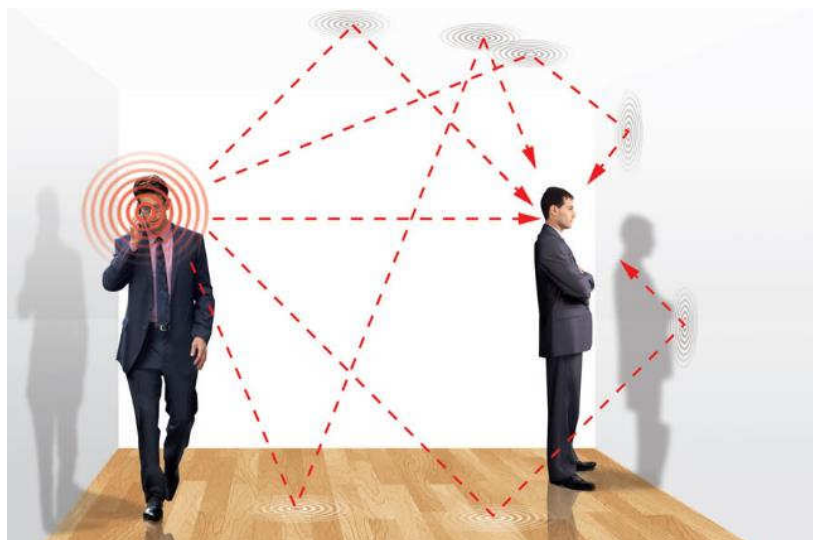
Il campo sonoro tipico degli ambienti confinati è detto riverberante poiché caratterizzato dalla compresenza di onde sonore dirette (provenienti dalla sorgente che raggiungono direttamente l'ascoltatore, come se fosse in campo libero) e onde riflesse (prodotte da tutte le riflessioni sulle superfici che delimitano l'ambiente).

La porzione di energia riflessa dalle superfici di confine dipende dal loro comportamento acustico, in generale descritto dai coefficienti di assorbimento, riflessione e trasmissione (a , r , t).



Essi rappresentano la porzione di energia sonora incidente che di volta in volta viene assorbita, riflessa all'interno dell'ambiente o trasmessa verso un altro ambiente confinante o verso l'ambiente esterno.

Gli ambienti confinati non adeguatamente trattati dal punto di vista dell'assorbimento acustico, presentano una duratura persistenza del segnale sonoro al loro interno con conseguente scarso comfort acustico.

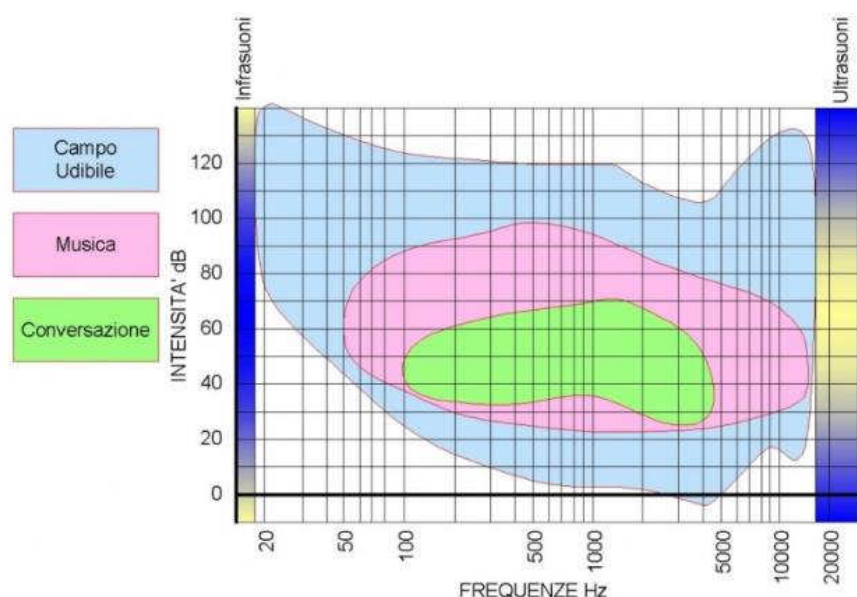


3.1.1. Ambienti dedicati allo svolgimento di attività correlate al parlato

Tale discomfort acustico risulta particolarmente importante negli ambienti destinati ad attività che coinvolgono il parlato (uffici, sale meeting e conferenza, auditorium, phone boot, etc.), ossia il metodo di comunicazione prevalente per la trasmissione di messaggi tra esseri umani.

Analizzando con maggior dettaglio la rumorosità tipica del parlato, cioè i suoni emessi durante una conversazione o un messaggio verbale, è possibile affermare che essa si colloca all'interno di uno specifico range di frequenze tipiche della voce umana.

Il campo di variabilità delle frequenze tipiche del parlato umano, visibile nello schema grafico riportato di seguito, risulta compreso tra ca. 125 Hz e ca. 8000 Hz in funzione del timbro dell'oratore e della lettera o fonema pronunciati.



Definito il concetto di “parlato”, occorre altresì rimarcare che un messaggio verbale può essere udibile, pertanto si percepisce che qualcuno sta parlando, ma non intelligibile, ovvero non si comprende il messaggio.

Il messaggio risulta non intelligibile quando l'ambiente influisce sulla sua struttura temporale o sulla sua dinamica a causa della presenza di rumore di fondo troppo elevato o della riflessione del suono diretto su superfici acusticamente riflettenti collocate all'interno dell'ambiente medesimo.

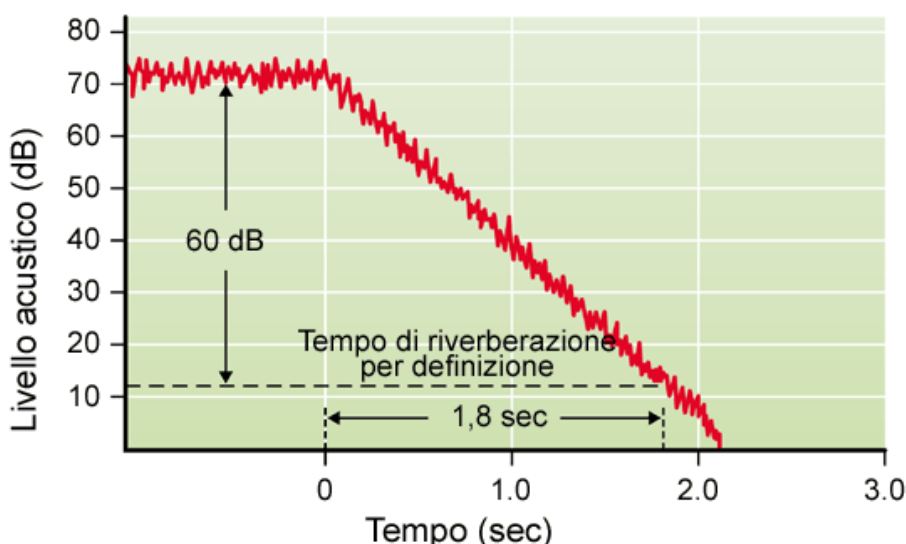
Negli ambienti dedicati allo svolgimento di attività correlate al parlato (sale riunioni, conference room, auditorium etc.) una buona intelligibilità del parlato risulta essere pertanto la più alta priorità nel progetto ed è in tale campo di frequenze che verrà concentrata l'attenzione nell'ambito della presente analisi.

Pari attenzione deve essere posta a livello progettuale nel mantenere estremamente bassi i livelli di rumorosità degli impianti.

3.2. Tempo di riverberazione

A livello progettuale, nell'ottica di valutare le prestazioni acustiche di un ambiente confinato, viene posta attenzione al controllo del parametro denominato "tempo di riverberazione".

Esso è definito come il tempo necessario affinché il livello sonoro presente all'interno di un ambiente si riduca di 60 dB rispetto al valore assunto nell'istante in cui una sorgente sonora emittente cessa di funzionare (vedasi esempio grafico seguente).



Tale parametro è funzione del volume del locale 'V' e dalle caratteristiche di assorbimento acustico 'A' delle superfici presenti e viene percepito soggettivamente come la persistenza sonora mantenuta in un locale chiuso a causa delle riflessioni continue sulle sue pareti.

In sostanza al cessare della rumorosità il livello decade, più o meno velocemente, in funzione della riflessione delle superfici dell'ambiente.

Maggiore è il tempo di riverberazione e più lunga è la coda sonora nell'ambiente: code sonore lunghe portano oltre ad una sovrapposizione dei suoni che impatta sulla intelligibilità dei singoli segnali sonori (come meglio descritto nel paragrafo successivo) anche ad un aumento del livello di pressione sonora nell'ambiente.

Mentre le prime riflessioni possono avere un benefico effetto di rinforzo del suono diretto e sono state per questo mantenute a livello di progetto, le successive riflessioni, se eccessive, "sporcano" e "si sovrappongono" alle prime diminuendo la comprensione dei messaggi stessi.

Poiché l'assorbimento acustico dei materiali 'A' dipende dalla frequenza, di conseguenza anche il tempo di riverberazione sarà variabile verso frequenza, motivo per cui il progetto si è posto come obiettivo l'ottenimento di una risposta omogenea nel campo di frequenze di interesse.

3.2.1. Valori ottimali per il tempo di riverberazione

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

Viene richiesto un tempo di riverberazione massimo per gli ambienti scolastici:

- aule scolastiche: 1,2 sec
- palestre: 2,2 sec

Il tempo di riverbero da confrontare con i limiti di normativa risulta dalla media aritmetica dei tempi di riverbero alle frequenze di 250, 500, 1000 e 2000 Hz.

Non sono presenti informazioni inerenti altri parametri acustici come lo STI.

3.2.3. D.M. 18/12/1975

I valori limite presenti nell'anzidetto decreto, specifico per le scuole, sono stati sostituiti dal D.P.C.M. 05/12/1997.

3.2.4. D.M. 11/10/2017 (Criteri Ambientali Minimi)

Gli ambienti interni devono essere idonei al raggiungimento dei valori indicati per i descrittori acustici riportati nella norma UNI 11532, secondo tale norma i descrittori acustici da utilizzare sono "almeno il tempo di riverberazione e lo STI per l'acustica interna agli ambienti.

UNI 11532

Premessa

La prima versione del decreto, del 10.01.2017, richiamava la norma tecnica UNI 11532 senza datazione, mentre la revisione del 11.10.2017 nella sezione verifiche ha richiamato esplicitamente la norma datata 2014.

La norma UNI 11532:2014 riporta un elenco di valori limite o di riferimento di tempi di riverbero (e per le palestre l'indice STI) di diverse nazioni europee in funzione di diverse destinazioni d'uso specifiche dei singoli locali.

Il problema nasce dall'abrogazione da parte dell'ente di normazione italiano UNI della norma tecnica del 2014, poiché lo scopo di quest'ultima non era definire limiti di riverbero o intellegibilità ma costituire un elenco dei valori limite presenti nei vari paesi europei, con il risultato che in essa erano presenti differenti valori limite per ambienti con la medesima destinazione d'uso (praticamente di ogni ambiente, dai corridoi agli uffici, alle mense etc. etc.).

Pertanto, risultavano presenti alcune tipologie di ambienti con più valori limite molto differenti e in contrasto tra loro e di fatto non applicabili, indicati sempre come "minore o uguale", con alcuni valori anche estremamente bassi.

Qualsiasi tecnico competente in acustica di interni sa che un riverbero estremamente basso può sortire effetti negativi al pari di un riverbero eccessivamente elevato, oltre al fatto che l'aspetto legato alla acustica di interni ed alla corretta intellegibilità non può riassumersi in un semplice rispetto di un tempo di riverberazione limite ma risulta ben più complesso.

In pratica prendendo la norma tecnica del 2014 come riferimento assoluto, l'applicazione ne risulterebbe molto complessa e non scevra da criticità.

Appena compresa la problematica in termini di applicazione cogente di una norma nata per altri scopi l'UNI ha ritirato la norma sostituendola, suddividendola in varie parti, di cui attualmente risultano pubblicate le seguenti:

UNI 11532-1 del Marzo 2018 *“Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinati. Metodi di progettazione e tecniche di valutazione – Parte 1: requisiti generali”*. Rappresenta la norma base. Descrive esclusivamente i parametri acustici, senza fornire valori limite o di riferimento.

UNI 11532-2 del Marzo 2020 *“Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinati. Metodi di progettazione e tecniche di valutazione – Parte 2: settore scolastico”*. Comprende indicazioni e valori di riferimento dei descrittori acustici per il settore scolastico.

L'art. 1.1 *“oggetto e struttura del documento”* del D.M. 11.10.2017 cita *“Ogni richiamo a norme tecniche presente in questo documento presuppone che nel capitolato di gara sia fatto il giusto riferimento all'ultima versione disponibile delle stesse alla data di pubblicazione del bando di gara”*. Nel caso in esame da quanto indicato dal progettista principale nel bando di gara non c'è il richiamo all'ultima versione, inoltre da riunioni tra UNI e ministero pare che la norma da rispettare sia quella del 2014 essendo stata appositamente indicata con la datazione. Pertanto, ai fini della presente verifica, è stato considerando il limite assoluto di 1,2 secondi, pur cercando di ottimizzare il progetto indirizzandolo verso le richieste della norma UNI 11532-2 del 2020, ancorché non cogente.

UNI 11532-2:2020 – settore scolastico

Fornisce indicazioni sui descrittori acustici che rappresentano la qualità acustica di ambienti per attività di didattica, con particolare importanza per il requisito di comprensione del parlato.

Suddivide in varie categorie di utilizzo gli ambienti, indicandone per ciascuno gli obiettivi primari, come riassunto nella tabella seguente.

Per ogni categoria la norma individua valori dei parametri acustici di riferimento che sono riportati a seguire.

Verrà assunto come linea di indirizzo (non cogente) la **categoria A5**.

Categoria	STI	STI	C50	T	T note aggiuntive
A1	Punto 4.3 Vol < 250 m ³ NOTA: In alternativa a STI si può usare C50 Senza impianto amplificazione o con impianto spento: STI ≥ 0,55 (compresa incertezza) Segnale 60 dBA @ 1m in asse con la sorgente Con impianto di amplificazione: STI ≥ 0,60 (compresa incertezza)	Punto 4.3 Vol ≥ 250 m ³ Senza impianto amplificazione o con impianto spento: STI ≥ 0,50 (compresa incertezza) Segnale 70 dBA @ 1m in asse con la sorgente Con impianto di amplificazione: STI ≥ 0,60 (compresa incertezza) Segnale come nelle	Punto 4.4 In alternativa allo STI per Vol < 250 m ³ Ambienti senza impianto di amplificazione C50 ≥ 2 dB (compreso incertezza; medio delle varie pos. di misura indicate nella Figura 3, pag. 10, alle frequenze di <u>ottava</u> di 500-1000-2000 Hz.	Punto 4.5 Tott, A1 = 0,45 x logV + 0,07 (30 m ³ ≤ V < 1000 m ³) Ambiente occupato all'80%	

	Segnale come nelle normali condizioni di uso dell'impianto	normali condizioni di uso dell'impianto			
A2	<p>Punto 4.3 $\text{Vol} < 250 \text{ m}^3$ NOTA: In alternativa a STI si può usare C50 Senza impianto amplificazione o con impianto spento: $\text{STI} \geq 0,55$ (compresa incertezza) Segnale 60 dBA @ 1m in asse con la sorgente</p> <p>Con impianto di amplificazione: $\text{STI} \geq 0,60$ (compresa incertezza) Segnale come nelle normali condizioni di uso dell'impianto</p>	<p>Punto 4.3 $\text{Vol} \geq 250 \text{ m}^3$ Senza impianto amplificazione o con impianto spento: $\text{STI} \geq 0,50$ (compresa incertezza) Segnale 70 dBA @ 1m in asse con la sorgente</p> <p>Con impianto di amplificazione: $\text{STI} \geq 0,60$ (compresa incertezza) Segnale come nelle normali condizioni di uso dell'impianto</p>	<p>Punto 4.4 In alternativa allo STI per $\text{Vol} < 250 \text{ m}^3$ Ambienti senza impianto di amplificazione $\text{C50} \geq 2 \text{ dB}$ (compreso incertezza; medio delle varie pos. di misura indicate nella Figura 3, pag. 10, alle frequenze di ottava di 500-1000-2000 Hz.</p>	<p>Punto 4.5 $\text{Tott}, \text{A2} = 0,37 \times \log V - 0,14$ ($50 \text{ m}^3 \leq V < 5000 \text{ m}^3$) Ambiente occupato all'80%</p>	Se aula multifunzione vale il T più restrittivo tra Tott,A2, Tott,A3, Tott,A4
A3.1	<p>Punto 4.3 $\text{Vol} < 250 \text{ m}^3$ NOTA: In alternativa a STI si può usare C50 Senza impianto amplificazione o con impianto spento: $\text{STI} \geq 0,55$ (compresa incertezza) Segnale 60 dBA @ 1m in asse con la sorgente</p> <p>Con impianto di amplificazione: $\text{STI} \geq 0,60$ (compresa incertezza) Segnale come nelle normali condizioni di uso dell'impianto</p>	<p>Punto 4.3 $\text{Vol} \geq 250 \text{ m}^3$ Senza impianto amplificazione o con impianto spento: $\text{STI} \geq 0,50$ (compresa incertezza) Segnale 70 dBA @ 1m in asse con la sorgente</p> <p>Con impianto di amplificazione: $\text{STI} \geq 0,60$ (compresa incertezza) Segnale come nelle normali condizioni di uso dell'impianto</p>	<p>Punto 4.4 In alternativa allo STI per $\text{Vol} < 250 \text{ m}^3$ Ambienti senza impianto di amplificazione $\text{C50} \geq 2 \text{ dB}$ (compreso incertezza; medio delle varie pos. di misura indicate nella Figura 3, pag. 10, alle frequenze di ottava di 500-1000-2000 Hz.</p>	<p>Punto 4.5 $\text{Tott}, \text{A3} = 0,32 \times \log V - 0,17$ ($30 \text{ m}^3 \leq V < 5000 \text{ m}^3$) Ambiente occupato all'80%</p>	Se aula multifunzione vale il T più restrittivo tra Tott,A2, Tott,A3, Tott,A4
A3.2	<p>Punto 4.3 $\text{Vol} < 250 \text{ m}^3$ NOTA: In alternativa a STI si può usare C50 Senza impianto amplificazione o con</p>	<p>Punto 4.3 $\text{Vol} \geq 250 \text{ m}^3$ Senza impianto amplificazione o con impianto spento: $\text{STI} \geq 0,50$ (compresa incertezza)</p>	<p>Punto 4.4 In alternativa allo STI per $\text{Vol} < 250 \text{ m}^3$ Ambienti senza impianto di amplificazione $\text{C50} \geq 2 \text{ dB}$</p>	<p>Punto 4.5 $\text{Tott}, \text{A3} = 0,32 \times \log V - 0,17$ ($30 \text{ m}^3 \leq V < 5000 \text{ m}^3$) Ambiente occupato all'80%</p>	Se aula multifunzione vale il T più restrittivo tra Tott,A2, Tott,A3, Tott,A4

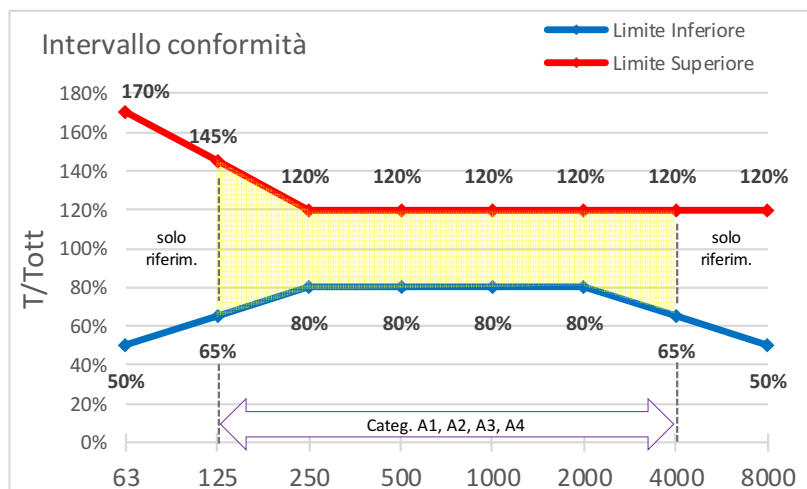
	<p>impianto spento: STI $\geq 0,55$ (compresa incertezza) Segnale 60 dBA @ 1m in asse con la sorgente</p> <p>Con impianto di amplificazione: STI $\geq 0,60$ (compresa incertezza) Segnale come nelle normali condizioni di uso dell'impianto</p>	<p>Segnale 70 dBA @ 1m in asse con la sorgente</p> <p>Con impianto di amplificazione: STI $\geq 0,60$ (compresa incertezza) Segnale come nelle normali condizioni di uso dell'impianto</p>	<p>(compreso incertezza; medio delle varie pos. di misura indicate nella Figura 3, pag. 10, alle frequenze di ottava di 500-1000-2000 Hz.</p>		
A4	<p>Punto 4.3 Vol < 250 m³ NOTA: In alternativa a STI si può usare C50 Senza impianto amplificazione o con impianto spento: STI $\geq 0,55$ (compresa incertezza) Segnale 60 dBA @ 1m in asse con la sorgente</p> <p>Con impianto di amplificazione: STI $\geq 0,60$ (compresa incertezza) Segnale come nelle normali condizioni di uso dell'impianto</p>	<p>Punto 4.3 Vol ≥ 250 m³ Senza impianto amplificazione o con impianto spento: STI $\geq 0,50$ (compresa incertezza) Segnale 70 dBA @ 1m in asse con la sorgente</p> <p>Con impianto di amplificazione: STI $\geq 0,60$ (compresa incertezza) Segnale come nelle normali condizioni di uso dell'impianto</p>	<p>Punto 4.4 In alternativa allo STI per Vol < 250 m³ Ambienti senza impianto di amplificazione C50 ≥ 2 dB (compreso incertezza; medio delle varie pos. di misura indicate nella Figura 3, pag. 10, alle frequenze di ottava di 500-1000-2000 Hz.</p>	<p>Punto 4.5 Tott, A4 = 0,26 x logV - 0,14 (30 m³ \leq V < 500 m³) Ambiente occupato all'80%</p>	<p>Se aula multifunzione vale il T più restrittivo tra Tott,A2, Tott,A3, Tott,A4</p>
A5				<p>Punto 4.5 Tott, A5 = 0,75 x logV - 1,00 (200 m³ \leq V < 10000 m³) Tott, A5 = 2,00 (V \geq 10000 m³) Ambiente <u>NON</u> occupato</p>	
A6.1					
A6.2				<p>Prospetto 7 Non si verifica T, ma A. A minimo per banda di ottava da 250 Hz a 2000 Hz. Ambiente NON occupato ma</p>	

				arredato. se $h.media \leq 2,5 \text{ m}$ -- $> A \geq V \times 0,15$ se $h.media > 2,5 \text{ m}$ -- $> A \geq V \times [4,80 + 4,69\log(h)]$	
A6.3				Prospetto 7 Non si verifica T, ma A. A minimo per banda di ottava da 250 Hz a 2000 Hz. Ambiente NON occupato ma arredato. se $h.media \leq 2,5 \text{ m}$ -- $> A \geq V \times 0,20$ se $h.media > 2,5 \text{ m}$ -- $> A \geq V \times [3,13 + 4,69\log(h)]$	
A6.4				Prospetto 7 Non si verifica T, ma A. A minimo per banda di ottava da 250 Hz a 2000 Hz. Ambiente NON occupato ma arredato. se $h.media \leq 2,5 \text{ m}$ -- $> A \geq V \times 0,25$ se $h.media > 2,5 \text{ m}$ -- $> A \geq V \times [2,13 + 4,69\log(h)]$	
A6.5				Prospetto 7 Non si verifica T, ma A. A minimo per banda di ottava da 250 Hz a 2000 Hz. Ambiente NON occupato ma arredato. se $h.media \leq 2,5 \text{ m}$ -- $> A \geq V \times 0,30$ se $h.media > 2,5 \text{ m}$ -- $> A \geq V \times [1,47 + 4,69\log(h)]$	

Per le categorie da A1 a A4 il valore di riferimento è determinato dal valore medio alle bande di frequenza di ottava da 125 Hz a 4000 Hz, con dei range di “validità” determinati in percentuale in funzione della frequenza, in base alla seguente figura.

Intervallo di conformità del tempo di riverberazione

Hz	Limite Inferiore	Limite Superiore
63	50%	170%
125	65%	145%
250	80%	120%
500	80%	120%
1000	80%	120%
2000	80%	120%
4000	65%	120%
8000	50%	120%



Intervallo di conformità per le classi A1, A2, A3, A4

Per le categorie da A5 a A6, il valore di riferimento è determinato alle bande di frequenza di ottava da 250 Hz a 2000 Hz.

3.2.5. UNI 11367

Non è vincolante e da rispettare in termini legislativi cogenti (per quanto concerne l'acustica di interni), ma riporta dei riferimenti di indirizzo dei valori di tempo di riverbero ritenuti adeguati per due specifiche destinazioni d'uso di ambienti per parlato e ambienti per attività sportive.

I valori ottimali del tempo di riverberazione medio fra 500 Hz e 1000 Hz sono ricavabili dalle espressioni seguenti:

Ambiente non occupato adibito al parlato	$T_{OTT} = 0,32 \cdot \log V + 0,03 [s]$	(C.1)
Ambiente non occupato adibito ad attività sportive	$T_{OTT} = 1,27 \cdot \log V - 2,49 [s]$	(C.2)

In cui: V è il volume dell'ambiente (in m^3)

La norma richiama inoltre in una appendice suggerimenti in merito ad altri due indici.

Nel prospetto C.1 della UNI 11367 sono riportati i seguenti valori consigliati in relazione alle due destinazioni d'uso degli ambienti:

	C_{50}	STI
Ambienti adibiti al parlato	≥ 0	$\geq 0,6$
Ambiente adibiti ad attività sportive	≥ -2	$\geq 0,5$

3.2.6. Norme CONI per l'impiantistica sportiva

Esiste un ulteriore riferimento normativo in merito al tempo di riverberazione per gli impianti sportivi: le "norme CONI per l'impiantistica sportiva" Allegato 1 alla deliberazione 149 del 06/05/2008 della Giunta Nazionale CONI di cui si riporta a seguire estratto.

14.2.9 – Isolamento acustico

Tutti gli ambienti devono essere insonorizzati, con tempo di riverbero preferibilmente non superiore a 1,7 secondi. Devono essere acusticamente isolati dagli ambienti attigui, soprattutto se in questi è presente un impianto di diffusione sonora. Salvo particolari esigenze di isolamento, tra gli spazi di attività si raccomanda un abbattimento acustico di almeno 30 dB.

Estratto dalle norme CONI per l'impiantistica sportiva

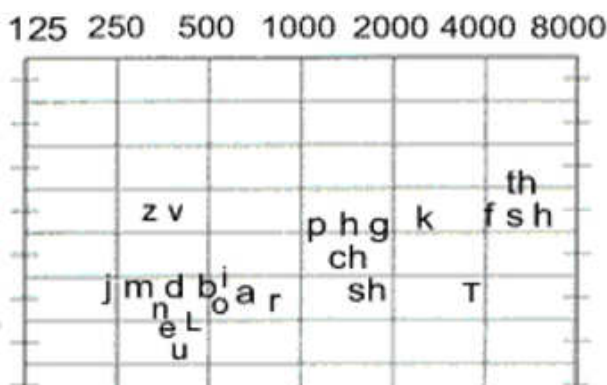
Come si può evincere esse non sono riferimento cogente ma semplicemente indicazione quantitativa di performance ottimale da raggiungere.

3.3. L'indice di intelligibilità del parlato (STI)

Il secondo parametro utilizzato per analizzare e ottimizzare l'acustica degli ambienti è l'indice di intelligibilità del parlato STI (*Speech Transmission Index*).

Come già accennato precedentemente, i suoni emessi durante il parlato si collocano all'interno di un campo di frequenze compreso tra circa 100 Hz e circa 8000 Hz, in funzione della loro specificità e della lettera o fonema pronunciati.

Nella tabella seguente si può avere una idea della collocazione in frequenza delle singole lettere/fonemi (sulle ascisse sono indicate le frequenze in Hz).



In pratica nel parlato quotidiano l'oratore emette diverse frequenze in funzione dei fonemi che sta pronunciando.

La semplice emissione di un suono a una determinata frequenza non è però sufficiente a far comprendere ad un uditore il messaggio.

Ciò che permette all'ascoltatore di "comprendere" un messaggio (ad esempio una parola o una frase) e che quindi rappresenta la fonte primaria della intellegibilità e comprensibilità del messaggio stesso, trova fondamento nella presenza delle fluttuazioni del livello sonoro delle frequenze portanti presenti nel segnale parlato.

Essa è legata alle pause presenti tra le frasi, tra le parole e tra i singoli fonemi.

Il numero di volte con cui le fluttuazioni si ripetono all'interno di un periodo di una frase o di una parola corrisponde acusticamente alla frequenza con cui il livello sonoro oscilla, esprimibile in Hz.

Nel metodo STI la fluttuazione del livello sonoro di una specifica frequenza portante viene chiamata modulazione e di conseguenza il numero di oscillazioni del livello sonoro nell'unità di tempo (un secondo) è identificato dalla "frequenza di modulazione".

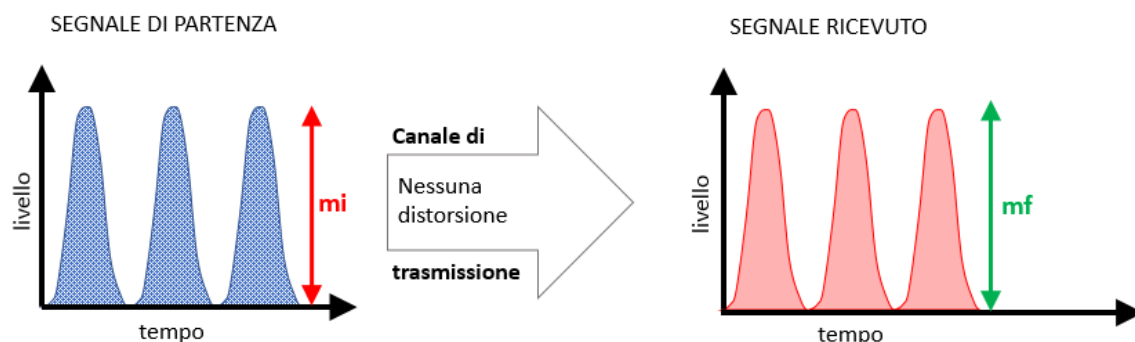
L'indice di trasmissione del parlato prevede la simulazione matematica della fluttuazione nel tempo delle frequenze portanti che costituiscono il parlato, normalizzandole ai fini della ripetibilità del metodo, per giungere ad un descrittore acustico oggettivo utile alla "classificazione" dell'intelligibilità del parlato una volta che questo ha attraversato un canale di trasmissione.

Per canale di trasmissione si intende ciò che convoglia e trasporta il segnale originale (ad esempio il parlato di un oratore o un messaggio registrato su un lettore CD) ad un ricevitore/ascoltatore, tra cui ad esempio, impianti elettroacustici, una linea telefonica, un qualsiasi ambiente in cui un oratore o un impianto elettroacustico emette un messaggio, sistemi di telecomunicazione, etc., tra loro anche concatenati.

Su questo concetto si basa la nascita dell'indice STI.

In pratica il segnale di test normalizzato o segnale di partenza, brevemente descritto a seguire, viene immesso nel canale di trasmissione (ad esempio mediante un altoparlante che simula un oratore – tecnicamente chiamato bocca artificiale – viene prodotto il segnale all'interno di una stanza), il segnale si propaga nell'ambiente e viene ricevuto ed acquisito da un microfono (che rappresenta l'uditore).

Per quanto detto il segnale sarà di tipo fluttuante (ovvero con una modulazione da un livello massimo a un livello minimo pari a zero), come esemplificato nella figura seguente.



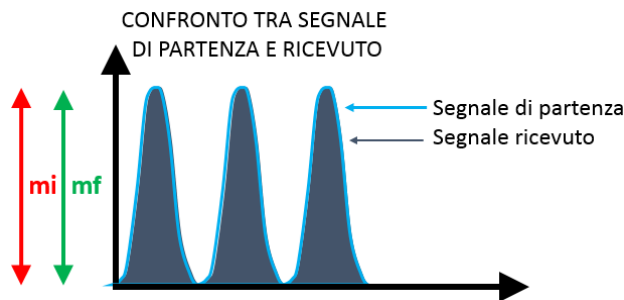
Il segnale di partenza è modulato con ampiezza 0-100%, ma per via delle alterazioni nel suo percorso di trasmissione il segnale originario potrebbe venire alterato e distorto e giungere all'ascoltatore modificato.

In una condizione perfetta, in un canale di trasmissione che non altera assolutamente il segnale originario, esso giungerà al ricevitore esattamente identico a come è partito (ovviamente con un certo ritardo temporale legato allo spazio percorso), ma la forma e l'ampiezza della modulazione risulteranno identiche (nella figura precedente la modulazione iniziale "mi" è identica alla modulazione finale "mf").

I due segnali saranno perfettamente sovrapponibili, come visibile nella figura seguente, e il rapporto tra i valori di modulazione risulterà pari a 1.

Nel mezzo si colloca una definizione matematica e di necessaria correlazione alla fisiologia acustica dell'apparato uditivo particolarmente complessa, ma concettualmente il valore 1 corrisponderà al valore

massimo attribuibile all'indice STI ed agli indici da esso discendenti, con significato di intellegibilità massima, mentre il valore 0 corrisponderà ad intellegibilità nulla.



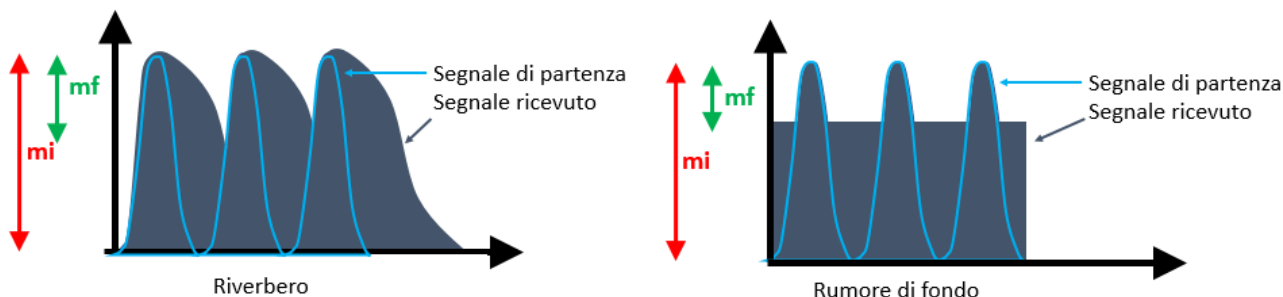
I fattori che possono alterare l'intellegibilità sono molti, tra i più comuni vi sono alterazione attraverso il passaggio in un impianto elettroacustico, tecniche di codifica digitale dei segnali, alterazione legata all'acustica dell'ambiente (es. riverbero, echo), rumore di fondo presente in un ambiente, etc.



Per quanto riguarda gli ultimi fattori (riverbero e rumore di fondo, che risultano in pratica sempre presenti, in maniera più o meno influente) le distorsioni risultano essere correlate:

- nel primo caso all' "allargamento" del segnale per via delle continue riflessioni sonore e della coda sonora dell'ambiente, più o meno elevate in proporzione al maggiore o minore riverbero dell'ambiente,
- nel secondo caso alla sovrapposizione di un segnale aggiuntivo e non voluto al segnale originario con diminuzione della modulazione (ovvero del cosiddetto rapporto segnale-rumore).

Nella immagine seguente sono schematizzati gli effetti delle "distorsioni", visualizzando con linea di colore azzurro il segnale originale e con colore grigio il segnale ricevuto.



Da notare la variazione della modulazione iniziale “mi” e finale “mf” nei due casi.

Come già detto l’indice STI viene espresso con un singolo valore compreso tra 0 e 1, in ordine crescente dalla condizione acustica di intelligibilità peggiore (0 = intelligibilità nulla) alla migliore (1 = intelligibilità perfetta).



La norma IEC 60268-16:2011, all’Appendice F (informativa) riporta anche una classificazione della qualità di intelligibilità in funzione del valore assunto dall’indice STI.

U	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A	A+
0,36	0,40	0,44	0,48	0,52	0,56	0,60	0,64	0,68	0,72	0,76	

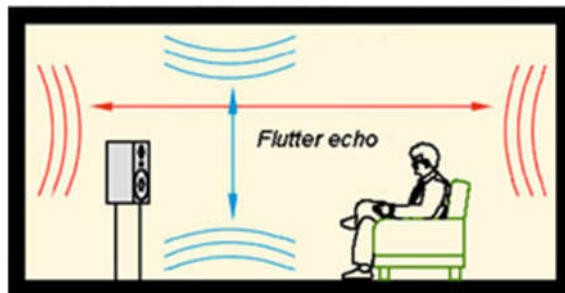
L’Appendice G (informativa), correla la classificazione precedente con delle informazioni utili anche ai fini progettuali, indicando in funzione dell’uso di un determinato ambiente o impianto elettroacustico e della tipologia dei messaggi riprodotti (messaggi semplici con parole familiari e comuni, messaggi complessi con parole non familiari, etc.) la classe ottimale per permettere un adeguata intelligibilità dei messaggi.

La stessa norma, nella tabella dell’appendice H (informativa), riporta una correlazione tra la qualità della percezione dei messaggi da parte degli utenti e il valore dell’indice di valutazione impiegato.

Valore indice STI	Standard STI	Ascoltatori non nativi – categoria I (con esperienza e uso giornaliero della seconda lingua)	Ascoltatori non nativi – categoria II (con esperienza intermedia nell’uso della seconda lingua)	Ascoltatori non nativi – categoria III (studente, uso infrequente della seconda lingua)
Pessimo - scarso	0.30	0.33	0.38	0.44
Scarso - discreto	0.45	0.50	0.60	0.74
Discreto-buono	0.60	0.68	0.86	impossibile
Buono-ottimo	0.75	0.86	impossibile	impossibile

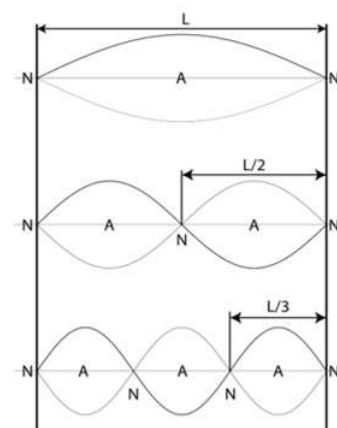
3.4. Altri fenomeni acustici

Un altro fenomeno che dipende dalla geometria della sala, tipico di geometrie con superfici parallele ed acusticamente riflettenti, come nel caso oggetto di studio, è quello dei “battimenti” o “fluttering echo” e delle onde stazionarie, ovvero di suoni che a frequenze con lunghezze d’onda multiple della dimensione del locale continuano a riflettersi tra due superfici parallele e acusticamente riflettenti.



In questo modo si creano punti con livelli acustici elevati e punti con livelli acustici limitati come visibile nello schema grafico seguente, in alcuni casi addirittura con effetto fluttuante (per l’appunto “fluttering echo” o battimento).

In pratica, in un locale con le caratteristiche geometriche poc’anzi descritte, in assenza di trattamenti acustici si riscontrerebbe la presenza di zone caratterizzate da un’adeguata qualità d’ascolto e posizioni in cui l’ascolto risulta quasi impossibile.



Schema con rappresentazione di onde stazionarie tra pareti parallele non fonoassorbenti

3.5. Valori di riferimento per il tempo di riverberazione e lo STI

Nel caso oggetto di studio è presente un unico locale con destinazione d’uso palestra NON scolastica.

I riferimenti numerici sopra evidenziati non essendo cogenti saranno pertanto utilizzati non come limiti ma come parametri di indirizzo in relazione alla performance acustica a cui tendere con l’intervento in oggetto compatibilmente con gli investimenti economici in essere e il volume particolarmente elevato dell’ambiente.

4. Sintesi degli interventi

Sinteticamente per contenere il tempo di riverbero nei limiti normativi il progetto prevede:

- installazione a muro sulle pareti in calcestruzzo di pannelli sandwich fonoassorbenti in lana minerale interposta, con superficie metallica forata a vista con le seguenti caratteristiche di assorbimento acustico

Rockfon VertiQ® Metal

- Pannello murale acustico con finitura in metallo
- Elevate prestazioni acustiche e di protezione antincendio
- Facile da installare

Descrizione prodotto

- Pannello acustico murale in lana di roccia (40 mm) con finitura in metallo
- Faccia a vista: rivestimento in acciaio perforato
- Faccia posteriore: controvelo

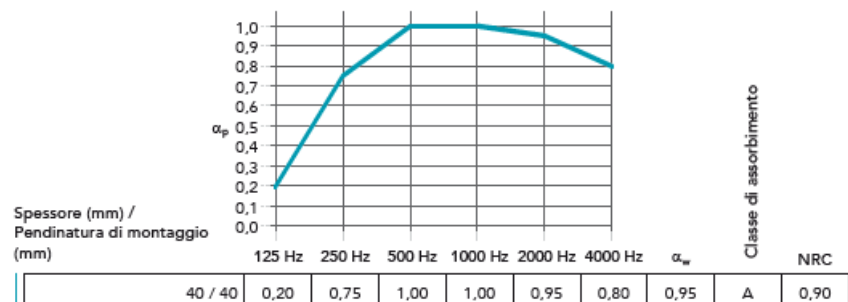
Aree di applicazione

- Scuole
- Industria
- Uffici
- Sport & Divertimento

Prestazioni



Assorbimento acustico
 α_w : 0,95 (Classe A)



Estratto dalla scheda tecnica dei pannelli Rockfon VertiQ Metal

- installazione a “soffitto” di teli fonoassorbenti tra gli archi in legno lamellare con le seguenti caratteristiche di assorbimento acustico.

Caimi
BREVETTI

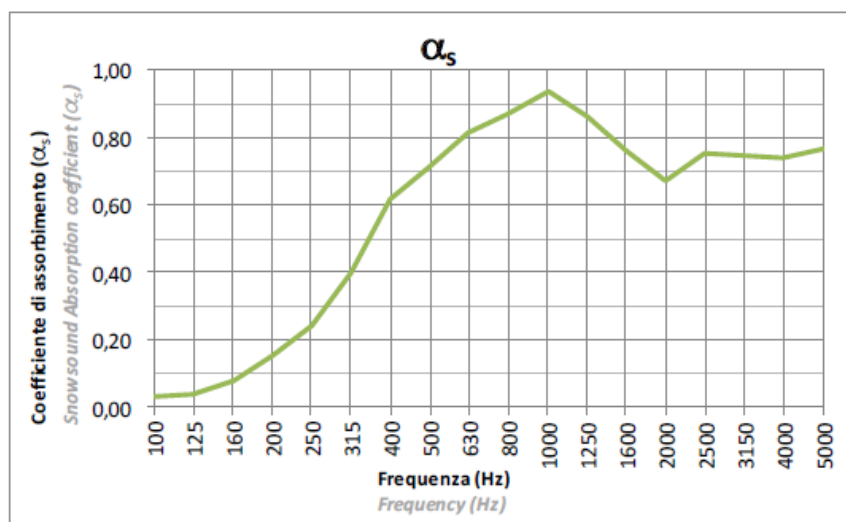
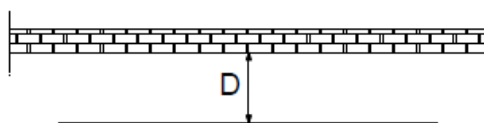
SNOWSOUND-FIBER 1

Tessuto: PLANARE

Fabric: PLANAR

Installazione: Distanza da parete 10cm (D=10cm)

Installation: Distance from the wall 10cm (D=10cm)



La prova è stata eseguita secondo le prescrizioni della norma UNI EN ISO 354
Test executed according to UNI EN ISO 354

Estratto dalla scheda tecnica dei teli Caimi Snowsound Fiber 1

Tali scelte sono state eseguite per:

- limitare il peso sulle arcate e su strutture secondarie, che con altre tipologie sarebbe più elevato;
- impiegare sistemi con doppio fissaggio (due cavi per ogni tessuto), in modo da avere una seconda garanzia di trattenuta in caso di cedimento di un tirante;
- avere dei sistemi sospesi che per la loro capacità di assorbimento dei colpi permettessero una maggiore garanzia di resistenza alle eventuali pallonate, a differenza di altre tipologie sospese (es. baffles, altri sistemi) con maggiore facilità di rottura;
- ottenere una facile diffusione degli elementi fonoassorbenti, anche per dare un gioco architettonico e cromatico piacevole, oltre a permettere con la distribuzione sparsa casualmente un miglioramento dell'efficacia di assorbimento acustico;

* * *

Note sui materiali da impiegare nella realizzazione degli interventi:

I valori dei coefficienti di assorbimento acustico dei materiali che verranno installati dovranno risultare pari o superiori ai valori indicati nelle schede di calcolo e/o nella presente relazione, dichiarati e certificati da laboratori accreditati con prove effettuate nelle medesime condizioni di installazione richieste dal progetto (es. distanza da superfici, spessori dei materiali, massa volumica, etc. etc.).

Sarà compito della Direzione Lavori richiedere e permettere la installazione solamente in coerenza del materiale fornito con le prestazioni richieste e riportate nei calcoli allegati e/o nel corpo della relazione.

4.1. Descrizione delle lavorazioni

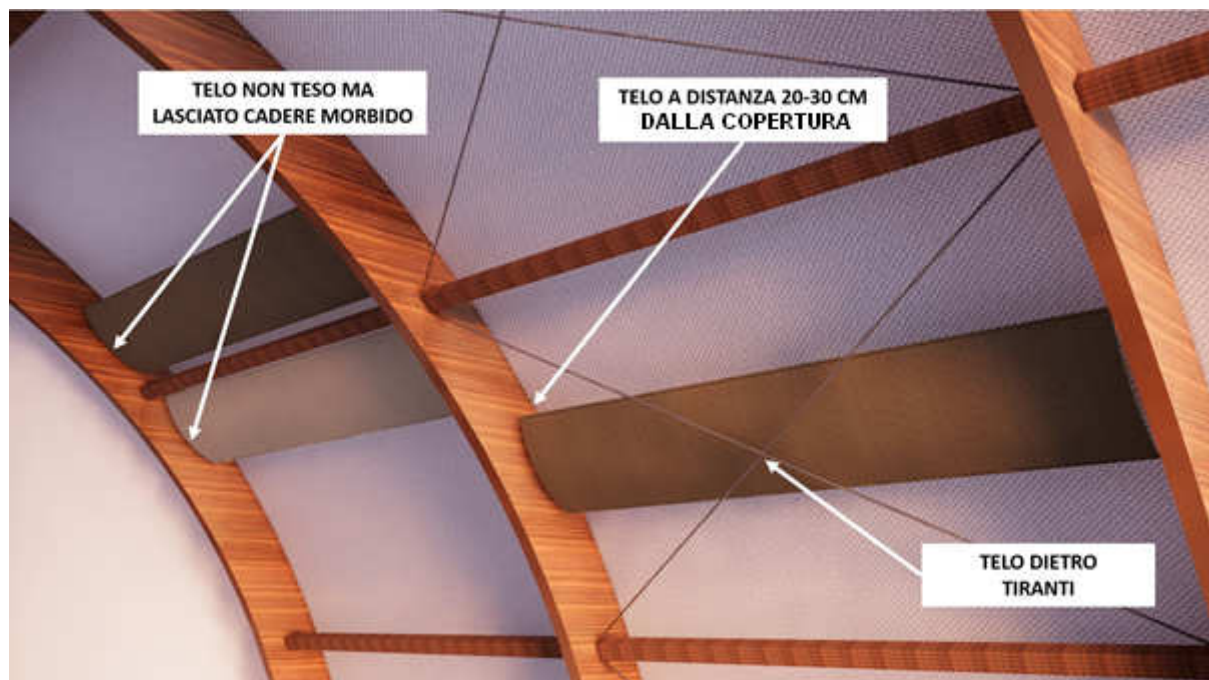
Di seguito alcune viste utili a meglio comprendere gli interventi proposti.

Il posizionamento dei pannelli a parete avverrà esclusivamente sulle pareti “corte” di fondo, direttamente sulle stesse, in quanto unici elementi a cui sarà possibile fissarsi tenuto conto che le porzioni soprastanti saranno in policarbonato traslucido e le pareti longitudinali sono vetrate apribili.



Disposizione dei pannelli fonoassorbenti sulle pareti di fondo

I teli “tesi” saranno invece posizionati a partire dal primo “piano” di costolature, al fine di mantenere sgombra la porzione vetrata al piano terra dell’involucro.



Dettaglio della disposizione dei teli fonoassorbenti tra gli archi in legno lamellare inseriti in ordine sparso tra gli stessi

5. Risultati della modellazione acustica del campo polivalente

La modellazione acustica dell'ambiente è stata effettuata mediante utilizzo di software di simulazione acustica tridimensionale.

In questo modo è stato possibile effettuare simulazioni previsionali relativamente sia al tempo di riverberazione sia all'indice STI (indice di intelligibilità del parlato).

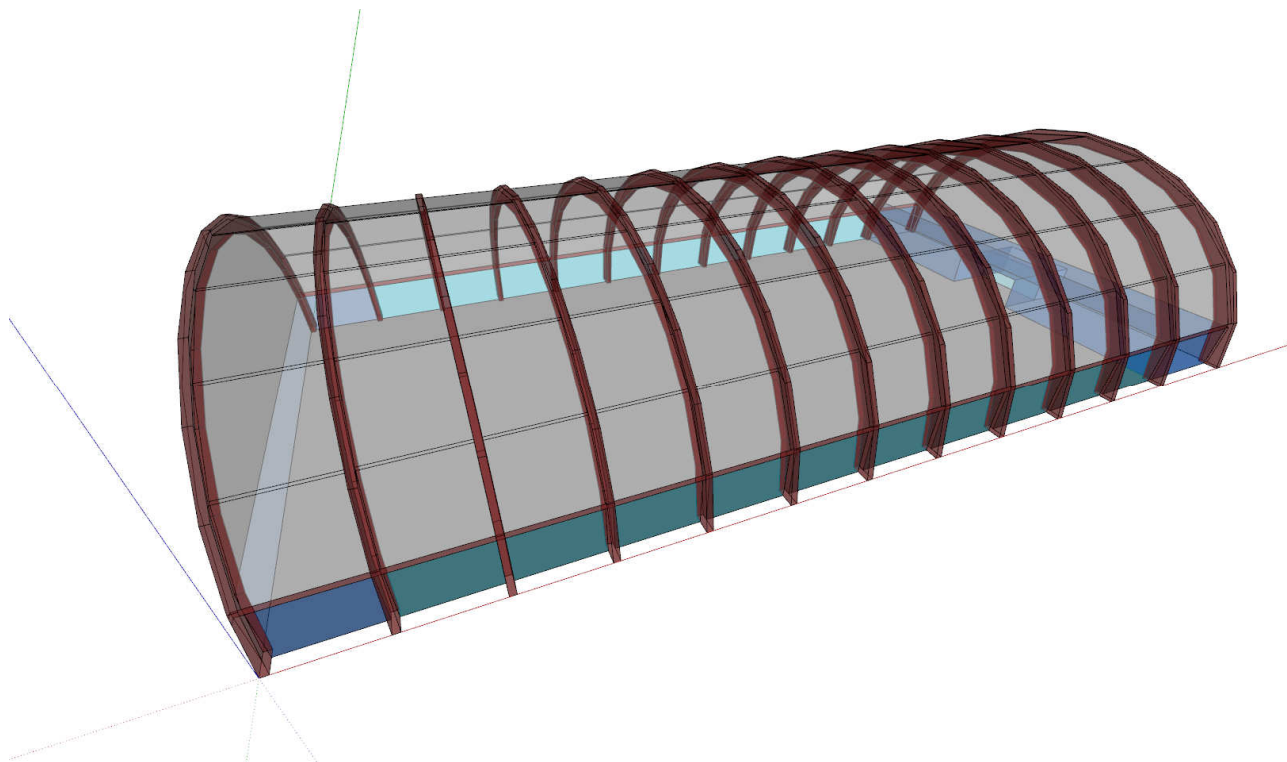
Per la simulazione del potere fonoassorbente dei materiali sono state usate le tabelle presenti nella norma UNI 11532:2020 e dalle schede tecniche dei produttori in seguito riportate.

Per i pannelli ed i teli le schede tecniche precedentemente riportate.

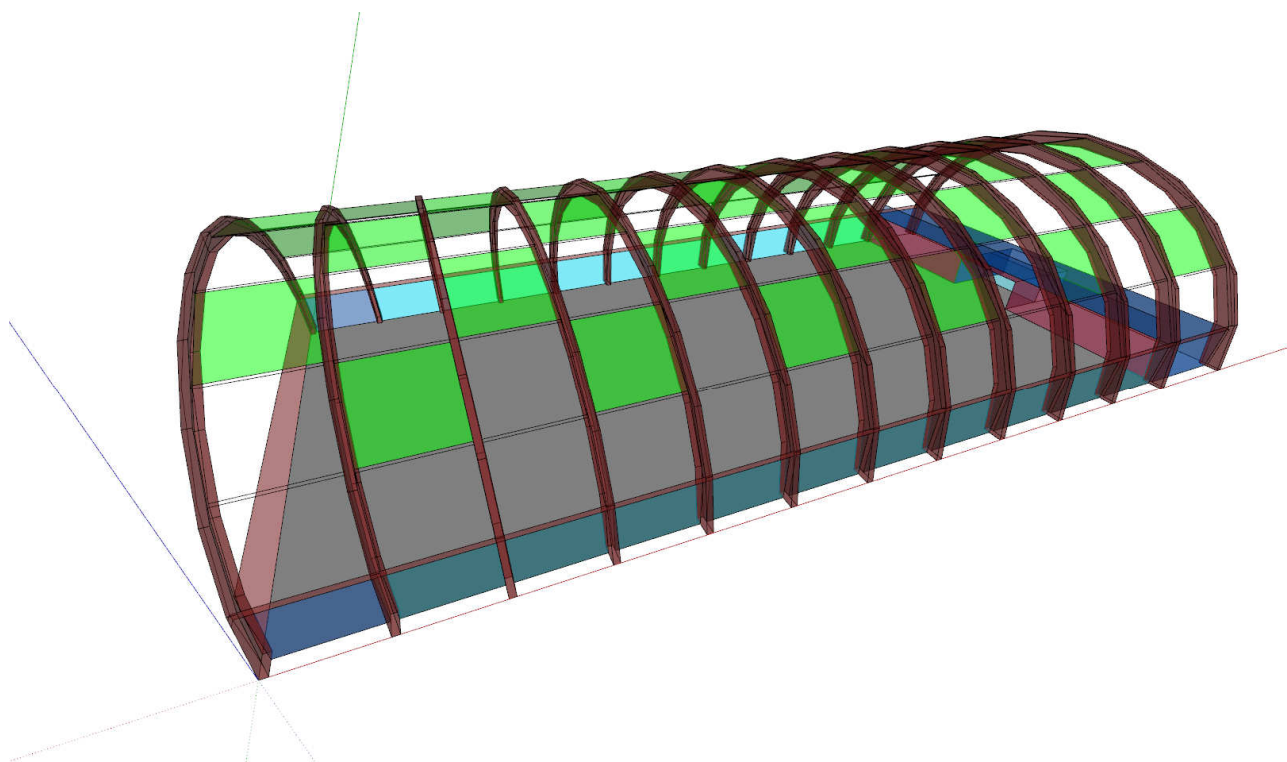
I risultati sono riportati a seguire.

Sono stati elaborati tre scenari:

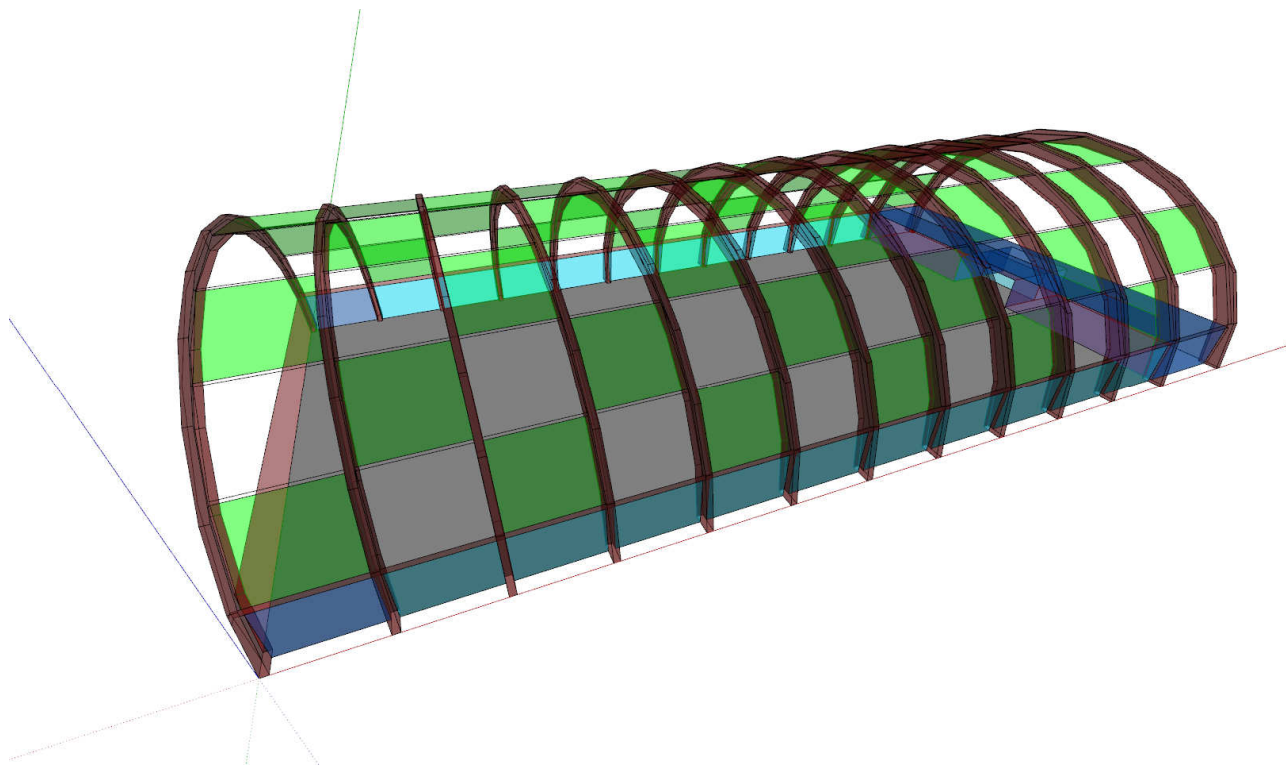
SCENARIO		mq pannelli	mq tessuti
A	Ambiente NON OCCUPATO - SENZA mitigazioni	0,00	0,00
B	Ambiente NON OCCUPATO - con pannelli a parete e tessuti tesi tra campate	103,16	523,83
C	Ambiente NON OCCUPATO - con pannelli a parete e tessuti tesi tra campate	103,16	676,42



Scenario A – Ambiente senza mitigazioni



Scenario B – Ambiente con 103 mq di pannelli a parete e 524 mq di tessuti tesi tra arcate



Scenario C – Ambiente con 103 mq di pannelli a parete e 676 mq di tessuti tesi tra arcate

5.1. Risultati tempo di riverberazione

Verifica tempo di riverbero secondo UNI 11532-2:2020

Volume[m3]

5707,67

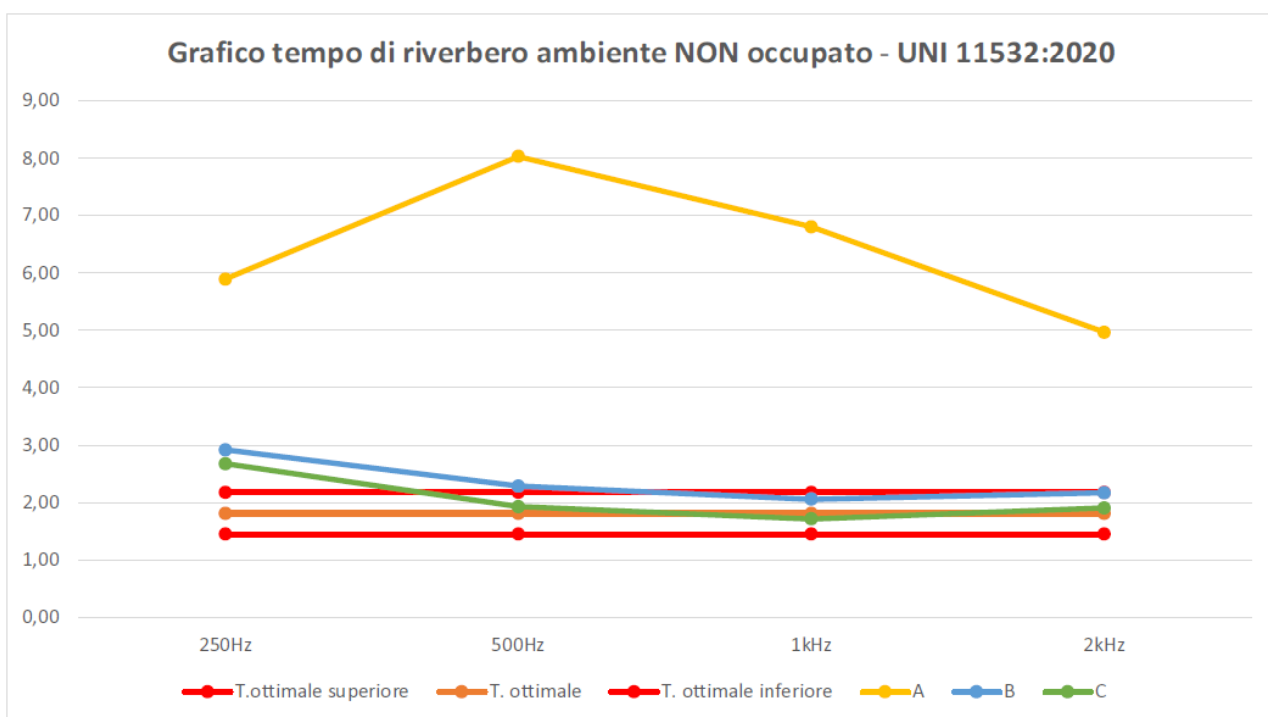
Tr ottimale ambiente NON occupato

Tott A5

$= (0,75 \log V - 1,00) =$

1,82

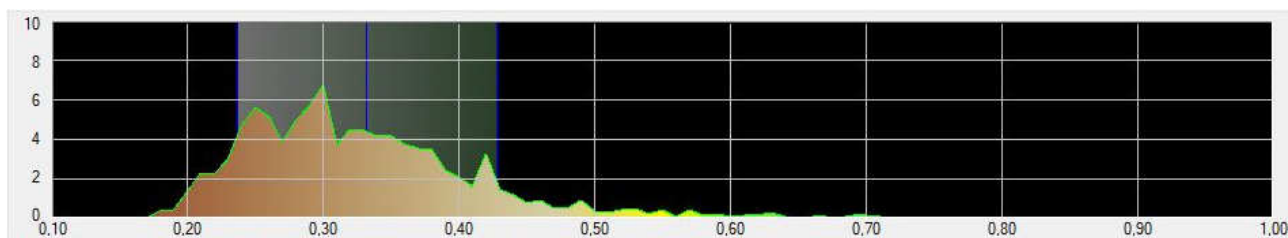
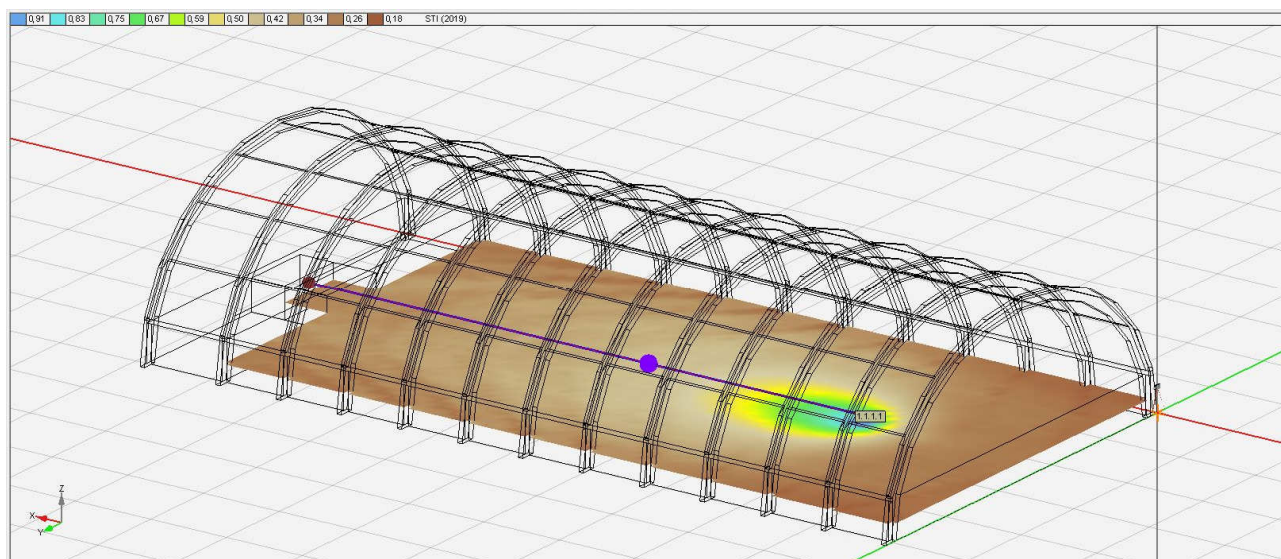
Frequenze	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	Medio
T.ottimale superiore	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18
T. ottimale	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82
T. ottimale inferiore	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45
A	5,89	8,03	6,8	4,97	6,42
B	2,92	2,29	2,06	2,17	2,36
C	2,68	1,93	1,72	1,91	2,06



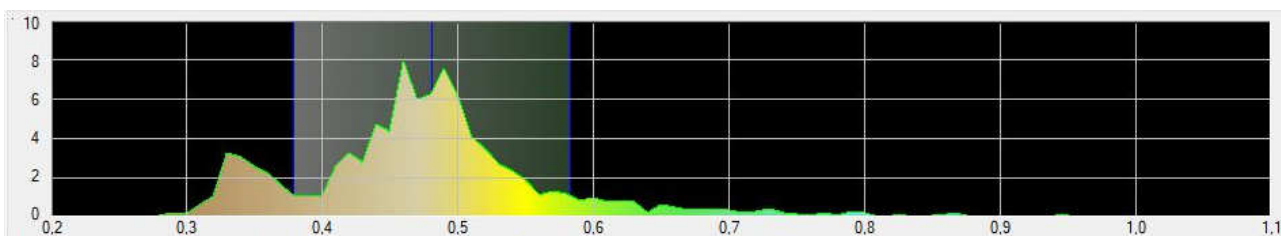
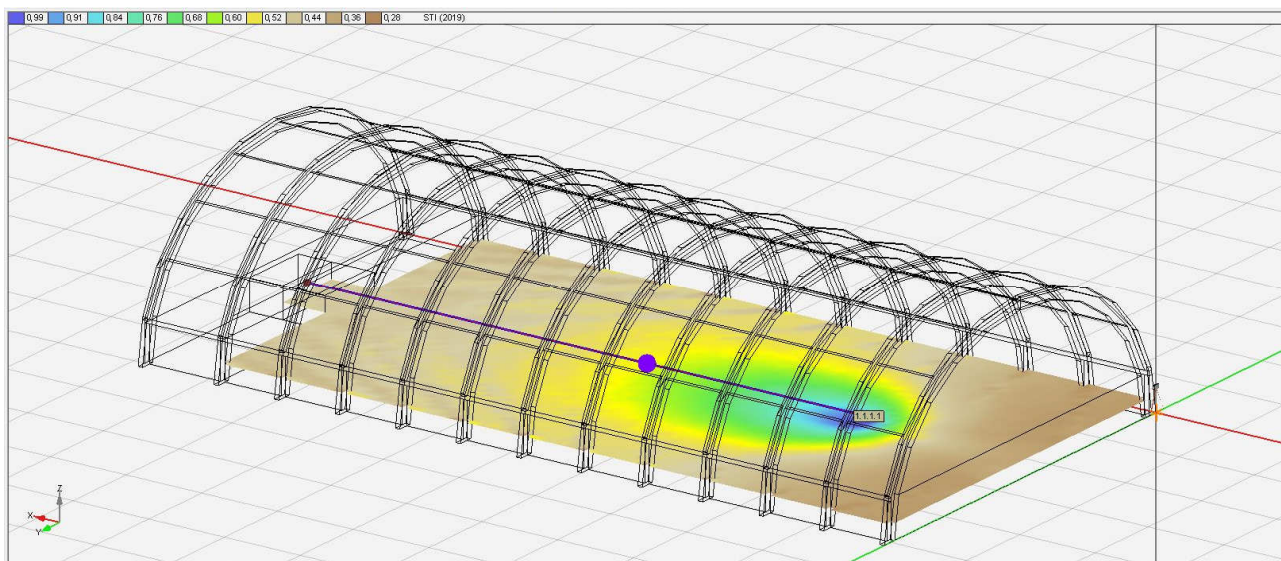
Verifica tempo di riverbero medio alle frequenze 250-500-1000-2000 secondo DPCM 05/12/1997

Frequenze	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	Medio
A	5,89	8,03	6,80	4,97	6,42
B	2,92	2,29	2,06	2,17	2,36
C	2,68	1,93	1,72	1,91	2,06

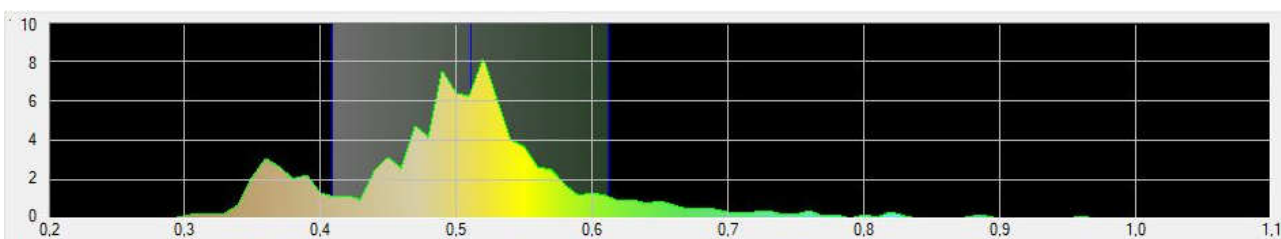
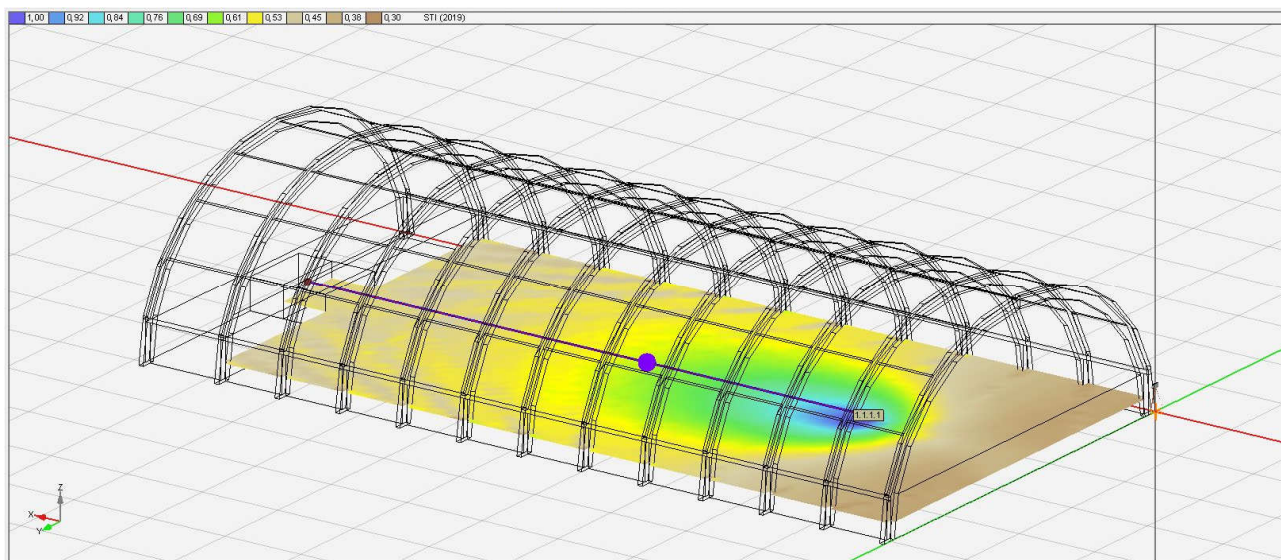
5.2. Risultati indice di intelligibilità del parlato STI



Scenario A (senza mitigazioni) – Risultati modellazione acustica STI



Scenario B – Risultati modellazione acustica STI



Scenario C – Risultati modellazione acustica STI

Report STI

Volume[m3]

5707,67

Valore ottimale STI \geq

0,50

Dati Statistici STI

Percentile	A	B	C
	0,3	0,46	0,52

6. Conclusioni

Non essendo presenti legislativamente vincoli numerici cogenti per la funzione del presente edificio (palestra non scolastica), nell'ottica di fornire delle ipotesi di miglioramento delle prestazioni rispetto all'edificio realizzato in assenza di interventi di acustica di interni ai capitoli precedenti sono state riportate indicazioni di ottimizzazione della prestazione acustica.

Gli interventi indicati, qualora posti in opera, garantiscono il miglioramento della qualità acustica degli ambienti sia in termini parametri acustici di riferimento (Tempo di riverberazione e Indice di intelligibilità del parlato) sia in termini di limitazione di fenomeni fisici acustici indesiderati.

Zanica, 07 giugno 2021

Dott. Ing. Renzo Sonzogni

(Tecnico Competente in Acustica Ambientale)

